



HAL
open science

A la recherche d'une alimentation idéale parmi les humains et les autres primates

Claude Marcel Hladik

► **To cite this version:**

Claude Marcel Hladik. A la recherche d'une alimentation idéale parmi les humains et les autres primates. 2016. hal-01346924v2

HAL Id: hal-01346924

<https://hal.science/hal-01346924v2>

Submitted on 29 Jul 2016 (v2), last revised 7 Sep 2016 (v3)

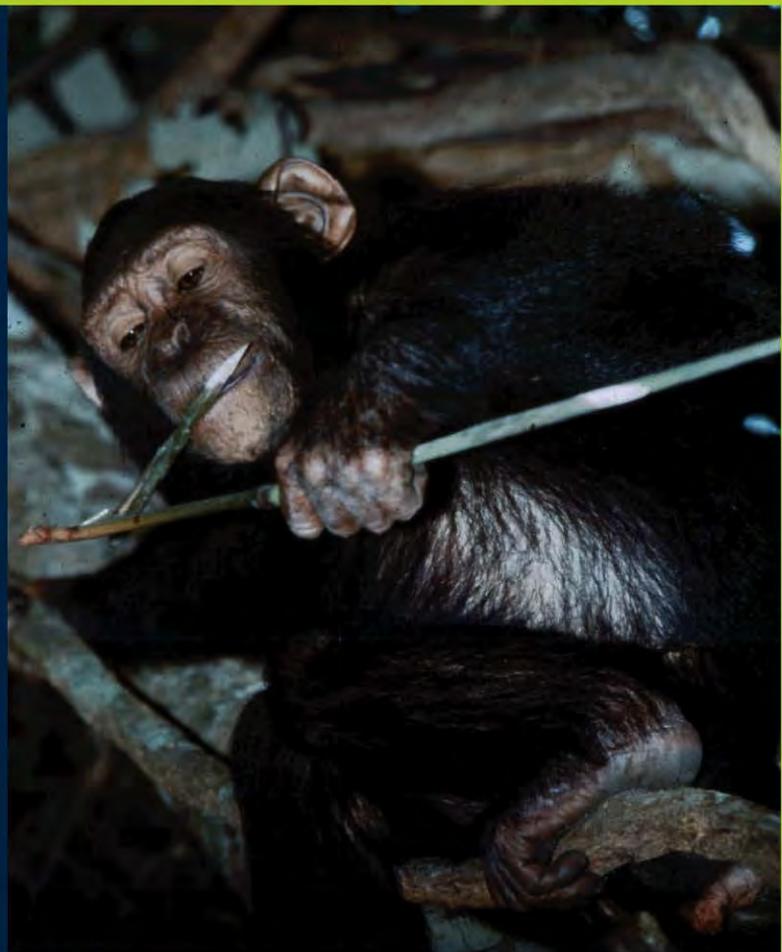
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

À la recherche d'une ALIMENTATION IDÉALE



parmi les humains et les autres primates



Claude Marcel HLADIK



éco-anthropologie
ethnobiologie

En couverture, de bas en haut,
en suivant la flèche du temps :

- Le galago mignon *Euoticus elegantulus* qui peut consommer, grâce à un appareil digestif comportant un grand caecum, des produits de la forêt du Gabon totalement indigestes pour les humains (voir page 18).
- L'un des chimpanzés suivis par l'auteur au cours des années 1970 se prépare à croquer la moelle de la liane Marantacée *Hypselodelphys violacea*, disponible tout au long de l'année dans la forêt gabonaise (voir page 76).
- L'alimentation délicieuse à très fort apport calorique servie à Los Angeles (voir page 172).
- Une nourriture particulièrement légère et goûteuse, associant le cru et le cuit, dans un restaurant de Kyoto (voir page 175).

Sauf mention spéciale, toutes les photographies sont de l'auteur.

À la recherche d'une ALIMENTATION IDÉALE
parmi les humains et les autres primates

Claude Marcel HLADIK

Anciennement Directeur de Recherche au CNRS et Professeur au
Muséum national d'Histoire naturelle (Paris et Brunoy)
Laboratoires d'Écologie, Ethno-Écologie et Ethnobiologie

**Cette restitution était due
à tous ceux qui ont contribué,
directement ou indirectement,
au financement et au soutien
de la recherche scientifique.**

SOMMAIRE

INTRODUCTION : Une alimentation idéale dans le contexte d'une époque	5
--	---

I. — L'ALIMENTATION DES PRIMATES SAUVAGES

Premiers contacts avec des primates sauvages.....	7
Dans la forêt du Gabon, à la recherche des adaptations digestives.....	13
Face à la biodiversité extrême d'une forêt tropicale	20
Le menu quotidien des singes dans la jungle d'Amérique centrale.....	25
La niche écologique et l'alimentation des primates.....	36
Mesurer les produits consommés dans un environnement naturel	43
Un cas d'école qui explique le comportement alimentaire.....	51
Un prosimien nocturne carnivore au Sri Lanka : le loris grêle.....	57
Le plus herbivore des primates, à Madagascar : le lépilémur.....	61
Chimpanzés, gorilles et autres primates de la forêt gabonaise.....	68
L'art culinaire des chimpanzés et les perceptions gustatives.....	78
Régimes alimentaires et tractus digestifs.....	84

II. — LES HOMMES ET LEUR ALIMENTATION

Le tractus digestif humain.....	88
Peut-on comparer l'alimentation des humains à celle d'autres primates ?	91
Dans les forêts du bassin du Congo, avec les Pygmées.....	96
Les ignames et les premiers humains.....	99
L'alimentation des peuples africains aux limites de la forêt	105
La grande diversité de l'alimentation humaine.....	112
Les chenilles comestibles.....	118
Les fruits du palmier à huile et les autres fruits des tropiques.....	123
La perception des sucres et des « faux sucres »	128
Au Groenland, l'alimentation hyperprotéique et si peu salée des Inuit.....	135

III. — L'ALIMENTATION ACTUELLE ET FUTURE

Mais pourquoi consomme-t-on tant de sel ?	143
Il faut se soigner en mangeant.....	148
Les compléments alimentaires.....	151
Existe-t-il un aliment-miracle ?	155
Produits toxiques et drogues.....	160
À propos de la perception du vin et des autres boissons.....	165
Comment modifier les perceptions gustatives ?	168
Aliments et paysages, de Los Angeles à Kyoto.....	171
Manger/bouger : la dépense énergétique adaptée à ce que nous ingérons.....	177
Les meilleurs aliments pour les humains.....	183
Une éthique de l'alimentation dont dépend notre avenir.....	188

INTRODUCTION :

Une alimentation idéale dans le contexte d'une époque

Quel est le régime alimentaire le mieux adapté à l'être humain ? C'était le Graal dans la quête duquel je me suis lancé au début de ma carrière de chercheur scientifique.

Mais ce n'est pas moi qui ai découvert les bases des recommandations actuelles en matière d'alimentation, remarquables et efficaces grâce aux messages très clairs qu'elles permettent de diffuser. Elles sont fondées sur des analyses statistiques dont personne n'aurait pu prévoir, il y a un demi-siècle, qu'elles soient réalisables. Cependant, la connaissance scientifique provient toujours de l'accumulation d'observations et d'idées où chacun apporte sa part ; et je voudrais présenter ici celles que j'ai rapportées des forêts tropicales d'Afrique, d'Asie et d'Amérique en observant les hommes ainsi que les différents primates non humains : les lémurins, les singes et les anthropoïdes. Les derniers travaux publiés en 2015 avec mes collègues du CNRS prennent en compte nos particularités d'humains en tant que primates pour ce qui concerne les dépenses énergétiques et l'équilibre que nous devons trouver (manger/bouger) avec les apports d'une alimentation adaptée.

Cela peut sembler évident de nos jours, qu'une connaissance approfondie de l'alimentation des primates non humains permette de préciser à quoi sont adaptées les populations humaines ayant évolué dans des milieux comparables. Il n'en était rien au milieu du siècle dernier, lorsque l'enseignement de l'écologie n'existait pas encore dans les universités françaises et que les observations sur les primates dans leur milieu naturel, effectuées par des scientifiques anglophones, ne concernaient que quelques espèces et absolument pas leurs comportements alimentaires.

En ce qui concerne les adaptations particulières à l'humain, les discussions que nous avons entre étudiants, il y a un demi-siècle, ne pouvaient pas reposer sur des bases solides. Elles opposaient souvent les partisans d'un régime végétarien à ceux des autres choix alimentaires et l'on entendait des arguments d'une triste banalité, dans le genre : « nous sommes adaptés à consommer de la viande car nous avons des canines ». Il était certain que ces partisans de la viande n'avaient jamais vu les énormes canines d'un singe spécialisé dans la consommation des feuillages, comme le *Semnopithecus entellus* dont, par la suite, j'ai suivi les groupes à Ceylan (le Sri Lanka actuel) afin de préciser les quantités qui étaient ingérées dans leur milieu natif. Dans le camp opposé, certains adeptes d'un régime végétarien extrême puisaient leurs idées dans les ouvrages publiés par le Dr Paul Carton. Ce praticien qui se référait à Hippocrate avait eu, dans les années 30, un succès certain auprès de malades — dont lui-même, au départ — en préconisant comme seul remède une alimentation très stricte et végétarienne,

incluant le jeûne, à des patients dont les excès alimentaires auraient pu expliquer le succès de certaines de ces cures. Fallait-il en faire un dogme ? Les arguments en faveur d'un tel régime étaient souvent mêlés de mysticisme et sans aucune référence sérieuse à la biologie, comme pour de nombreux autres systèmes alimentaires préconisés depuis.

Des études comparatives de l'anatomie et la physiologie des primates non humains pouvaient apporter un point de vue objectif sur ce problème, mais encore fallait-il connaître précisément ce que consommaient ces primates dans leur environnement naturel. De fait, les connaissances sur le comportement alimentaire des différentes espèces de primates — dont l'acquisition nécessite des années de présence sur le terrain — se sont accumulées progressivement au cours de la seconde moitié du XX^e siècle. Je propose de les présenter ici dans le contexte des époques successives que j'ai moi-même traversées et de l'évolution des idées sur les adaptations alimentaires qui en résulta, notamment à propos des perceptions qui jouent un rôle majeur dans notre comportement alimentaire.

Pour pouvoir travailler sur un sujet de recherche qui me permettrait d'aller observer les singes dans leur milieu d'origine, j'ai d'abord entrepris une étude du tractus digestif des primates. J'ai suivi pour cela un enseignement approfondi concernant la structure cellulaire des tissus vivants — l'histologie comparée — dirigé, à la Sorbonne, par le Professeur Marcel Prenant dont j'admirais par ailleurs les prises de position politiques (nous étions alors en pleine guerre d'Algérie). Cet enseignement se passait dans un sous-sol de la Sorbonne où nous réalisions des coupes dans des organes animaux inclus dans la paraffine, selon une technique qui n'a pas beaucoup changé depuis. Le grand changement, à cette époque, ce fut l'utilisation du microscope électronique dont plusieurs unités avaient été acquises par la Faculté des Sciences. C'était prodigieux ! On pouvait voir sur un écran fluorescent autour duquel nous étions groupés dans une salle obscure, la structure intime de la matière du vivant, avec les membranes cellulaires laissant apparaître la double couche des molécules qui les formaient. On commençait alors à parler de l'ADN présent dans le noyau de toutes les cellules et des chromosomes qui apparaissaient au moment où la cellule se divise.

C'est dans ce contexte que s'est élaboré mon premier projet d'étude des adaptations alimentaires des primates ; mais il était indispensable d'en savoir suffisamment sur ce que les singes consomment dans leur milieu naturel. Il fallait, pour cela, préparer des séjours dans les forêts où vivent les différentes espèces de primates, et (pourquoi pas ?), arriver à les suivre dans les arbres. C'est ainsi que j'ai commencé à m'entraîner à sauter de branche en branche dans les forêts de la région parisienne.

I. — L'ALIMENTATION DES PRIMATES SAUVAGES

Premiers contacts avec des primates sauvages

C'était précisément à l'époque où Jane Goodall venait de s'installer en Tanzanie, au milieu d'un groupe de chimpanzés dont elle a décrit par la suite de nombreuses particularités du comportement ; mais rien n'était alors connu — ni diffusé dans le *National Geographic Magazine* — de cette passionnante aventure. De notre côté, avec quelques amis, nous avons préparé un grand voyage en Inde où je savais que je pouvais trouver plusieurs espèces de singes facilement observables. Nous pensions y parvenir par la route en traversant le Moyen-Orient dans une 2CV Citroën, ce qui n'avait rien d'exceptionnel à l'époque. Ce voyage était prévu dans un contexte culturel et même philosophique, car l'Inde est le pays où la non-violence a eu raison de l'occupant britannique. En France et dans l'Algérie alors française, on pouvait penser que les graves problèmes comparables auraient pu se solutionner autrement que par la guerre...

Pour moi, il s'agissait — en interrompant momentanément les cours à la Fac des Sciences — d'aller tester la faisabilité d'une étude sur l'alimentation des primates par observation directe. Au cours de l'année précédente, je m'étais entraîné, en forêt, tous les dimanches, à ce que j'appelais le « *tree climbing* », ce qui n'a strictement rien à voir avec les acrobranches et autres acrobaties actuellement proposées comme loisirs et réalisées dans des parcs d'attractions, avec un harnais de sécurité. Les amis m'avaient confectionné une tenue spéciale en grosse toile renforcée de cuir aux genoux et aux coudes ; et cet habit m'a effectivement beaucoup servi par la suite pour les collectes d'échantillons dans les arbres. Dans la pratique, je me suis rapidement rendu compte que, pour les déplacements d'arbre en arbre, il fallait mettre à profit l'élasticité de branches assez grosses pour me recevoir, comme je l'avais vu faire par des singes du zoo. J'arrivais ainsi à sauter d'un chêne à un autre s'ils étaient suffisamment grands et rapprochés. Par la suite, les essais en forêt tropicale, sur des arbres d'espèces différentes, n'ont pas été aussi concluants, mais cela faisait partie des systèmes d'étude à tester.

Après avoir travaillé, pendant les vacances, à la confection de maquettes pour des architectes, nous avons gagné suffisamment d'argent pour acquérir une 2CV Citroën d'occasion mise en vente aux enchères au Mont-de-piété. Mais nous y étions en concurrence avec des garagistes professionnels et les enchères ont dépassé nos capacités de paiement pour un véhicule en bon état. Heureusement d'ailleurs, car entre temps notre groupe s'était réduit et je me suis retrouvé comme étant le seul décidé à partir effectivement vers l'Inde pour une année entière... Il restait cependant un solide groupe d'amis qui soutenaient le

projet. Il n'était plus question de partir par la route, ni en avion car c'était beaucoup trop cher. C'est sur les lignes régulières des Messageries Maritimes, de Marseille en direction du Vietnam, que j'ai obtenu un billet de 4^{ème} classe pour une traversée de 15 jours vers Colombo. Pour son achat, j'ai dû exiger le principe de non-discrimination à la vente car, dans la pratique, ce type de billet était exclusivement vendu aux immigrés revenant d'Angleterre, peu exigeants pour le confort et peu enclins à protester contre les mauvaises conditions à bord.

D'autres difficultés avaient surgi lors de ma demande de visa pour l'Inde car personne n'a cru qu'un étudiant français puisse aller observer le comportement des singes, ce que j'avais expliqué tout simplement lorsqu'on m'a demandé les motifs de mon voyage. Cela faisait rigoler tout le monde à l'ambassade, si ce n'était à produire une suspicion d'espionnage, car aucun scientifique connu n'avait jamais entrepris ce genre d'étude. En revanche, le visa pour aller faire du tourisme à Colombo m'a été donné sans problème à l'ambassade de Ceylan (Sri Lanka actuel) ; et la suite du voyage vers l'Inde, après un séjour à Ceylan, se fit sans aucune difficulté. Il ne faut parler que de ce qui peut être compris, et, même pour travailler par la suite avec nos propres administrations, de faux documents ont été parfois mieux appréciés que les pièces authentiques qui ne correspondaient pas aux normes pour justifier nos missions sur le terrain !

Après deux semaines passées à dormir sur le pont du paquebot, dans un rouleau de cordages, pour éviter l'air surchauffé de l'entrepont des 4^{ème} classes, surtout pendant la traversée du canal de Suez, j'ai beaucoup apprécié le confort du YMCA de Colombo. Cette auberge de jeunesse dans la tradition britannique — dont les élégantes chambres individuelles en acajou vernis étaient occupées par des étudiants cinghalais ou tamouls des milieux aisés — n'avait rien de comparable aux dortoirs de chez nous. Le restaurant m'a permis de découvrir et d'apprécier des fruits qui étaient encore totalement inconnus en Europe et dont les formes d'origine sont souvent liées au comportement alimentaire des primates non humains.

Je n'ai eu aucun problème pour prendre contact avec le Warden du *Wild Life Department*, un directeur général dont dépendent toutes les réserves naturelles de Ceylan. On se comprenait très bien, dans mon anglais qui n'avait pas encore pris l'accent local, avec toutes les personnes proches des milieux naturels. En fonction du programme que je proposais, sur l'alimentation des primates, j'ai obtenu gratuitement les permis de pénétrer dans les réserves, avec autorisation d'y circuler à pied, ce qui était formellement interdit aux touristes pour éviter les rencontres avec les éléphants, les ours, les buffles ou les léopards.

Mes premiers contacts avec des primates non humains dans leur milieu d'origine furent uniques en leur genre. J'étais arrivé à Wilpattu, la plus grande réserve naturelle dans la forêt de zone sèche, au nord-ouest du Sri Lanka. Les

réserves naturelles avaient été instituées par l'administration britannique selon la formule que les défenseurs de la nature avaient permis d'imposer sur leur île froide et lointaine. Cette formule ayant été reprise par l'administration de Ceylan, il fallait, après le passage de la barrière d'entrée, atteindre le centre administratif dans une magnifique clairière en bordure d'un vaste plan d'eau où les animaux viennent boire pendant la saison sèche — ce qui permet d'y observer facilement les éléphants. Comme dans toutes les réserves ouvertes aux touristes, des bungalows confortables étaient disposés autour de cette clairière ; mais les touristes pour les louer se faisaient rares à cette période de l'année. Leur prix aurait dépassé mes possibilités financières que je devais faire durer pendant toute l'année. Heureusement, le responsable (le *Game Ranger*) m'a proposé un arrangement avec le personnel local, après m'avoir promené dans sa jeep pour me faire découvrir les longues pistes sablonneuses et les étangs temporaires (les *villus*) les plus éloignés — ceux que j'ai fréquentés une dizaine d'années plus tard avec les collègues zoologistes de la *Smithsonian Institution* pour des recherches approfondies sur l'écologie des primates. Mais j'étais alors totalement ignorant et bien content de pouvoir repérer quelques-uns de ces grands arbres dont je n'avais pas appris tous les noms latins, ainsi que les singes dont les bandes bruyantes ne descendaient que rarement du sommet. Les plus visibles des primates étaient les langurs, ces magnifiques semnopithèques au pelage gris — le *Semnopithecus entellus*, nommé entelle dans les vieux textes en français — qui, dans la tradition, est représenté sous la forme du dieu Hanoumân. Une autre espèce de primate vit en petites bandes à Wilpattu : le macaque à toque, *Macaca sinica*, qui semble coiffé d'une toque de poils noirs lui enserrant le crâne. Sa population est beaucoup moins abondante que celle des entelles qui se nourrissent du feuillage des arbres. Comme tous les autres macaques connus — par exemple le rhésus, *Macaca mulatta*, de l'Inde continentale —, son régime alimentaire est principalement frugivore et très diversifié, avec une flexibilité qui avait déjà permis d'élever des rhésus en captivité dans des laboratoires de recherche biomédicale. Obtenir des précisions sur le régime alimentaire de ce macaque en milieu naturel eût été un début fort intéressant. J'ai cependant choisi de commencer par le langur gris, espèce plus abondante et qui me semblait plus facile à approcher, notamment lorsque je venais prendre des photos au petit matin, sur les bords de l'eau.

Un matin, les langurs se trouvaient dans les frondaisons d'un grand arbre dont ils consommaient le feuillage. J'avais revêtu ma tenue d'escalade renforcée de cuir. À mes pieds, pour me protéger des épines de plantes basses, des semelles de cuir épais étaient maintenues par des bandes élastiques, de sorte que je pouvais les glisser le long de mes jambes pour les conserver avec moi lorsque l'escalade d'un tronc d'arbre nécessitait d'être pieds nus. Je m'approchais de la base du tronc sans précipitation ni précaution particulière car dans cette partie boisée, attenante à la clairière fréquentée par les touristes, les humains circulant au sol et venant regarder les singes faisaient partie de leur environnement habituel.



Cette photo du lever de soleil sur la jungle, prise à Ceylan il y a plus d'un demi-siècle sur un film Kodachrome 12 ASA, a nécessité un long temps de pose sur un trépied. Le film était composé de trois couches d'émulsion sensible qui, au cours du développement dans l'usine de Sevrans où il était expédié par avion, prenaient chacune le colorant d'une des trois couleurs fondamentales.

Ces couleurs ont conservé toute leur vivacité, comme c'est également le cas des plaques autochromes du début du XX^e siècle — des plaques de verre avec une émulsion sensible incluant des grains d'amidon colorés — qui nécessitaient un matériel de prise de vue autrement plus lourd, avec des temps d'exposition particulièrement longs, mais dont on peut encore admirer les superbes images au Musée Albert Kahn de Boulogne-Billancourt.

Depuis le début du XXI^e siècle, c'est l'électronique qui permet d'utiliser le matériel allégé et performant avec lequel Sabrina et Jean-Michel Krief vont actuellement filmer les chimpanzés jusqu'au sommet des arbres.

Les langurs poursuivaient donc leurs occupations sans pousser aucun cri d'alarme. Mais, à peine avais-je commencé l'escalade du tronc que ce fut la débâcle dans un bruit de fuite éperdue pour sauter sur les arbres voisins ! Bien évidemment, ces singes n'avaient jamais vu un tel gros prédateur s'approcher de leur position élevée où ils pouvaient tranquillement manger et dormir en toute sécurité — encore que le léopard pouvait faire aussi bien que moi en matière d'escalade de troncs d'arbres...

En conclusion, il s'avérait que le suivi des singes dans les hauteurs de la canopée où j'aurais pu voir de près ce qu'ils consommaient n'était pas une méthode directement applicable. Mes escalades dans les arbres me permettaient cependant de voir ce qu'ils venaient de consommer et surtout d'en collecter des échantillons, ce qui, par la suite, me fut indispensable pour les analyses et les calculs des prises alimentaires avec suffisamment de précision. Et j'ai continué à observer ce groupe de langurs, chaque jour depuis le sol, comme le font encore aujourd'hui nos collègues zoologistes et éthologues, même depuis l'utilisation des balises GPS et autres accessoires qui facilitent si bien la vie des jeunes chercheurs poursuivant actuellement les recherches dans ce domaine.

Le régime alimentaire des humains faisait également partie du programme d'études que je voulais réaliser. Dans ce cas, une méthode d'observation directe ne posait guère de problème lorsque je me trouvais avec les employés locaux dont je partageais l'existence. Avant ce premier voyage vers les forêts tropicales, j'avais déjà obtenu de mes amis qui voyageaient en Laponie, des fiches de description précises de ce qu'un individu consommait au cours d'une journée. Contrairement aux premiers récits rapportés des régions situées au-delà du cercle polaire, les lapons — les *Samis*, dirait-on aujourd'hui — ne consommaient pas « que de la viande » et c'est en demandant à un ami retournant en Laponie de tout noter sur une fiche que j'ai pu obtenir une description objective d'une alimentation beaucoup plus variée. Par la suite, dans des programmes du CNRS, nous avons obtenu des données nettement plus précises en pesant tous les aliments consommés. Mais, pour ces premières observations qui consistaient surtout à tester les méthodes, j'observais ce que mangeait la personne avec laquelle je prenais mon repas, les quantités ingérées étant estimées grossièrement en nombre de cuillères (petite ou grandes) ou en nombre de tasses. J'ai noté par exemple — mais, évidemment, pas devant le *Game Watcher* dont je partageais le repas —, le dimanche 3 avril 1960 vers 13 heures : 3 tasses de riz bien cuit + 1/2 tasse de lentilles avec sauce coco + poisson séché grillé, environ 2/10 de tasse + un verre d'eau du puits : un menu tout à fait équilibré.

Je partageais, bien entendu, tous les frais, surtout lorsque je vivais avec le personnel du *Wild Life Department*. Il m'est d'ailleurs arrivé d'être le seul humain présent dans une immense étendue de forêt, au nord de la réserve où j'observais les langurs, lorsque le *Game Watcher* — avec qui nous étions arrivés à pied sans trop nous charger de réserves — avait dû partir chercher du ravitaillement au village situé 30 kilomètres plus au nord, au-delà des limites de la réserve. J'ai alors éprouvé une sensation d'espace libre quasiment fabuleuse ... Et je n'ai eu aucun problème pour me nourrir en cuisant les fruits verts d'un papayer qui ne faisait visiblement pas partie de la flore locale. Un ancien visiteur de passage avait dû laisser sur place les graines de ce fruit originaire d'Amérique dont je louais la présence en ce lieu isolé.

Mes faibles dépenses en roupies de Ceylan — ou en roupies indiennes lorsque j'ai terminé ce périple en traversant l'Inde jusqu'à Bombay — ont été équilibrées jusqu'au jour où j'ai dû payer mon billet de retour sur le prochain paquebot. J'ai alors vendu tout mon matériel à un photographe professionnel de Bombay. Il s'agissait de l'un des premiers appareils photo encore rares incluant la visée réflexe directe à travers l'objectif, un Exakta Varex, que j'étais allé acheter en Allemagne lors de la préparation de ce voyage.

La technique photographique qui a accompagné toutes mes recherches sur l'alimentation des primates a évolué d'une façon aussi extraordinaire et imprévisible que l'électronique qui constitue désormais sa principale composante. Alors qu'à Ceylan j'avais tenté de mesurer la luminosité avec mon luxmètre, directement dans le viseur réflexe de mon appareil photo, cette idée évidente n'avait pas échappé aux constructeurs. Par la suite, ils ont mis sur le marché les appareils avec la mesure directe de la luminosité à travers l'objectif. Mais il était alors inimaginable que la mise au point puisse se faire sans intervention humaine, comme ce fut le cas par la suite, avec des techniques informatisées dans le domaine de l'acquisition de l'image, et jusqu'à sa généralisation actuelle par l'informatique. Les commentaires techniques qui accompagnent certaines illustrations suivent ces grands changements de la technique.

À Ceylan, mon petit téléobjectif n'avait d'ailleurs pas permis de faire des photos de la faune avec une qualité suffisante, surtout avec les films peu sensibles de l'époque. En revanche, je suis rentré en France avec de très beaux clichés sur la vie des peuples de Ceylan, illuminés par les grosses lampes flash que j'avais emportées avec moi en quantité — merci encore à Mazda que nous avions sollicité comme sponsor. Avec ces photos et mes premiers textes publiés, mes droits d'auteur ont couvert tous les frais engagés dans ce périple. Mais ceci est une autre histoire que l'on peut encore lire dans les exemplaires devenus rares de la revue 'Connaissance du Monde' de 1961.

Dans la forêt du Gabon, à la recherche des adaptations digestives

Quelques années plus tard je me suis retrouvé dans la forêt sempervirente du Gabon, avec toujours pour objectif d'étudier les adaptations alimentaires des primates dont les espèces sont particulièrement nombreuses et diversifiées dans cette région équatoriale... Tout comme les milliers d'espèces d'arbres, de lianes et d'épiphytes dont je ne cessais d'admirer les formes et la subtilité des couleurs dans la brume encore fraîche du petit matin.

Entre temps j'avais obtenu une position provisoire au Laboratoire d'Écologie du Muséum national d'Histoire naturelle, à Brunoy, pas loin de Paris, dans d'anciens bâtiments qui abritaient déjà un élevage de prosimiens, les plus primitifs des primates, c'est-à-dire ceux qui sont le plus proches des formes d'origine dont on a retrouvé les fossiles. Le plus petit de ces primates — pesant moins de 100 grammes —, le microcèbe, *Microcebus murinus*, avait été rapporté de Madagascar par Jean-Jacques Petter et son épouse, Arlette, qui ont lancé à Brunoy un élevage dont l'intérêt scientifique s'est avéré de plus en plus important pour les recherches sur l'alimentation. C'est Jean-Jacques qui fut mon premier directeur scientifique. Il accepta avec plaisir mon projet d'une thèse de troisième cycle sur l'anatomie comparée du tractus digestif des primates en relation avec les adaptations à l'alimentation. J'avais donc déjà lancé une recherche officiellement reconnue, et, à cette époque, on pouvait débiter sans avoir ni salaire, ni aucune autre ressource assurée, juste de la bonne volonté. Il en fût ainsi pour de nombreux amateurs passionnés par l'étude des végétaux ou des animaux, qui sont devenus les spécialistes reconnus pour leurs compétences au niveau international. On ne peut évidemment pas regretter qu'actuellement l'inscription pour une thèse ne puisse se faire qu'après en avoir trouvé le financement et qu'un minimum de ressources soit attribué aux étudiants qui se lancent ainsi dans la recherche ; mais cela ne favorise pas les ouvertures sur des champs d'investigations ignorés de la science officielle.

On me signalait alors tous les primates qui mouraient au Jardin des Plantes ou au Zoo de Vincennes et je pouvais en faire la dissection du système digestif au plus vite, après avoir reçu un appel téléphonique — parfois un télégramme — et effectué un trajet en moto, sans oublier d'emporter mes scalpels et mes pinces. La plus terrible de ces dissections fut celle d'un orang-outang obèse, dans un hangar du Muséum qui servait habituellement à la préparation des squelettes. Pour mesurer les différentes parties de son appareil digestif, je devais écarter un mésentère surchargé de graisse ; mais ce n'était rien à côté de l'odeur qui m'obligeait à sortir du hangar pour reprendre mon souffle... Non pas que cette odeur fut celle d'un début de décomposition car j'étais arrivé rapidement après la mort de l'animal. Ce fut bien pire. C'était une odeur très particulière, un peu vive et fruitée, qui ressemblait à celle du chorizo. Et c'est celle que j'ai sentie en rentrant à la maison où mon épouse avait préparé cette spécialité espagnole. Je n'ai jamais pu consommer de chorizo au cours des années qui ont suivi !

Ces dissections du tractus digestif d'animaux provenant des élevages en parc zoologique montraient les différences entre espèces, surtout entre frugivores et consommateurs de feuillages, les plus évidentes, mais de façon guère plus précises que celles qui avait été observées par Georges Cuvier deux siècles auparavant — dont j'avais retrouvé la trace à la Bibliothèque Nationale, dans un des ouvrages que ce grand naturaliste avait publiés. De plus, les relations possibles de ces morphologies intestinales avec l'alimentation d'animaux provenant des élevages du Muséum ne permettaient pas d'approfondir la question d'une structure adaptée à un régime alimentaire déterminé par une évolution en milieu naturel. Encore moins pouvait-on poser la question des différences entre les microstructures, les premières à être détruites après la mort. Sur des échantillons d'intestins prélevés, je ne retrouvais intacte que la couche sous-muqueuse qui supporte les villosités intestinales composées des cellules absorbantes. La couche muqueuse sépare notre milieu intérieur des apports alimentaires extérieurs partiellement décomposés par nos enzymes digestives, et c'était donc la plus intéressante partie du tractus digestif à examiner... Et j'avais appris toutes les techniques histologiques permettant de mettre en évidence les microstructures à ce niveau, à condition d'utiliser des tissus vivants plongés très rapidement dans un liquide fixateur. Il fallait donc obtenir des tissus vivants et c'est en Afrique que j'ai pu les trouver.

La 'Mission Biologique au Gabon', financée par le CNRS et dirigée par le Professeur P.P. Grassé — le rédacteur du célèbre *Traité de Zoologie* en 27 volumes — me fut ouverte dès 1965. Elle m'a permis un réel début de ma quête sur les adaptations des primates à leur alimentation en conditions naturelles. Tous les frais des chercheurs ou des étudiants étaient pris en charge, surtout le voyage en avion qui était particulièrement cher — obligatoirement au tarif maximum d'Air France qui profitait ainsi, indirectement, du financement de l'Etat destiné à la recherche scientifique. Vers la fin de ce voyage, dans le DC4 qui volait au ras de la forêt entre Libreville et Makokou, à 500 km vers l'est, on pouvait admirer l'immensité d'une canopée moutonneuse plus ou moins continue, mais aussi la diversité des arbres sous lesquels je me retrouvais quelques jours plus tard, à la recherche des singes avec des chasseurs gabonais.

Il est indispensable de préciser, pour les lecteurs qui n'ont pas connu cette période — ou qui n'ont pas lu les anciens ouvrages de zoologie — que toutes les connaissances sur les espèces animales ont été acquises principalement par des chasseurs. Toutes les collections du Muséum national d'Histoire naturelle de Paris — du British Museum de Londres ou de la Smithsonian Institution à Washington — sont le produit de la chasse sans laquelle nous n'aurions pas les types de référence déposés au Muséum, qui ont permis les descriptions et la taxonomie des espèces animales bien avant l'ère de l'ADN. Par exemple, un célèbre explorateur des forêts du Gabon de la fin du 19ème siècle, Paul Du Chaillu, dont on a récemment reconnu la véracité des observations qui avaient été mises en doute de

son temps <<http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00283382>>, avait naturalisé des animaux qu'il chassait et rapporté les spécimens à son retour — des mammifères pour la plupart, dont il a par ailleurs décrit les comportements. Et je me suis retrouvé dans cette forêt du Gabon à une période où des chasseurs qui ramenaient le gibier au village pour le consommer étaient fort intéressés par les animaux que je chassais mais dont je ne prélevais qu'une infime partie.



Deux jeunes singes de Brazza (*Cercopithecus neglectus*) à la station de recherche de la 'Mission Biologique au Gabon', localisée à Makokou, au milieu d'une forêt équatoriale où l'on trouve 17 espèces différentes de primates. Beaucoup de ces prosimiens, singes et anthropoïdes, étaient considérés comme du gibier par les habitants de Makokou. Les jeunes primates, rapportés par des chasseurs qui en avaient tué la mère, étaient gardés en élevage à la station pour les étudier en détail. Cette collection de primates vivants a été transférée depuis à l'Institut de Recherches Biomédicales de Franceville.

J'obtenais ainsi des tissus vivants, comme ceux d'une biopsie nécessaire à un chirurgien, qui doit les plonger rapidement dans un liquide fixateur avant de les inclure, après divers traitements, dans de la paraffine ou dans une résine époxy, beaucoup plus dure, permettant de faire des coupes ultra-fines pour la microscopie électronique.

Pour insister encore sur le décalage avec notre époque, il faut dire que j'ai voyagé avec, dans ma valise avion, une carabine à lunette 22-long-rifle ; car il n'y avait aucun contrôle des valises par rayons X. Cette carabine que j'avais

empruntée était plus efficace que le classique fusil de chasse pour atteindre des singes comme les colobes, dans des arbres à plus de 40 mètres de hauteur, et sans risquer d'endommager les intestins avec des projectiles de petit calibre. Le reste du matériel que je transportais en forêt au cours de ces chasses était un laboratoire miniature qui permettait de refroidir les produits de fixation et de commencer la préparation des échantillons qui se terminait dans le bâtiment de Makokou servant de labo de terrain à la Mission Biologique.

Je fus convoqué un jour à la gendarmerie de Makokou, mais absolument pas en raison de mes activités de chasse qui faisaient partie des recherches entreprises officiellement avec toutes les autorisations légales. Un des gendarmes français qui collaboraient avec les autorités gabonaises enquêtait très sérieusement sur d'éventuelles activités d'opposants au gouvernement gabonais. Il avait une fiche de renseignements me concernant couvrant toute la période de la guerre d'Algérie dont nous étions enfin sortis. Il n'aurait pas dû s'en vanter car toutes nos activités non-violentes pour lesquelles j'étais passé par la prison et par les camps d'internement (voir Erica Fraters, Editions Syllepse, 2005) étaient intégralement couvertes par une amnistie qui effaçait officiellement le casier judiciaire. Il était donc illégal de faire circuler ces infos, surtout dans un pays étranger ! Tout cela n'a pas eu de conséquence sur ma carrière de chercheur scientifique, débutée officiellement en 1968, en dehors des longs délais imposés entre plusieurs périodes d'études et de recherche scientifique que je ne fus pas, loin de là, le seul à subir.

Plusieurs publications dans des revues scientifiques, parues entre 1966 et 1968, ont permis de présenter les résultats exposés dans ma première thèse sur les corrélations entre la surface des muqueuses du tractus digestif des primates et le régime alimentaire. Pour résumer brièvement tout cela, une mesure précise de la surface relative du côlon et du caecum — proportionnellement au poids de l'animal — par rapport à la surface de la muqueuse de l'intestin grêle, a permis de mettre clairement en évidence la relation avec la teneur du régime en éléments fibreux par rapport aux pulpes des fruits ; tandis que les régimes les plus insectivores des primates — ceux des prosimiens, en particulier — se différencient de ces ensembles par une morphologie caractérisée, notamment, par la brièveté de l'intestin grêle.

Parmi les prosimiens qui, en Afrique continentale, sont tous des animaux nocturnes — au cours de leur évolution ils n'ont pas été suffisamment compétitifs par rapport aux singes qui occupent les arbres pendant la journée — le galago mignon (*Euoticus elegantulus*) est tout à fait remarquable, non seulement par l'élégance de son pelage, mais surtout par la particularité de son alimentation. Les études de terrain qui débutaient alors au Gabon — et qui ont été poursuivies sur les prosimiens nocturnes par Pierre Charles-Dominique, toutes les nuits et pendant plusieurs années — ont montré que le principal aliment de ce galago consistait en gommages et autres exsudats végétaux. Cela pourrait sembler facile à

digérer, comme les boules de gomme ou la gomme transparente des cerisiers que nos enfants aiment à mastiquer ; mais en fait il s'agit de polysaccharides formés de sucres en C5 (et non en C6 comme les autres sucres). Les enzymes digestives des humains peuvent difficilement casser ce type de polysaccharides qui nécessitent une fermentation bactérienne dans le gros intestin.

Cela explique la morphologie si particulière du tractus digestif de ce joli petit galago doté d'un énorme caecum, une particularité que nous avons retrouvée plus tard chez d'autres prosimiens capables de digérer des aliments qui seraient totalement indigestes pour un humain. Une même tendance morphologique se manifeste aussi chez des singes qui ingèrent beaucoup de matériaux fibreux, mais cela ne fut bien analysé que de nombreuses années plus tard. Car les premiers résultats obtenus ne reposaient que sur 21 espèces de primates et il est bien évident qu'ils ne constituaient que le début de pistes d'investigation dont certaines restent encore ouvertes. C'est une analyse statistique sur un grand nombre d'espèces dont le tractus digestif — souvent apporté par des chasseurs qui consommaient le reste de l'animal — ont été analysés au cours d'autres séjours sur le terrain, qui a permis, beaucoup plus tard, de reprendre ce type de comparaison de la morphologie intestinale, en incluant l'humain dans une approche prenant également en compte les régimes alimentaires observés et mesurés entre temps.

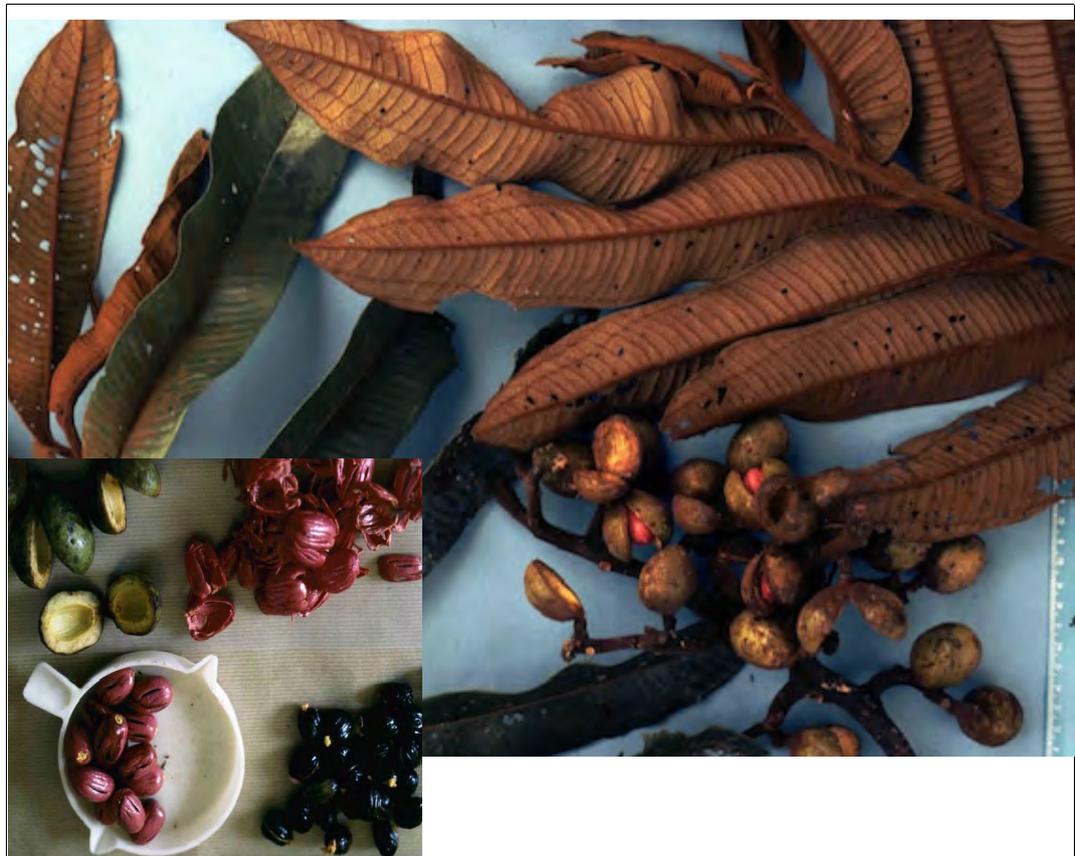
Enfin, parmi les questions qui restent ouvertes, j'avais remarqué, au cours de l'élaboration de cette première thèse, des types cellulaires très particuliers <<http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00561190>> qui n'ont pas été observés depuis dans les muqueuses intestinales, ainsi que des détails dans une couche ultime couvrant la membrane des entérocytes (les cellules intestinales absorbantes), le glycocalyx. Je cherche encore aujourd'hui, sur Internet, si d'autres chercheurs ont repéré les détails de cette structure et interprété son rôle dans l'absorption intestinale. Car elle occupe une immense surface au contact avec les aliments ingérés. Non seulement les villosités intestinales, visibles au microscope optique, décuplent la surface de la muqueuse, mais plus encore, les microvillosités de chaque cellule, visibles au microscope électronique, en multiplient énormément la surface ; et cette ultime couche couvrant la membrane cellulaire présente également des ramifications de formes variables selon les espèces de primates ainsi qu'une ultime membrane dont personne ne parle mais que j'ai observée avec un microscope électronique dont le pouvoir séparateur ne semble pas avoir beaucoup changé en un demi-siècle <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00561188/document>>.



L'un des prosimiens nocturnes de la forêt gabonaise, le galago mignon (*Euoticus elegantulus*) est capable de digérer des gommés végétales grâce à l'adaptation de son appareil digestif permettant les fermentations bactériennes dans un caecum de grande capacité. Il est photographié ici après sa capture, avec un système comportant deux grosses ampoules flash qui brûlent un filament de magnésium, ce qui permettait d'utiliser les films lents du type Kodachrome pour ce type de prise de vue rapprochée ou pour prendre des instantanés en forêt où la luminosité ambiante est particulièrement faible.

Mais ce qui manquait toujours, c'étaient des données précises sur les régimes alimentaires de ces primates dont je n'avais que des bribes, par les rapports des chasseurs, ou en fonction des contenus de l'estomac et du reste du tractus digestif des animaux qui avaient été obtenus sur le terrain par les méthodes habituelles de la chasse.

Par ailleurs, au cours des trois premiers mois passés au Gabon, j'ai expédié par avion, à mon épouse restée en France, les graines des fruits trouvés dans les tractus digestifs des différents primates, soigneusement emballées dans des sacs plastique soudés. Ce fut le début de nos travaux sur l'écologie des forêts tropicales. Les graines ont germé dans une serre au laboratoire de Brunoy ; et presque tous les échantillons ont pu être identifiés et décrits dans une publication devenue aussi rare que celles précédemment citées ; toutefois on peut la trouver actuellement en libre accès dans les fichiers du CNRS <https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/561195/filename/Biologia_Gabonica.pdf>



L'une des formes particulièrement nourrissantes d'aliments disponibles pour les primates des milieux forestier tropicaux sont des fruits comportant un arille, cette partie pulpeuse qui entoure la graine. Sur ces photos prises au Gabon en 1979, nous voyons ceux d'un *Pycnanthus angolensis*, un grand arbre qui avait été abattu afin de mesurer la quantité disponible des arilles rouges très gras enfermés dans les coques des fruits.

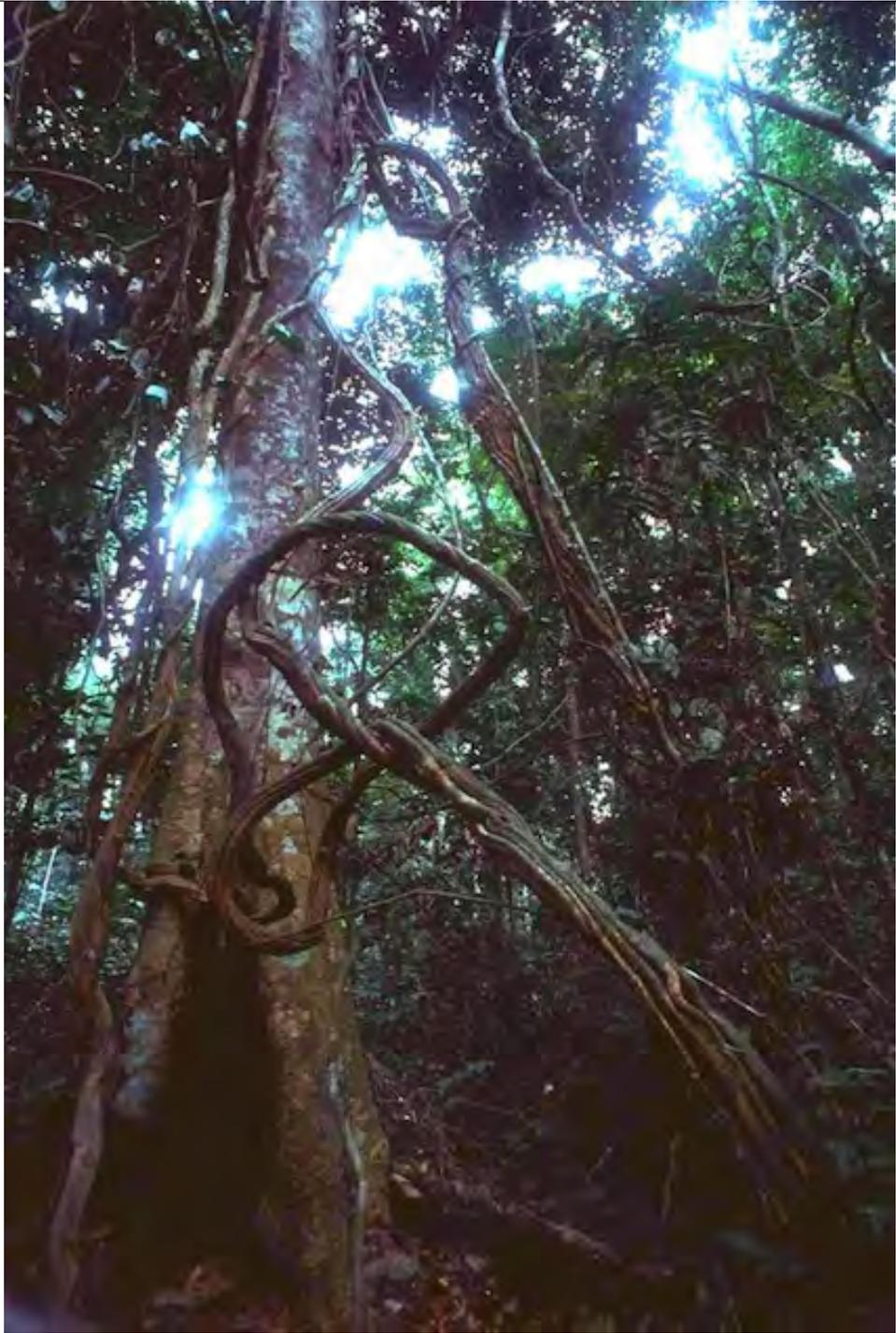
Face à la biodiversité extrême d'une forêt tropicale

Il nous faut préciser ici le cadre dans lequel la plus grande partie des observations sur l'alimentation des primates a été effectuée ; et la forêt du Gabon en constitue un échantillon très représentatif par son extrême diversité dont nous avons pu étudier les composantes au cours des années qui ont suivi.

La forêt du Gabon avait été bien prospectée par des forestiers — venus d'Europe à l'origine —, et de nombreuses concessions avaient été attribuées par le gouvernement gabonais pour l'exploitation commerciale du bois au cours du XX^e siècle. Les nombreuses espèces d'arbres constituent un véritable kaléidoscope lorsque les échantillons de leurs bois sont regroupés sur un présentoir. Pour certaines espèces d'arbres, les qualités et les usages du bois étaient en cours d'étude lorsque nous avons rendu visite, avec mon épouse Annette, à un ingénieur de Libreville qui, au Centre Technique Forestier du Bois, testait systématiquement leur résistance et la façon de les travailler. Le plus connu de ces bois qui nous arrivent du Gabon est, sans conteste, l'okoumé (*Aucoumea klaineana*) un bois tendre dont le déroulage en une fine bande permet de fabriquer d'excellents contreplaqués. Son aire de répartition a modéré l'extension des exploitations forestières vers l'intérieur du pays où beaucoup de forêts ont acquis par la suite un statut de Parc National. Citons un seul autre exemple d'arbre de la forêt gabonaise que les parisiens peuvent voir dans le métro : le bilinga (*Nauclea diderrichii*), un bois lourd peu putrescible qui a servi à fabriquer les traverses des rails du métro.

Cette grande diversité des arbres de la forêt — dont on remarque la répartition irrégulière lorsqu'on survole à basse altitude le moutonnement des canopées de formes et de couleurs très variées — cache une diversité d'espèces autrement plus importante en nombre si l'on prend en compte toutes les lianes et les plantes des sous-bois décrites dans les 35 volumes de la Flore du Nord-Est du Gabon. Il s'y ajoute régulièrement la description de nouvelles espèces que les botanistes n'avaient pas eu l'occasion d'observer auparavant. C'est ainsi que dans la 6^{ème} liste des plantes du Nord-Est du Gabon publiée en 1973 par Annette Hladik, avec Jacques Florence, on atteignait déjà un total de 1233 plantes ; et pour l'ensemble du Gabon on connaît actuellement plus de 7000 espèces.

De fait, la plus grande partie des espèces végétales et animales actuellement connues ou à découvrir se trouvent dans ce type de forêts denses humides, diversifiées à l'extrême, en Afrique, en Amérique ou en Asie. Ces forêts accumulent et recyclent le carbone du gaz carbonique que nous produisons en excès. Cela a été récemment démontré dans un article en anglais <<http://www.nature.com/nature/journal/v457/n7232/full/nature07771.html>> de la célèbre revue scientifique internationale *Nature* dont Annette Hladik est parmi les nombreux co-auteurs, montrant, grâce au suivi de parcelles permanentes une augmentation significative de biomasse au cours des dernières années.



Sur cette photo prise en 1971 dans la forêt des environs de Makokou, au Gabon, on remarque l'importance et la diversité des lianes qui, de fait, constituent le tiers de la masse de feuillages. Un appareil photo réflex avec un miroir semi-transparent (Canon Pellix) m'a permis d'obtenir cette image au grand angle, en effectuant une pose de longues durée (15 secondes) sur le sous-bois très sombre, tout en masquant avec un cache noir mobile, contrôlé à travers le viseur qui reste ouvert pendant la pose, le sommet très éclairé sur fond de ciel pour lequel 2 secondes de pose ont suffi. J'ai pu ainsi produire cette image diapositive que l'on n'aurait pu obtenir qu'en labo, en maquillant, sous un agrandisseur, les parties plus ou moins exposées d'un négatif.

Dans la forêt du Gabon, les différentes espèces de lianes — qui ne présentent aucun intérêt pour les marchands de bois, bien au contraire — produisent en fait le tiers du poids des feuillages, ainsi que l'a montré Annette, dans les Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences, du temps où l'on publiait encore en français <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00655762/document>>, après qu'elle ait pu séparer et peser, espèce par espèce, toutes les feuilles qui sont tombées au sol au cours de la première année que nous avons passée ensemble dans cette forêt.

La complexité de cette forêt en fonction de la dispersion irrégulière des différentes espèces a été mise en évidence lorsque nous avons effectué, quelques années plus tard, des prises de vues à basse altitude à partir d'un ballon captif. C'était alors une entreprise qui exigeait un gros investissement technique pour fabriquer sur place les 12 mètres cubes d'hydrogène nécessaires au gonflage du ballon qui était retenu par un câble de kevlar avec lequel nous pouvions atteindre 1200 m d'altitude — à condition de ne pas oublier de faire diffuser préalablement un *Notam* destiné aux pilotes de ligne, par l'aéroport de Libreville.

Les plus intéressantes photographies ont été réalisées à basse altitude, avec un appareil radiocommandé que j'avais moi-même construit — une grosse boîte noire contenant la cassette d'un plan-film Polaroid de 18x24 cm, munie d'un objectif bloqué sur l'infini. Une seule photo était prise à chaque montée du ballon captif et il fallait redescendre pour passer la cassette soigneusement refermée dans un appareil à développer.

Ces belles photographies 18x24 cm, en un seul exemplaire, nous ont permis de voir, par le dessus, le recouvrement des arbres par les lianes et la dispersion des différentes espèces selon des patterns très variables. Chaque espèce pouvait être reconnue lorsqu'elle présentait une phase de renouvellement du feuillage ou une floraison, de couleur caractéristique sur la photo. Il fallait alors vérifier et déterminer depuis le sol, point par point et avec une paire de jumelles, ce qu'il y avait dans ces mélanges formant la canopée continue de la forêt, un travail de botaniste pour Annette avec Augustin MOUNGAZI, notre collaborateur gabonais qui a vécu dans cette région forestière et dont les connaissances botaniques ont été acquises en complément de son expérience personnelle, au cours des années qu'il a passé à la station biologique de Makokou.

Les drones qui nous survolent actuellement tous les jours rendent ce type d'approche techniquement beaucoup plus facile. Toutefois, les problèmes d'identification des espèces et de vérification sur le terrain restent les mêmes, impliquant nécessairement un long travail dans ces forêts denses dont nous n'avons encore étudié actuellement que de petits échantillons.



La forêt du Gabon vue à 400 mètres d'altitude depuis un ballon captif, grâce à un objectif photo monté sur une nacelle radiocommandée construite par l'auteur. Sur cette photographie on peut identifier de nombreuses espèces, en particulier la liane *Combretum bipendense* dont les fruits jaunes permettent de localiser les surfaces de couverture. Le dabéma, *Piptanediastrum africanum*, un grand arbre en cours de floraison, est repérable par la nuance rose des des fleurs (en haut et à droite). Parmi les nombreuses espèces de lianes et d'arbres produisant des fruits consommés par les primates, on remarque l'architecture en étoile des *Pycnanthus angolensis* (vers le bas, à gauche, ainsi que vers le haut, à droite) ces grands arbres Myristicacées produisant des fruits dont la graine est enrobée par un arille contenant une substance grasse particulièrement nutritive.

Cette biodiversité extrême qui caractérise les forêts denses humides constitue une richesse à préserver et un objet d'étude fort complexe. Les interactions entre la flore et la faune y constituent une sorte de réseau d'interdépendance, notamment pour l'alimentation des singes qui, lorsqu'ils en consomment les fruits, disséminent les graines des espèces dont ils se nourrissent. Ils participent ainsi au maintien de la diversité et de l'hétérogénéité dans chacune des forêts d'Amérique d'Asie et d'Afrique où j'ai pu les observer et les suivre afin de préciser leur régime alimentaire.



La délicieuse pulpe de ces fruits d'une liane de la forêt du Gabon, *Salacia pierrei*, constitue l'un de nos meilleurs souvenirs gustatifs parmi les centaines d'espèces consommées par des singes qui ont été testées. La pulpe sucrée et très parfumée qui enrobe les graines favorise leur ingestion par les primates consommateurs et leur dissémination dans les fèces, un mécanisme de reproduction des phanérogames (les plantes à fleurs) particulièrement répandu.

Ce type de cliché des nourritures de primates sur un fond de couleur contrastée, réalisé sur le terrain avec une pose de longue durée sur un trépied, a permis de conserver une collection d'images en haute définition qui complètent la série d'échantillons botaniques de la collection Annette Hladik déposée dans l'herbier du Muséum national d'Histoire naturelle.

Le menu quotidien des singes dans la jungle d'Amérique centrale

Aujourd'hui — au moment où j'écris ces lignes —, c'est à Panama que le président Barack Obama va serrer la main de Raùl Castro, mettant ainsi fin à un demi-siècle d'une guerre non déclarée entre les USA et Cuba, et ouvrant une ère de respect mutuel entre deux civilisations que tout a opposé. En dehors de la ville où se déroulent ces importantes tractations diplomatiques, l'essentiel de la République de Panama, c'est évidemment son canal qui est enserré dans une forêt luxuriante habitée par plusieurs espèces de singes.

Avant d'être rétrocédé à la République de Panama en 1999, le canal était administré par les USA, et la « Zone du Canal » était un petit territoire qui s'étendait de part et d'autre, sous administration des USA et bien protégé par son armée. L'île de Barro Colorado qui faisait partie de cette entité territoriale avait un statut de réserve intégrale, depuis la mise en eau, en 1914, du plan d'eau supérieur du canal de Panama, le lac Gatun, qui avait séparé cette île de la terre ferme. Gérée par le *Smithsonian Tropical Research Institute*, la réserve a constitué — et constitue toujours — un lieu privilégié pour les scientifiques travaillant sur les forêts tropicales. Elle a été pour nous le milieu idéal pour suivre les primates et déterminer avec une précision suffisante le régime alimentaire de chacune des espèces et ses variations au cours d'un cycle annuel.

Je dis bien « nous », car nous avons débarqué en famille dans cette Zone du Canal avec notre jeune fils, Ivan. Mon épouse, Annette, botaniste, avait quitté ses travaux de recherche sur l'amélioration des plantes alimentaires à l'INRA de Versailles afin de se mettre en disponibilité (sans salaire) pour se lancer dans l'écologie des forêts tropicales et commencer l'étude des structures et des productions de ces forêts qu'elle a poursuivie ensuite au Gabon.

Dès notre arrivée dans la Zone du Canal, ce fut un enchantement. Le Directeur de la réserve, Martin Moynihan, nous a conduits sur la colline où les bureaux de gestion de la réserve permettaient une liaison radio avec Barro Colorado, l'île étant par ailleurs totalement isolée. Les rues de cette coquette petite citée américaine qui jouxtait l'ancienne ville de Panama étaient bordées du rouge intense des fleurs des flamboyants, ces grands arbres introduits partout sous les tropiques mais qui, nous l'avons appris par la suite, n'existent à l'état de peuplement naturel qu'à Madagascar. Le lendemain, nous étions voiturés à travers la forêt dense que les constructeurs du canal ont eu à affronter du temps de Ferdinand de Lesseps et des entrepreneurs qui ont suivi. C'était alors une forêt redoutée où la vie des ouvriers était très courte, principalement en raison de la malaria dont le traitement à la quinine n'était pas encore généralisé. Puis une brève traversée du lac Gatun nous mena au débarcadère surmonté par le profil si particulier de cette île où la diversité des arbres est soulignée périodiquement par les taches colorées des fleurs jaunes des tabebuias et, plus tard, par le bleu violacé intense des jacarandas dont les fleurs tombées au sol formeront des tapis continus.



Cette plante des sous-bois qui ressemble à un palmier sans tronc, *Carludovica palmata*, est celle qui sert à fabriquer les traditionnels chapeaux de Panama. Son infructescence ouverte met en évidence les fruits arrivés à maturité dont la couleur est particulièrement visible par les animaux consommateurs, un dispositif qui favorise la dissémination efficace des graines.

La forêt qui couvre l'île de Barro Colorado, comme la plupart des forêts néotropicales, est caractérisée par la présence de nombreuses espèces de palmiers dont les fruits sont consommés par les primates. Il existe également, dans les forêts de la Zone du Canal, l'espèce *Carludovica palmata*, avec laquelle sont fabriqués les célèbres chapeaux de Panama. Cette plante du sous-bois est voisine des palmiers mais ce n'en est pas un. Ses fruits rouges, particulièrement visibles, attirent les tamarins dont l'alimentation à base d'insectes est complétée par la pulpe de fruits mûrs. Car en dépit de son faible poids (environ 300 grammes), ce petit

primate ne pourrait pas obtenir un apport alimentaire régulier et suffisant uniquement par la capture de petites proies.

En fait, la forêt qui a été préservée sur l'île de Barro Colorado était, lors de notre premier séjour, la seule où le comportement des primates sauvages avait été observé. Beaucoup de travaux scientifiques avaient été publiés, au début du vingtième siècle, à partir d'observations de singes et d'anthropoïdes des zoos, concernant, en particulier, leurs relations interindividuelles. Les universitaires des USA (de *Yale University* notamment) souhaitaient vérifier si les mêmes comportements se manifestaient dans la nature. C'est pourquoi entre 1931 et 1934, Clarence Ray Carpenter s'était lancé dans une recherche « de terrain » au cours de laquelle il a également observé le comportement d'autres groupes de mammifères dont j'ai pu apprécier toute la précision lorsque j'ai eu l'occasion de lire ses textes dans la petite bibliothèque qui occupait l'un des bâtiments de l'île de Barro Colorado. Dans l'un de ses mémoires, il décrit ses méthodes d'approche extrêmement prudentes. Dans cette jungle dont on redoutait alors les dangers, il avait emporté avec sa paire de jumelles et son carnet de notes, un revolver qui ne lui a évidemment jamais servi ! Ses descriptions très détaillées du comportement des groupes de primates sont considérées comme le point de départ des études approfondies sur le comportement animal, qui ont été largement développées par la suite dans les environnements naturels. Toutefois personne ne s'intéressait encore aux équilibres entre les espèces animales et végétales indispensables pour comprendre les systèmes alimentaires des primates.

Notre possibilité de travailler dans ces forêts néotropicales, nous la devons à Jean-Jacques Petter qui, après un voyage à Madagascar où il avait guidé Martin Moynihan parmi les lémuriens, se trouvait invité à son tour par le directeur de la station pour observer les primates d'Amérique Centrale sur l'île de Barro Colorado. Jean-Jacques m'avait alors proposé de le remplacer, en tant que spécialiste de l'alimentation des primates. Cela qui impliquait un contrat très bien financé en tant que *Research Fellow* de la *Smithsonian Institution*, pour l'année 1966, et éventuellement pour les années suivantes, couvrant tous les frais d'un couple avec enfant. Toutefois, après une première année budgétaire très décalée par rapport à celle de nos administrations, la guerre du Vietnam, que l'on suivait à la radio, a considérablement réduit les sources de financement de tous les organismes qui dépendaient du gouvernement des USA. Il nous a fallu, comme tous les autres scientifiques, américains ou non, travaillant dans la réserve de Barro Colorado, nous contenter d'un minimum de financement. Mais cela permettait de poursuivre les travaux dans des conditions de terrain très agréables.

Ces travaux de recherche ont consisté, pendant 15 mois, à suivre les groupes de primates à travers la forêt, comme l'avait fait Carpenter, mais en notant soigneusement tout ce qui était consommé. Il s'agissait d'abord d'identifier les plantes à partir des échantillons qui ont par la suite rejoint les collections de la Smithsonian Institution à Washington, ainsi que celle du grand Herbarium du

Muséum à Paris, étiquetés et numérotés par rapport à la collection Annette Hladik. Ces espèces végétales étaient généralement collectées le lendemain des journées d'observation des primates, et cela demandait pratiquement une autre journée complète pour retrouver chacun des arbres repérés et souvent de l'escalader pour être certain de disposer d'un échantillon dont mon épouse pouvait généralement déterminer l'espèce dans le petit herbier laissé par les chercheurs qui nous avaient précédés. Les déterminations furent parfois plus difficiles, exigeant de consulter les grands herbiers de Washington ou de Paris.



Cet habit d'escalade a été confectionné par un tailleur de Panama en utilisant comme modèle la première tenue renforcée testée à Ceylan. Il était utilisé pour collecter les parties des plantes consommées par les primates — ici le feuillage de *Quararibea asterolepis* —, dans un arbre repéré la veille, où les singes se sont alimentés. Les renforts de cuir qui facilitent la progression le long du tronc sans aucune éraflure seront fort utiles lorsque cet habit sera utilisé avec d'autres systèmes de collecte d'échantillons, dans d'autres forêts tropicales (photos Annette Hladik).

L'objectif, lorsque je suivais un groupe de primates, était de mesurer les quantités ingérées par le primate-cible choisi dans un groupe, que je m'efforçais de ne pas perdre de vue pendant une journée entière. Une excellente paire de jumelles et du matériel photo, achetés à Panama en début de séjour, m'ont suivi partout. Les quantités ingérées étaient relativement faciles à déterminer lorsqu'il s'agissait de fruits dont je comptais le nombre que l'animal avalait. Ces fruits étaient collectés par la suite pour en peser une série d'échantillons. Lorsqu'il s'agissait des repousses de feuillages riches en nutriments que plusieurs des espèces des primates de Barro Colorado utilisaient, l'évaluation du poids consommé était nécessairement moins précise. Cela reste encore un problème dans les études de terrain sur l'alimentation <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00547677>> mais en pratique, après de bonnes observations des bouchées qu'un animal arrache à la plante, on arrive à reproduire à l'identique, à la main, ce ramassage de l'item qui a été cueilli directement dans la bouche de l'animal. Cette collecte est également nécessaire pour obtenir les échantillons de matériel à analyser, car les documents sur la composition des aliments publiés par la FAO ne font état de résultats d'analyses des plantes des forêts que s'il s'agit d'espèces connues et utilisées par les humains ; et c'est rarement le cas pour les aliments des primates non humains. On doit donc mettre en réserve, conditionnés par séchage ou par précipitation dans l'alcool bouillant, tous les échantillons alimentaires des primates pour en faire ultérieurement l'analyse.

Nous avons eu par la suite, au sujet de ces méthodes, des discussions quasi surréalistes avec certains collègues qui dirigeaient des thèses (PhD) en pays anglophones. Pour leurs étudiants travaillant sur l'alimentation des primates et/ou d'autres mammifères, les méthodes qu'ils estimaient plus rigoureuses consistaient à mesurer les temps passés à s'alimenter sur chacun des items, fruits, feuilles ou insectes. Cela permettait de faire des comparaisons statistiques à partir de chiffres parfaitement répertoriés ; et il était indispensable d'inclure des statistiques dans un mémoire de PhD. Mais cela n'avait plus rien à voir avec la consommation alimentaire dont on me reprochait la trop grande imprécision. Comment comparer, en fonction du temps, la consommation de plusieurs centaines de grammes de fruits en quelques minutes avec la cueillette longue et délicate des repousses de feuillage ou avec les temps de collecte de quelques grammes d'insectes qui peuvent nécessiter des heures ? J'avais d'ailleurs noté sur mes fiches ces mesures des temps d'alimentation ; mais cette utilisation d'une mesure du temps plutôt que de celle du poids des aliments pour déterminer le régime alimentaire me rappelait l'histoire de la personne qui, la nuit, cherchait son portefeuille à la lueur d'un lampadaire, alors que, disait-elle, la perte avait eu lieu dans un endroit éloigné... mais où il faisait trop noir pour le chercher. Cette histoire ne faisait guère rire mes collègues qui reconnaissaient cependant que ce calcul de ces durées de consommation ne donnait pas d'indication réelle sur le régime alimentaire des espèces observées.

Le groupe de primates que je choisisais de suivre pendant la journée entière devait être trouvé rapidement, le matin au lever du jour. Je quittais notre maison sur pilotis, à mi-pente des escaliers qui partaient du débarcadère, parmi celles d'une dizaine d'autres scientifiques, et je démarrais bien avant que le petit-déjeuner ne soit servi dans la cafétéria, au sommet de ces longs escaliers d'où l'on découvrait le lac Gatun et les énormes cargos qui passaient dans le chenal balisé de cette section du Canal de Panama. La localisation d'un groupe de primates pouvait être quasi immédiate s'il s'agissait des singes hurleurs, *Alouatta villosa*, qui ne se déplaçaient pas beaucoup sur un territoire de faible surface. De plus on entendait, dès l'aube, leurs cris territoriaux impressionnants qui se répondaient d'un groupe à l'autre et marquaient ainsi leur présence. Ces cris effrayants avaient beaucoup frappé les premiers visiteurs de ces forêts et contribué à la sensation d'un danger que seuls les moustiques vecteurs de malaria représentaient de fait.



Les singes hurleurs (*Alouatta palliata*) consommant les feuilles de *Cecropia peltata* en lisière de forêt. Cette photo fut prise à l'aide d'un téléobjectif de 500 mm, monté sur un trépied assez léger afin de pouvoir accompagner l'observateur en forêt toute la journée, au cours des suivis des groupes de primates de Barro Colorado. Le film Ektachrome rapide (200 ASA) — qui pouvait être utilisé en prévoyant un surdéveloppement pour gagner en sensibilité — ne se conserve pas très bien et demande souvent une retouche des couleurs lorsqu'on passe au scanner ces anciens clichés.

Non seulement les singes hurleurs étaient faciles à trouver, mais la composition de leur alimentation variait peu en cours de journée, incluant beaucoup de feuillages et les fruits les plus abondants selon le cycle des saisons sèches et humides. On les disait folivores, mais il s'est avéré qu'en termes de quantités ingérées il s'agissait de frugivores, comme c'est le cas de la grande majorité des primates. Ils passaient beaucoup de temps à se reposer, étendus sur les branches, et je finissais par trouver monotone leur observation continue.

En revanche, le suivi à travers la forêt d'un groupe de sajours capucins (*Cebus capucinus*) était un véritable sport de haut niveau. Ces capucins ne s'attardaient jamais, consommant les fruits au plus vite lorsqu'ils en trouvaient et ils pouvaient même mettre en fuite un groupe de singes hurleurs en train de consommer pacifiquement les petites figues de l'une des nombreuses espèces du genre *Ficus* de la flore de Barro Colorado. Pour ne pas me laisser distancer par le groupe de capucins, je devais me glisser au plus vite dans les plantes basses et souvent épineuses, sous les arbres où ce n'était pas toujours facile de bien les voir ; et j'ai dû parfois renoncer à suivre toujours le même individu pour me focaliser sur un autre plus visible, du même groupe. Les obstacles les plus terribles étaient les « faux ananas », des broméliacées formant des blocs jointifs de plantes hautes bardées de longues épines qu'il fallait nécessairement contourner pour retrouver les arbres où les capucins se nourrissaient.



Le sajou capucin, *Cebus capucinus*, dans la forêt de Barro Colorado. Il consomme l'arille (une pulpe sucrée entourant les graines) des fruits de pois doux du genre *Inga*, après en avoir ouvert avec ses dents la gousse extrêmement dure. Les graines sont généralement ingérées avec la pulpe, celle des fruits ou celle des arilles. Elles sont ainsi disséminées dans les fèces, loin de l'arbre producteur. Les fruits les plus sucrés étant préférentiellement consommés par les primates, les plantes qui les produisent se répandent efficacement. Les primates agissent ainsi comme des « jardiniers de la forêt » qui auraient favorisé les espèces dont leur nourriture dépend.

L'alimentation des capucins incluait des insectes et autres invertébrés qui n'ont pas pu être tous identifiés, ce qui constitue une partie indéterminée de mes résultats. Ils les trouvaient en soulevant les écorces et en cassant des branches mortes qu'ils laissaient choir vers tout observateur qui pouvait se trouver sur la trajectoire. Au cours de leur activité incessante, juste entrecoupée de brèves poses, leurs canines acérées leur permettait d'ouvrir des fruits durs et fibreux comme les grosses gousses des « pois doux » (du genre *Inga*) qui contiennent, des arilles de pulpe sucrée entourant chaque graine.

Il existe, dans ces forêts d'Amérique tropicale, plusieurs espèces du genre *Inga* dont les graines, à l'intérieur d'une gousse résistante, sont entourées d'un arille comestible, une sorte de pulpe juteuse et sucrée. L'espèce *Inga edulis* — dont l'énorme gousse est parfois vendue dans les boutiques de Panama — était une véritable friandise pour mon jeune fils qui suçait comme un bonbon la pulpe entourant chaque graine que je lui offrais après avoir forcé l'ouverture d'une gousse très résistante. Les graines particulièrement dures et qui ne peuvent guère être consommées, sont généralement avalées par les animaux consommateurs avec la pulpe sucrée qui les enrobe et qui adhère à sa surface. Pour la plante, c'est un mécanisme de dissémination des semences fort efficace, celui que nous avons eu l'occasion de tester quelques années plus tôt en vérifiant la persistance du pouvoir germinatif des graines que j'avais trouvées dans les tubes digestifs des singes du Gabon.

Deux autres primates de l'île de Barro Colorado, le singe-araignée, *Ateles geoffroyi* et le tamarin à nuque rousse, *Saguinus geoffroyi*, ont été également suivis pendant des journées complètes. Le premier est un grand consommateur de fruits qui se suspend souvent par sa queue préhensile — une particularité des singes d'Amérique dont l'extrémité de la queue est marquée de dermatoglyphes sensibles comme ceux de nos empreintes digitales — pour atteindre des fruits les plus éloignés en bout de branche. Le second, de la catégorie des ouistitis, cherche surtout les insectes et autres petites proies animales, un menu beaucoup moins végétarien mais qu'il doit compléter par les fruits les plus riches en sucres pour obtenir suffisamment d'apports énergétiques.

Il y avait également dans cette forêt un « singe de nuit », le douroucouli (*Aotus trivirgatus*) que je n'ai pas réussi à suivre comme je l'aurais souhaité en utilisant la lunette couplée à un fort émetteur infra-rouge qui faisait partie du matériel laissé à disposition des chercheurs par l'armée américaine. En fait, il y avait aussi d'autres types de matériels en dépôt sur notre île qui n'était alors connectée au reste du monde que par des vacations radio à intervalles réguliers. Des armes étaient laissées en dépôt, au cas où il faudrait faire face à une agression par des guérilleros présents un peu partout en Amérique tropicale ; mais tout le monde pensait qu'une riposte par les armes à feu eut été absolument à éviter.

J'ai cependant eu l'occasion d'utiliser l'un de ces fusils : c'était une carabine Winchester à répétition, fonctionnant avec les cartouches de chasse ordinaires, mais qui était beaucoup plus maniable que ceux que je n'avais pas beaucoup utilisés moi-même au Gabon — car il y avait toujours avec moi un chasseur très motivé et désirant tirer à ma place. A Panama, j'ai manipulé seul ce fusil et ce fut toujours pour obtenir des échantillons scientifiques en quantité strictement nécessaire. Car il était toujours prévu dans mon programme d'obtenir des données morphologiques et des échantillons des tissus de l'appareil digestif des espèces dont je déterminais le régime alimentaire et ses variations au cours du cycle saisonnier. Ces prélèvements sur la faune sauvage devaient évidemment être effectués dans les forêts situées hors de la réserve, là où la chasse était autorisée.

Cependant j'ai tiré un coup de feu au sein même de la réserve de Barro Colorado, sur ordre du directeur qui voulait impérativement éradiquer un animal échappé d'une des cages où quelques primates étaient maintenus pour des observations détaillées. Il s'agissait d'un apelle, *Cebus apella*, une espèce de sajou différente du capucin, *Cebus capucinus*, présent sur l'île. Ce singe s'était joint et mêlé rapidement au groupe de capucins établi près des installations de la station, celui que je suivais périodiquement pour étudier les variations saisonnières de l'alimentation. C'était un cas d'urgence pour la gestion d'une réserve où ne subsistaient que des espèces natives de primates et dont le patrimoine génétique risquait d'être transformé. Ce fut alors une occasion unique pour vérifier l'exactitude de ma méthode de calcul des prises alimentaires. Le jour où j'ai abattu ce *Cebus apella*, j'avais suivi le groupe et calculé tout ce qui était ingéré en cours de journée. Le soir, après une chasse sans difficulté, je disposais non seulement des prélèvements du tractus digestif de ce sajou, mais également de son contenu dont j'ai facilement identifié tous les éléments, même les végétaux fortement broyés que j'avais identifiés lorsqu'ils étaient consommés par les capucins et l'apelle qui s'était joint à eux. Tout cela a été pesé, fraction par fraction, et le résultat était très proche (à 5 pour cent près) de ce qui avait été calculé par observation directe. CQFD !

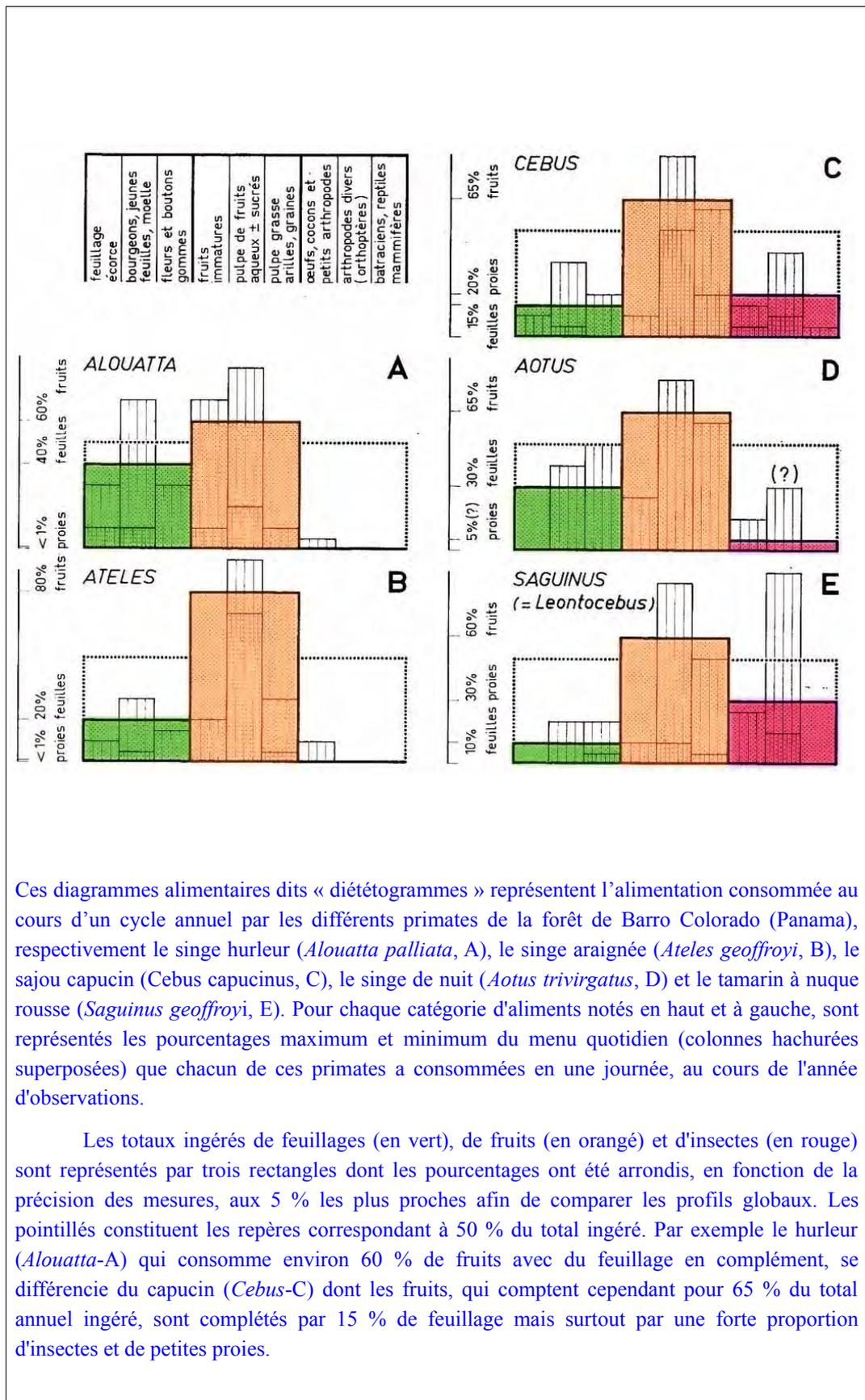
Pour les autres primates dont je prévoyais de collecter un exemplaire, je disposais d'un permis de chasse valable dans tout l'état du Panama, pour les cas où je me trouverais hors de la Zone du Canal. J'emportais dans la jeep de la station tout mon attirail de prélèvement et de fixation pour l'histologie du tractus digestif, avec un petit appareil frigorifique branché sur la batterie. La chasse au singe hurleur fut relativement simple, ce gibier étant rarement la cible des chasseurs locaux. J'avais toutefois dû m'enfoncer assez loin, par quelques pistes étroites, dans une jungle dense semée de blocs rocheux. L'affaire fut vite réglée pour un vieux hurleur mâle que l'impact fit choir au sol en une seconde ; et il ne me fallu qu'un peu plus de temps pour effectuer les prélèvements en bon ordre et revenir vers la jeep avec ma glacière. Je rentrais tranquillement, traversant d'abord un vieux pont de bois avec la face visible d'un panneau où je pouvais lire « traversez

à vos risques et périls » (*cross at your own risk*) que je n'avais pas vu à l'aller. Plus loin, ce fut une autre surprise, avec un panneau tout récent indiquant que je sortais d'une zone d'entraînement militaire où étaient formées les forces anti-guérilla. Nous étions un jour d'entraînement et je croisais un peu plus loin des petits groupes de soldats américains qui rentraient à pied. En fait j'étais le seul à disposer, dans cette forêt, d'une arme qui n'était pas chargée à blanc et le risque aurait pu être, pour eux, un accident de chasse ! Mais je suis toujours resté un chasseur très prudent.

Ainsi après 15 mois passés avec les primates de l'île de Barro Colorado, je disposais de fiches décrivant les menus journaliers de plusieurs espèces de singes, répartis, pour chacune d'elles, tout au long du cycle saisonnier. Leur précision m'a permis d'élaborer les « diététogrammes » qui figurent sur notre publication parue en France un an plus tard <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00561205v2/document>>. Le « diététogramme » indique les proportions des différents aliments ingérés, ainsi que les maxima et minima de chaque catégorie d'aliment dans les prises quotidiennes au cours du cycle annuel.

Nous arrivions ainsi aux premières descriptions précises et quantifiées des régimes alimentaires de primates dans leur environnement naturel. C'est ce que nous cherchions pour caractériser les différentes espèces en relation avec la morphologie de leur appareil digestif. Les variations des prises alimentaires au cours du cycle saisonnier — correspondant, bien évidemment, à ce qui est périodiquement disponible — permettent d'évaluer le degré de flexibilité caractérisant chacune des espèces. La suite de ces recherches restait donc à entreprendre sur les primates non humains d'Afrique et d'Asie, afin d'obtenir une série de « diététogrammes » suffisante pour comprendre les différents aspects des adaptations à l'alimentation chez les primates.

Cependant ce mot « diététogramme » n'a pas eu de succès et il n'existe dans aucun dictionnaire. Personne n'a repris ce terme, ce qui s'explique par le fait qu'il n'y avait, à cette époque, aucune autre étude scientifique concernant la quantification précise des régimes alimentaires d'espèces sauvages. Par ailleurs l'ensemble de nos résultats, incluant la botanique et l'écologie des primates, ont été publiés en un seul long article en français <<http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00561205>>, dans une revue (actuellement la *Revue d'Écologie*) dirigée alors par le Professeur François Bourlière qui avait encouragé ces recherches alors même qu'aucun enseignement d'écologie n'existait en France et que les sections du CNRS séparaient totalement la botanique du monde animal auquel elle est pourtant, de fait, intimement liée.



La niche écologique et l'alimentation des primates

La notion de « niche écologique » nous vient des scientifiques anglophones et de leurs premiers ouvrages en écologie, dont le *Fundamentals of Ecology* des frères Odum (Eugene et Howard), qui permettaient de diffuser un enseignement pratiqué aux USA depuis plusieurs années. On disait alors « le Odum » et François Bourlière répétait souvent que la « niche » est à la fois « le métier » et le lieu où l'exerce une espèce animale.

Les interactions entre les animaux et les végétaux avaient été, bien évidemment, parfaitement perçues en leur temps par Charles Darwin ainsi que par le précurseur des sciences écologiques, Ernst Haeckel, dès la fin du XIX^e siècle. Les études de terrain auxquelles nous avons eu le privilège de participer ont beaucoup changé notre vision des choses et la compréhension des mécanismes que la sélection naturelle a favorisés. L'essentiel reste toutefois de ne pas se laisser abuser par le langage dont il faudrait absolument bannir le verbe « s'adapter » à la voix active. Car il n'y a jamais eu d'adaptation des espèces au cours de leur évolution, même si ce sont toujours les mieux adaptées qui survivent. On répète trop souvent aux étudiants que les bactéries s'adaptent aux antibiotiques alors qu'on sait bien que ce sont les humains qui arrivent à éliminer les souches sensibles aux antibiotiques, et, de ce simple fait, laissent le champ libre aux seuls mutants résistants que le hasard des millions de mutations finit toujours par faire apparaître !

Dans les forêts tropicales, la diversité des espèces a également posé un problème qui n'en est pas un. Beaucoup de nos collègues issus des universités d'Amérique du Nord, se demandaient pourquoi on y trouvait un si grand nombre d'espèces... Il est pourtant évident qu'un questionnement inversé conviendrait beaucoup mieux, car on explique facilement la limitation du nombre d'espèces dans les régions froides de la Terre ... mais ce sont les caractéristiques de ces régions qui ont servi de référence aux scientifiques venus étudier les forêts tropicales. Il n'empêche que les réseaux d'interactions y sont extrêmement diversifiés et que ce sont les réseaux trophiques — qui mange qui ? — qui dominant, en particulier pour la dissémination et la régénération des plantes à fleurs (les angiospermes) dont les pulpes des fruits les plus riches en sucres favorisent la dissémination aussi bien par les primates que par les chauve-souris ou les oiseaux, selon la taille des fruits à ingérer. Le point de vue inverse est cependant à considérer car la perception gustative des primates (et des autres consommateurs) sera nécessairement sélectionnée en retour, avec les meilleurs goûteurs qui seront ceux qui arriveront à s'alimenter au mieux, ainsi que nous l'avons observé par la suite.

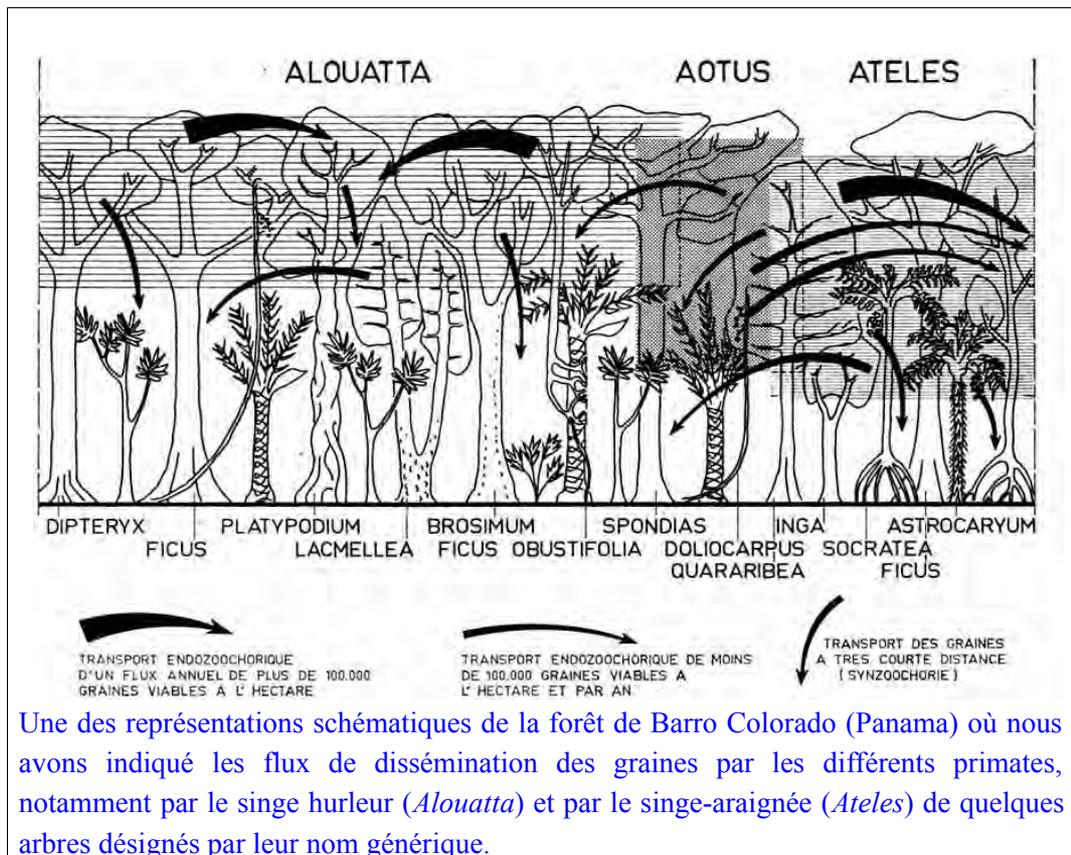


Retenu par sa queue préhensile dont l'extrémité sensible a la structure de la peau des doigts humains, le singe-araignée, *Ateles geoffroyi*, collecte les fruits les plus mûrs du *Cecropia longipes* dont les petites graines sont enrobées d'une pulpe gélatineuse sucrée. Ces fruits forment, avec ceux de nombreuses autres espèces, la majeure partie de son alimentation qui est complétée par des repousses de feuillage suffisamment riches en protéines pour équilibrer ce régime frugivore.

Cette action des primates frugivores sur les plantes à fruits pulpeux des forêts de Panama — dont on a vu qu'elle impliquait même un singe partiellement folivore comme le hurleur —, a pu être mesurée à partir de nos études des régimes alimentaires. Grâce aux collègues qui travaillaient sur le comportement territorial, nous connaissions le nombre d'individus par groupe et les distances parcourues chaque jour. Nous avons donc pu calculer le nombre total de fruits qui étaient ingérés et le nombre de graines qui étaient ainsi dispersées chaque année en conservant leur pouvoir de germination, et sur quelle surface. Car les pourcentages de germinations des graines après un transit intestinal ont été comparés à ceux des lots de graines témoins issus des fruits mûrs. Toutes les graines récupérées dans les fèces étaient semées dans une « serre » formée d'une simple paroi de moustiquaire protégeant les plantes contre les insectes ravageurs. Ce fut un long travail pour mon épouse Annette, botaniste complétant les collectes et les déterminations d'espèces sur l'île de Barro Colorado.

La dissémination et la possibilité de régénération des plantes consommées par les primates dépasse souvent, pour beaucoup d'espèces végétales, les 100 000 graines par hectare et par an, en particulier pour des graines de petit

calibre, nombreuses dans les fruits des *Ficus*. Le moins efficace des primates est le singe hurleur qui est le moins mobile et dont l'ingestion diminue sensiblement les pourcentages de germination des graines — sans doute à cause de la longue digestion d'un régime riche en fibres. Le plus efficace est le capucin ; toutefois lorsque j'ai voulu faire avaler à un capucin maintenu en captivité les fruits mûrs de la Rubiacée *Faramea occidentalis* afin d'en recueillir les graines dans ses fèces, je fus bien déçu. Le jeune animal en cage a totalement broyé toutes les graines avec les fruits qui étaient normalement avalés tout ronds par les capucins dans la nature environnante. Nos expériences ne marchent pas toujours selon le planning prévu !



Une des représentations schématiques de la forêt de Barro Colorado (Panama) où nous avons indiqué les flux de dissémination des graines par les différents primates, notamment par le singe hurleur (*Alouatta*) et par le singe-araignée (*Ateles*) de quelques arbres désignés par leur nom générique.

Ajoutons encore une observation originale qui concerne la consommation des fruits de *Tocoyena pittieri* par le singe-araignée. Ces fruits sphériques ont une coque particulièrement dure qui renferme de nombreuses graines au milieu d'une pulpe qui devient sucrée à maturité. La tentative d'ouverture d'un de ces fruits n'a visiblement pas satisfait le singe-araignée qui a laissé en place le fruit partiellement ouvert et dont la maturité n'était pas suffisante. Cependant, quelques jours plus tard, le même singe repassait près du lieu où il avait difficilement cassé la grosse coque du fruit avec ses dents... Et le traumatisme avait visiblement accéléré la maturation du fruit dont toute la pulpe et les graines furent rapidement avalées, comme s'il avait programmé cette préparation de son menu !



Le singe-araignée, *Ateles geoffroyi*, est un frugivore végétarien qui ne consomme pratiquement jamais de proies animales — à l'exception, sans doute, des larves d'insectes présentes dans les fruits — et qui utilise, en complément, beaucoup de repousses végétales riches en protéines. On le voit ici en lisière de forêt, sur un palmier dont il teste le jus des feuilles en les mâchonnant.

Nous avons été agréablement surpris, par la suite, de constater que toutes nos observations, après leur publication en français, avaient été lues et commentées par des universitaires anglophones, ce qui a entraîné d'autres travaux sur les équilibres entre les animaux et les végétaux dans les forêts tropicales. Ce sont ces travaux publiés en langue anglaise, qui ont entraîné à leur tour, quelques

années plus tard, certains de nos collègues à reprendre ce type de recherche dans un domaine devenu alors l'actualité scientifique — puisque publiée en anglais —, afin de décrire les « pluies de graines » qui reconstituent constamment dans le sol des forêts une « banque de graines », c'est à dire un stock qui a la possibilité de germer dès qu'une trouée — un châblis — se forme et laisse pénétrer assez de lumière pour permettre aux arbres à croissance rapide — les espèces dites pionnières —, puis aux essences de grande forêt, de régénérer la forêt. La mesure la plus précise des flux de graines que déplacent les primates reste cependant celle que nous avons publiée dans notre article traitant à la fois de zoologie et de botanique.



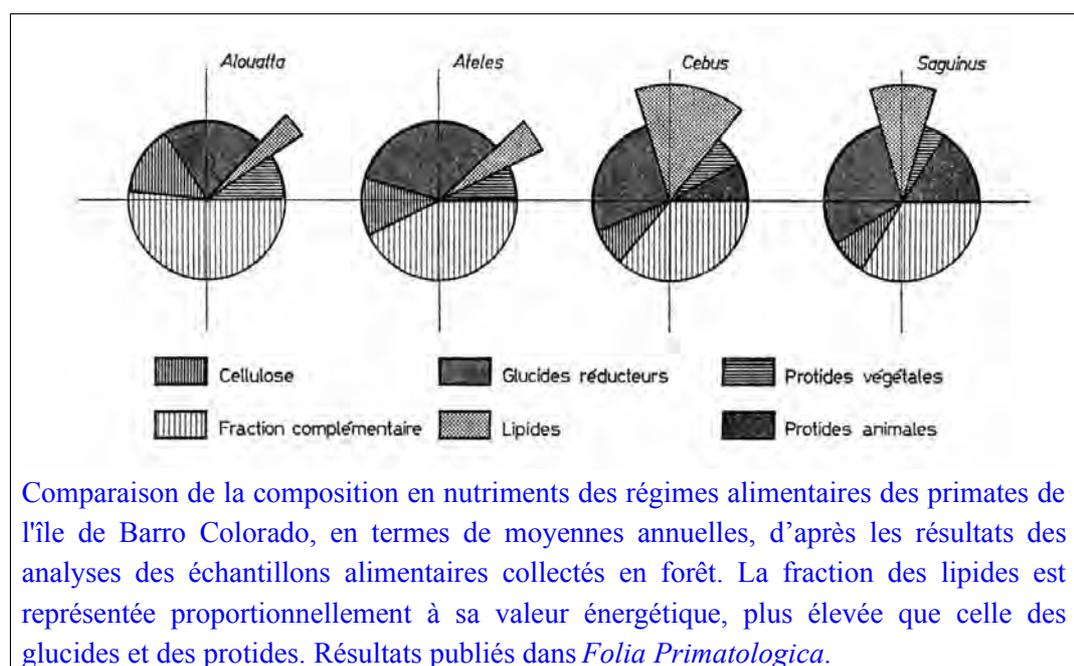
Le tamarin à nuque rousse, *Saguinus geoffroyi*, photographié ici dans la canopée de la forêt de Barro Colorado, est un grand consommateur d'insectes et d'autres petites proies qui lui fournissent des protéines en complément des fruits dont l'apport est néanmoins indispensable pour couvrir ses besoins en énergie. Prédateur de petites proies il peut devenir à son tour la proie des grands oiseaux dont il vient de repérer la présence au-dessus de lui, en cette journée de 1967 où je le suivais à l'aide de mon téléobjectif de 500 mm qui nécessitait toujours — en raison de la trop faible sensibilité des films Ektachrome — l'accompagnement d'un petit trépied pour le stabiliser.

Tout cela apportait aussi une nouvelle vision des forêts tropicales en tant que productrices de l'alimentation des primates. Notre approche en ce sens a consisté à relever la répartition des principaux végétaux que consommaient les primates sur des parcelles, le long d'itinéraires parfaitement repérables et mesurables. Les repères, en ces temps qui se situent bien avant l'utilisation si commode du GPS, étaient des plaques de cuivre gravées, posées à intervalles

réguliers le long de petits sentiers de la réserve aménagés sur des pentes souvent abruptes, pour faciliter les observations des chercheurs. Chaque sentier était nommé, comme les rues d'une grande ville, en fonction des noms de personnages célèbres et il s'agit ici de zoologistes ou de botanistes des universités américaines.

Les relevés de végétation ont été ciblés sur les végétaux, surtout les arbres, qui procuraient la plus grande partie de la nourriture des primates sur lesquels l'échantillonnage alimentaire était le plus complet : hurleurs, capucins, singes-araignées. Nous avons pu calculer au moins les ordres de grandeur des productions disponibles dans les territoires des groupes respectifs et aboutir à un rapport, déjà classique dans les études écologiques, entre une consommation et une production globale d'environ un à dix. C'était une première tentative sur l'écologie des primates que la suite de nos travaux de terrain avec des collègues anglo-saxons a permis d'affiner.

De plus, les résultats des analyses des échantillons alimentaires que nous avons reçus quelques semaines après notre retour en France, au Laboratoire de Brunoy, dans de grosses caisses de bois expédiées par bateau depuis le port de Colon — le côté Atlantique du Canal de Panama — ont permis de préciser l'impact énergétique des primates sur la forêt. Il s'agit encore d'une publication en langue française, dans la revue scientifique internationale *Folia Primatologica* <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00561244> qui autorisait (et permet toujours) aussi bien les textes en français qu'en anglais ou en allemand. Nous avons pu y présenter ces résultats originaux, réalisées avec nos collègues de l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) qui disposaient des meilleures techniques d'analyse des aliments destinés au bétail. Nous tenions à publier en français dans un milieu scientifique où l'anglais est devenu, par la suite, indispensable à la communication.



Comparaison de la composition en nutriments des régimes alimentaires des primates de l'île de Barro Colorado, en termes de moyennes annuelles, d'après les résultats des analyses des échantillons alimentaires collectés en forêt. La fraction des lipides est représentée proportionnellement à sa valeur énergétique, plus élevée que celle des glucides et des protides. Résultats publiés dans *Folia Primatologica*.

Ces résultats concernant les proportions calculées pour les nutriments — glucides, lipides, protides dans le total ingéré au cours d'une année d'observation, par les primates de Barro Colorado — permettent aussi de préciser comment ils se différencient entre eux du point de vue du comportement alimentaire. Les fractions des lipides, les graisses qui apportent deux fois plus d'énergie que les autres nutriments, sont plus grandes chez les deux espèces partiellement insectivores, le capucin, *Cebus capucinus* et le tamarin, *Saguinus geoffroyi*, qui sont aussi les plus actifs. Les glucides réducteurs, autrement dit l'essentiel des sucres des pulpes des fruits, sont d'autant plus abondants chez les animaux de petite taille pour lesquels un même poids de fruits, consommé pendant la même période que pour les espèces de plus grande taille, constitue un apport relatif plus important. Il en est de même pour les protéines d'origine animale provenant principalement des insectes dont le tamarin tire un meilleur profit parce qu'il est le plus petit. La cellulose qui a pu être analysée séparément dans les échantillons des plantes consommées est, comme on pouvait s'y attendre, plus abondante dans l'alimentation des consommateurs de feuillages, le hurleur et le singe-araignée. Enfin nous avons calculé une fraction complémentaire qui représente essentiellement des fibres qui ne peuvent pas — ou très peu — être digérées, sauf peut-être par le hurleur dont l'alimentation en contient plus de 50 % et dont le tractus digestif présente des particularités de structures qui pourraient correspondre à cette adaptation.

Bien entendu, les relations avec le système digestif et les marges d'adaptation aux différents aliments restaient la ligne directrice de cette recherche, et c'est pour cela qu'au cours du voyage de retour je suis resté quelques semaines aux USA, à Boston. Dans le laboratoire du Pr Fawcett, avec S. Ito, le spécialiste de la question, nous avons examiné au microscope électronique les surfaces des muqueuses digestives des primates dont j'avais fait des préparations sur le terrain. Dans le cas du singe hurleur, nous avons vu des associations des surfaces muqueuses avec certaines bactéries qui jouent vraisemblablement un rôle majeur dans la digestion des régimes riches en fibres végétales. Car le tractus digestif de ce primate reste morphologiquement celui d'un frugivore, ce qui le différencie des vrais singes folivores (*leaf monkeys*) que nous avons longuement suivis par la suite à Ceylan.

Mesurer les produits consommés dans un environnement naturel

Les conditions matérielles favorisant la recherche scientifique, même si elles ne sont pas les principaux déterminants des résultats, y contribuent largement. C'est ainsi que nos travaux sur l'alimentation des primates de Ceylan, ayant bénéficié du meilleur contexte que l'on puisse souhaiter, ont pu aboutir à une analyse des adaptations à l'environnement en fonction de l'alimentation des primates, analyse qui reste unique en son genre. Ce contexte matériel impliquait notamment ce qui était le plus rare à Ceylan : deux véhicules, dont notre Citroën Méhari que nous avions auparavant expédiée par bateau depuis le port du Havre, ainsi qu'un minibus Volkswagen qui pouvait servir, sur le terrain, de chambre à coucher ou de laboratoire. Il impliquait aussi une somme si faramineuse que je n'arrivais pas à compter le nombre de zéros sur le chèque (en roupies) qui m'avait été remis, dès notre arrivée, par le zoologiste John Eisenberg, responsable du projet.

Ce n'est pas un hasard si nous fûmes invités par nos collègues des USA à nous joindre à ce « *Smithsonian Zoological Survey in Ceylon* » très largement financé localement par le remboursement des dettes du pays que le gouvernement américain acceptait de recevoir dans la monnaie locale, non convertible, mais que l'on pouvait dépenser sur place. Car les jeunes chercheurs anglophones et les plus expérimentés de nos collègues, dont John Eisenberg, connaissaient bien les résultats que nous avions publiés sur les primates de Barro Colorado et sur les structures et les productions de la forêt qui sont inextricablement liés.

Le contraste était presque violent entre ces conditions matérielles et celles des années précédentes, consacrées, en France, à l'analyse de nos données et à la rédaction des publications scientifiques. J'avais intégré le CNRS comme stagiaire de recherche mais les candidatures successives de mon épouse n'étaient pas prises en compte par un découpage des thèmes de recherche qui excluait tous les liens entre la botanique et la zoologie — autrement dit l'essentiel de l'écologie. Nous avons vécu au plus juste, alors qu'en arrivant à Ceylan il n'y avait pratiquement aucune limite à nos dépenses. Notre grande maison, avec un jardin où nos deux enfants pouvaient jouer, se situait sur les pentes fraîches et boisées autour de la ville de Kandy, l'ancienne capitale des rois de Ceylan. Notre jardinier y avait planté des papayers dont nous avons pu consommer les fruits sept mois plus tard. Les deux personnes très gentilles — une tamoule et une cinghalaise que nous avons engagées pour assurer la garde de nos enfants lorsque nous partions sur les différents terrains de recherche — se sont bien entendues entre elles et avec notre cuisinier, en dépit de leurs origines différentes qui, nous l'avons appris plus tard, ont occasionné le conflit meurtrier qui se profilait déjà sans que nous en ayons la moindre perception, dans ce cadre idyllique.

Dans cette grande île de Ceylan — dont le nom est devenu le Sri Lanka au cours de notre période d'étude — plusieurs terrains d'observations, incluant des forêts tropicales humides et des forêts de la zone sèche avaient été sélectionnés par nos collègues qui travaillaient sur le comportement de mammifères incluant les primates et les éléphants. La coopération avec ces scientifiques venus des USA ainsi qu'avec des chercheurs locaux de l'Université de Peradeniya a permis de développer, dans chacune de ces stations de terrain, un « *survey* ». Cela incluait, en ce qui concerne les primates dont nous avons étudié l'alimentation, une analyse complète de la composition et de la structure des fractions de forêt utilisées par les groupes de chacune des deux espèces de langurs, consommateurs de feuillages (*leaf monkeys*) — respectivement *Semnopithecus entellus* et *Semnopithecus senex*, ainsi que par les macaques, *Macaca sinica*, essentiellement frugivores. Des observations nocturnes sur un prosimien, le loris tardigrade (*Loris tardigradus*), presque exclusivement insectivore, ont été ajoutées à ces recherches comparatives sur l'alimentation des primates.

C'est à Polonnaruwa, un site archéologique protégé où la forêt sèche s'est reconstituée depuis longtemps, que nous avons focalisé la plus grande partie de nos observations. Car ce site est fréquenté par des pèlerins bouddhistes qui ne molestent jamais les animaux rendus ainsi peu méfiants. Cela permet d'observer de très près les primates qui ne prêtent aucune attention aux humains, sans avoir à y consacrer une longue période d'habitation — toutefois je n'ai pas tenté de nouveau de les approcher dans le haut des arbres !

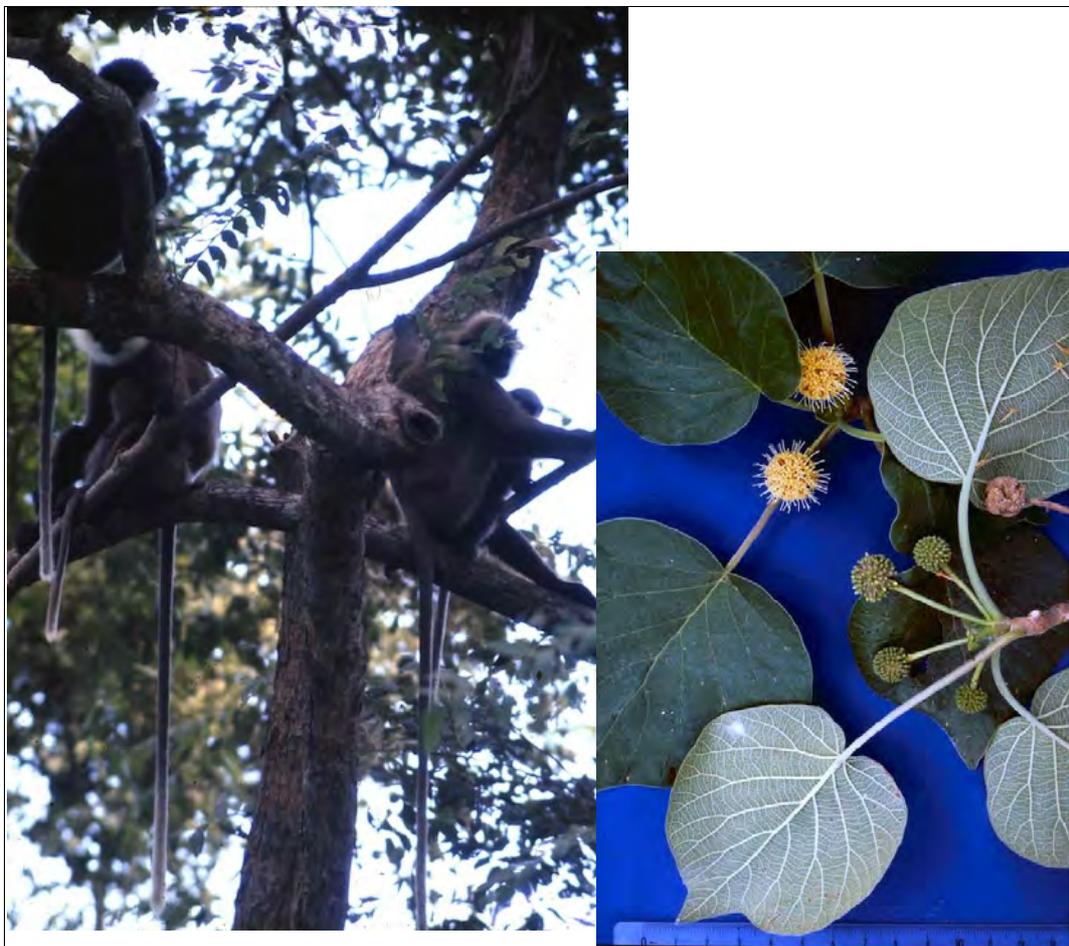


Une journée d'observation des langurs de Polonnaruwa (Sri Lanka) — ici celle de l'entelle, *Semnopithecus entellus* — débute toujours dès l'aube, lorsque ces primates commencent à s'alimenter alors que la lune est encore visible dans un ciel qui s'éclaire.



Les groupes d'entelles, *Semnopithecus entellus*, sont particulièrement faciles à observer. Ils peuvent être vus au sol en cours de repos ou lorsqu'ils s'alimentent sur des plantes basses comme la sensitive, *Mimosa pudica*, dont ils évitent précautionneusement les épines en cueillant les tiges fleuries dont les feuilles se replient au moindre contact.

La participation aux observations sur les primates de deux étudiants en zoologie de l'Université de Peradeniya (à Kandy, Sri Lanka) a permis d'assurer un relais à mi-journée dans le suivi de la consommation alimentaire d'un individu choisi dans l'un des groupes, et parfois même des deux primates de deux espèces différentes suivis au cours d'une même journée. Comme nous dormions dans un abri tout proche que nos collègues avaient fait construire, le suivi continu était assuré, dès le lendemain de notre arrivée, au petit matin. Le décompte précis des fruits et des feuilles ingérées par les primates était enregistré sur des fiches et quelquefois sur un magnétophone lorsque la consommation était trop rapide pour prendre des notes. Les échantillons alimentaires étaient toujours recueillis le jour suivant et mis en condition pour de futures analyses.



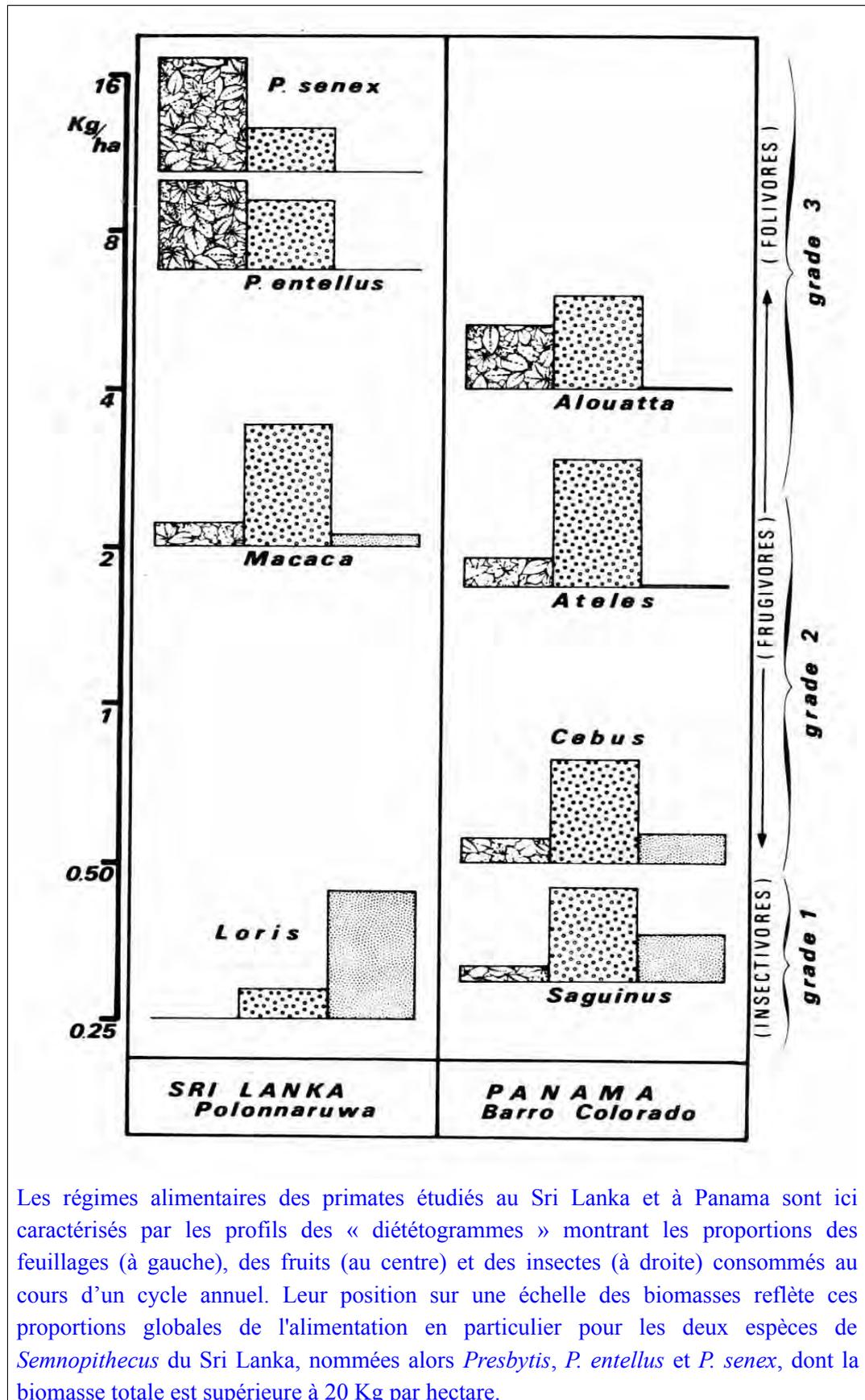
L'un des groupes de *Semnopithecus senex* dont le régime alimentaire a été étudié sur le site de Polonnaruwa (Sri Lanka) au cours des années 1969-70. Bien que très peu visibles car répartis en petits groupes cachés au sommet des arbres, comme sur cette photo prise au téléobjectif de 500 mm, ces singes sont tout aussi nombreux que *Semnopithecus entellus*, l'autre espèce sympatrique et folivore. Toutefois ils consomment les feuillages et les fleurs des arbres les plus abondants, comme *Adina cordifolia* (photo), qui sont aussi les formes les moins riches en nutriments, avec des fruits fibreux beaucoup moins recherchés par les autres espèces de primates.

Un document particulièrement utile, sur ce site de Polonnaruwa, fut une photo aérienne prise à très basse altitude par des forestiers canadiens. Tous les arbres étaient parfaitement visibles sur cette image — aussi bien que sur les actuelles images de *Google Earth*, mais en noir et blanc. La partie botanique de notre étude, réalisée par mon épouse, a consisté à identifier, sur le terrain, tous les végétaux visibles sur cette photographie aérienne, puis de déterminer la surface couverte par chacun d'eux afin de pouvoir calculer la production totale de chacune des espèces végétales sur les territoires occupés par les différents groupes.

Cela ne fut possible qu'avec la coopération de nos collègues qui étudiaient le comportement social de ces primates et qui avaient donc déterminé les limites des territoires de chaque groupe : Suzanne Ripley qui avait suivi le langur gris, *Semnopithecus entellus* ; Rudy Rudran qui, de son côté, a publié son étude sur le langur à face pourpre — un nom qui lui vient des études de ce *Semnopithecus senex* conservé dans un bocal de formol — ; enfin Wolfgang Dittus qui étudiait pour sa thèse le macaque à toque, *Macaca sinica* dont les groupes étaient beaucoup plus mobiles, avec des territoires dont la surface dépassait celle de notre zone d'observation.

La cartographie des territoires superposés de ces trois primates a permis de comprendre comment les choix alimentaires de chaque espèce autorisait leur cohabitation avec des densités de population extrêmement élevées. Le problème se posait surtout pour les deux espèces de langurs, pesant chacune une dizaine de kilogrammes et dont les choix alimentaires de feuillages et de fruits semblaient peu différents l'un de l'autre. Cela ne semblait pas correspondre au fonctionnement d'une niche écologique dans laquelle une seule espèce peut se maintenir à long terme.

De fait, lorsque nous avons publié les résultats, au cours des années suivantes, dans notre revue d'écologie habituelle, en co-auteur avec Annette Hladik, responsable de toute l'étude botanique <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/56/12/46/PDF/Alimentation-Primates-Ceylan.pdf>, nous avons montré que les biomasses — le poids total des animaux par unité de surface — de ces deux espèces étaient très voisines l'une de l'autre, approchant les 15 kg par hectare, un record parmi les primates, en relation évidente avec leur régime alimentaire. La comparaison des biomasses de toutes les espèces dont nous pouvions alors préciser le régime par un diétéogramme illustrant les proportions des feuilles, des fruits et des insectes dans la consommation moyenne annuelle, permet de constater qu'il existe une relation avec les proportions de ces trois grandes catégories d'aliments. En haut de l'échelle des biomasses se trouvent les espèces les plus folivores, puis celles dont les fruits forment la plus grande part des aliments consommés, puis au bas de cette échelle (faible biomasse), les espèces consommatrices de matière animale. Cela correspond à une échelle inversée d'une pyramide qui va des producteurs primaires aux consommateurs secondaires avec en général un rapport de dix à un entre chacun des étages.



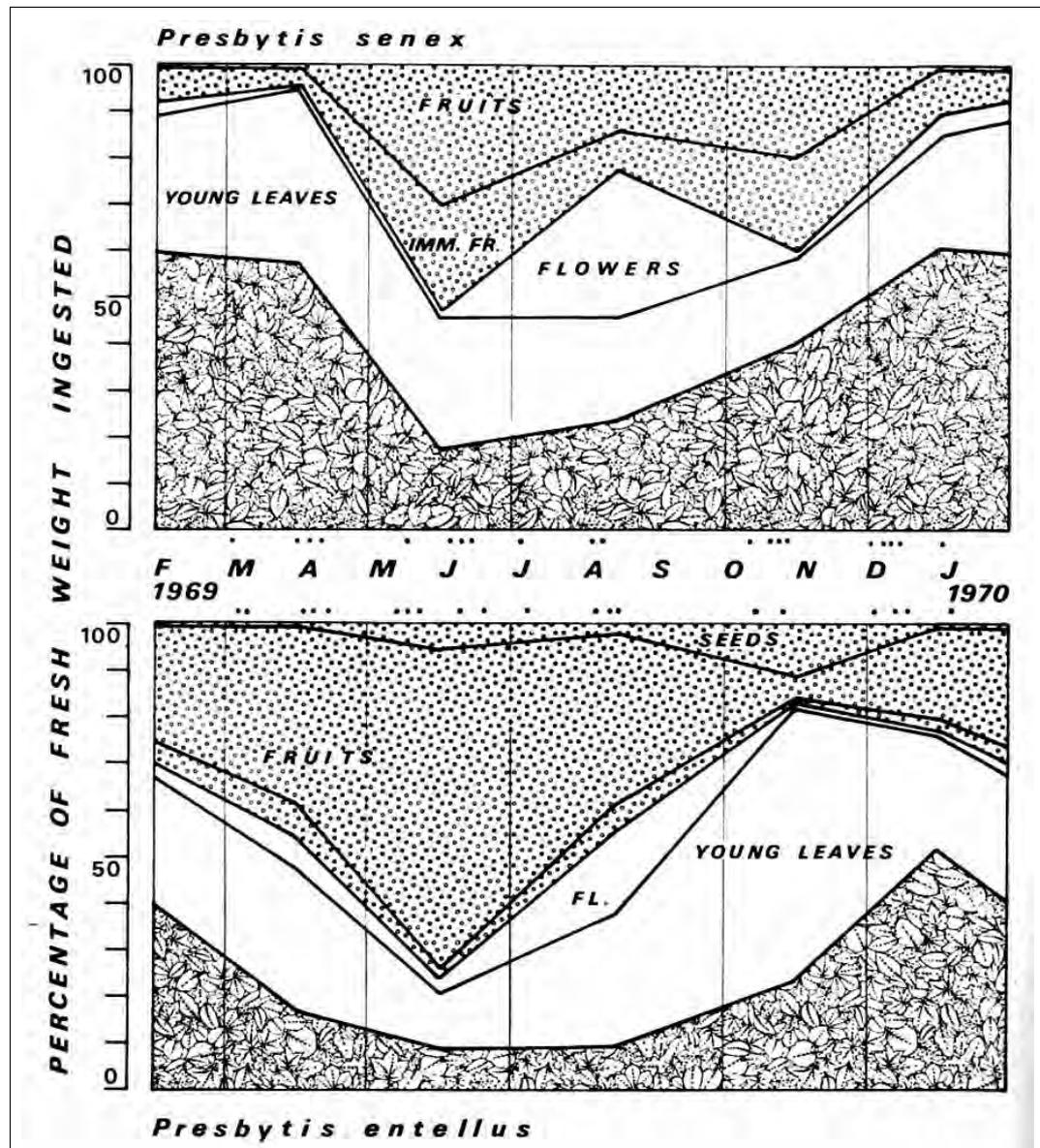
Les régimes alimentaires des primates étudiés au Sri Lanka et à Panama sont ici caractérisés par les profils des « diététogrammes » montrant les proportions des feuillages (à gauche), des fruits (au centre) et des insectes (à droite) consommés au cours d'un cycle annuel. Leur position sur une échelle des biomasses reflète ces proportions globales de l'alimentation en particulier pour les deux espèces de *Semnopithecus* du Sri Lanka, nommées alors *Presbytis*, *P. entellus* et *P. senex*, dont la biomasse totale est supérieure à 20 Kg par hectare.

Pour préciser la façon dont se différencient les deux espèces de langurs — dont les régimes alimentaires et les biomasses diffèrent si peu —, nous avons suivi deux pistes qui, finalement, nous ont conduits vers des explications relatives aux perceptions et aux comportements. Avec les étudiants en zoologie de l'Université de Peradeniya, nous avons d'abord entrepris une étude de morphologie comparée de l'appareil digestif qui est très particulier chez les langurs, incluant un estomac à plusieurs poches quasiment homologue de celui des ruminants. Les animaux abattus, dans des forêts éloignées et avec les permis de chasse réglementaires, bien évidemment, nous ont procuré des contenus stomacaux dont la matière finement broyée ne permettait pas de déterminer les plantes consommées mais au moins de vérifier les poids ingérés. Les tissus de l'appareil digestif ont été prélevés à ces occasions pour effectuer les préparations en vue d'une étude d'histologie comparée. Cela m'a permis de transmettre aux étudiants du Sri Lanka les connaissances sur les techniques que j'avais acquises à la Sorbonne quelques années plus tôt. Par la suite nous avons publié ensemble, dans *The Ceylon Journal of Science*, les résultats de cette étude qui ne montre que de faibles différences entre les deux langurs dans les proportions des différents types cellulaires de la muqueuse intestinale.

La seconde piste de recherche était celle de l'utilisation des ressources, à partir des observations de terrain. Cela a permis de comprendre comment ces deux espèces de langurs, si semblables d'un point de vue morphologique, se différencient parfaitement par le choix des espèces végétales selon leur abondance et par la composition en nutriments qui en résulte. Car les végétaux les plus abondants sont aussi ceux dont les feuillages et les fruits ont la plus forte teneur en fibres. C'est le cas notamment du grand arbre *Adina cordifolia* sur lequel on voit le plus souvent les petits groupes (de 4 à 7 individus) de *Semnopithecus senex*, peu mobiles dans des territoires de faible surface (de 2 à 7 hectares). Au contraire, les groupes d'une vingtaine d'individus de l'autre espèce de langur, *Semnopithecus entellus*, se déplacent davantage chaque jour dans des territoires plus vastes (de 10 à 15 hectares) où ils consomment les feuillages et les fruits d'un plus grand nombre d'espèces végétales, y compris des végétaux qui poussent au sol comme la sensitive, *Mimosa pudica*, qu'il arrivent à saisir rapidement avant que les feuilles ne se replient.

L'alimentation des deux espèces de langurs inclue les fruits qui sont saisonnièrement disponibles mais en moindre quantité que les feuillages. Une comparaison des deux régimes qui ne serait faite que pendant une courte période pourrait indiquer une parfaite similitude — ce qui fut d'ailleurs publié par certains auteurs. Cependant, sur les graphiques de la variation saisonnière de ces régimes alimentaires obtenus après un an de suivi sur des journées complètes, on constate — en dehors des courtes périodes où les deux primates ne consomment que les quelques aliments qui se sont raréfiés en saison sèche —, que l'un d'eux, le langur

gris, consomme toujours les fruits en quantité sensiblement plus élevée, ainsi que les feuillages en repousse plus riches en nutriments que les feuilles matures, et qu'il inclut une plus grande diversité d'espèces dans son alimentation.



Sur ces graphiques publiés dans des revues scientifiques anglophones, nous avons comparé les variations saisonnières de l'alimentation des deux espèces de *Semnopithecus* (alors nommés *Presbytis*) habitant les forêts sèches du Sri Lanka. Les points indiqués sur l'axe des temps correspondent aux journées de suivi continu qui ont permis de mesurer les quantités ingérées par chacune de ces deux espèces au cours du cycle saisonnier, respectivement (de bas en haut) le feuillage, les jeunes feuilles et bourgeons, les fleurs, les fruits immatures, les fruits murs et les graines. La comparaison des profils qui en résulte montre de subtiles différences dont la constance s'explique par la répercussion des perceptions gustatives.

Un cas d'école pour expliquer le comportement alimentaire

La différence des comportements alimentaires des deux langurs constitue un cas d'école car elle permet de préciser l'un des plus importants mécanismes des choix alimentaires des primates incluant les humains, même s'il s'agit ici de deux espèces spécialisées dans la consommation des feuillages et possédant des systèmes digestifs qui diffèrent considérablement de ceux de la plupart des autres primates, généralement plus frugivores.



Les fruits constituent une partie importante du régime alimentaire de presque toutes les espèces de primates, même pour des espèces qui dépendent en grande partie des feuillages, comme ce *Semnopithecus entellus* photographié sur notre terrain d'étude de Polonnaruwa, au Sri Lanka, en train de consommer les figes du *Ficus benghalensis*.

En effet, les comportements alimentaires de tous les mammifères sont conditionnés par deux systèmes de récompense : d'une part un effet immédiat correspondant au plaisir gustatif que procurent notamment le goût des sucres ; d'autre part un effet à plus long terme qui se manifeste après les quelques heures nécessaires à la digestion et à l'assimilation des nutriments et qui correspond à l'état de satiété.

L'intensité relative de chacune de ces deux composantes des plaisirs que procure l'ingestion d'un aliment suffit à expliquer le maintien des choix alimentaires de chacune des espèces de langurs et de tous les comportements qui leur sont associés. Le plus folivore des deux langurs va dépendre davantage du conditionnement à long terme que lui procure les aliments les plus riches en fibres, qui sont aussi les plus abondants dans son environnement, tandis que le langur gris qui recherche davantage les fruits sucrés et les repousses des feuillages les plus tendres et riches en composés solubles dépend beaucoup plus d'un conditionnement par les petits plaisirs gustatifs et immédiats.



Plusieurs centaines d'échantillons alimentaires ont été collectés et photographiés sur kodachrome en pose lente, sur un fond permettant de contraster la couleur et la forme. Parmi ces échantillons alimentaires récoltés au Sri Lanka au cours des études comparatives de l'alimentation des différents primates, les fleurs de cet arbre, *Sterculia foetida*, ainsi que ses nouvelles feuilles, constituent des apports alimentaires dont on a pu mesurer les contenus en produits solubles, en particulier les différents sucres qui permettent un conditionnement rapide vers la recherche de ce type d'aliment.

Cette intensité du plaisir associé à la perception gustative peut atteindre des niveaux beaucoup plus élevés. Sans évoquer dès à présent le cas des humains — que j'ai pu étudier par la suite, avec mes collègues du CNRS et du Muséum, dans différentes populations, — nous avons également observé, dans cette forêt du Sri Lanka, le cas du macaque à toque, *Macaca sinica*. C'est un primate autrement plus actif que les langurs, dont le régime essentiellement frugivore nécessite la recherche des meilleurs fruits sur de vastes étendues ; la récompense immédiate doit être suffisante pour motiver cet effort de recherche qui lui procure le supplément d'énergie indispensable au maintien de ce comportement.



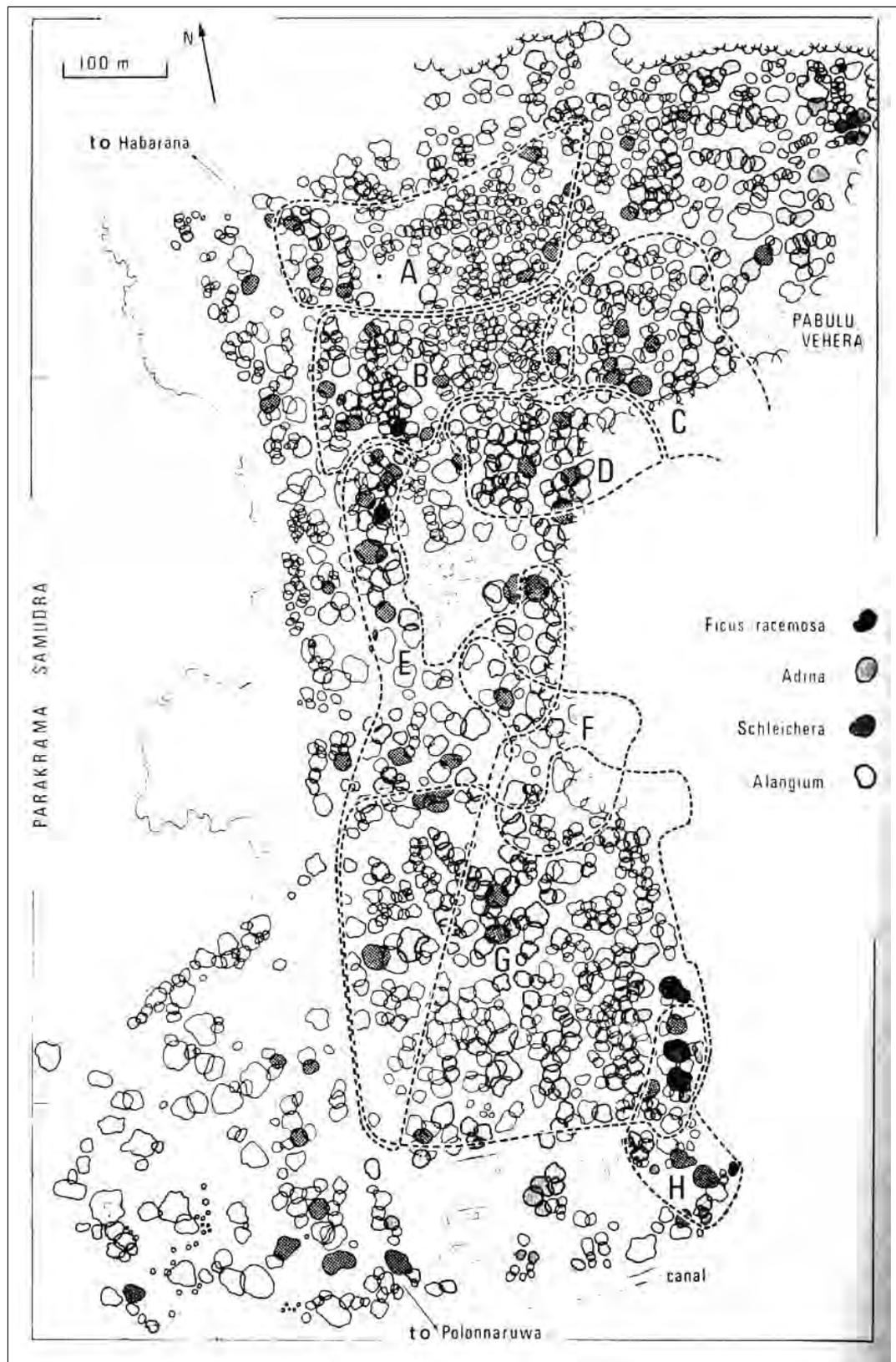
Parmi les plantes consommées par les primates de Polonnaruwa, au Sri Lanka, certaines avaient la réputation d'être toxique, comme ce *Strychnos potatorum* dont les fruits et pétioles des feuilles étaient consommés par le macaque, *Macaca sinica*. Des analyses effectuées sur nos échantillons de feuilles par un service de la Préfecture de Police de Paris ont montré qu'il n'y avait aucune présence de strychnine ni d'autre substance susceptible d'une forte toxicité.

L'ensemble des échantillons alimentaires qui étaient consommés par tous ces primates, langurs et macaques, a été analysé par la suite afin de préciser les compositions en sucres et autres composés solubles qui déterminent les choix de chaque espèce. Cependant les implications de nature écologique associées au bilan énergétique, sont apparues comme autant de facettes des comportements alimentaires de ces primates.



Les fleurs jaunes du *Cassia fistula*, un arbre de la forêt de zone sèche, sont particulièrement appréciées par les primates du Sri Lanka, en raison de leur contenu en sucres solubles.

Ainsi, pour en revenir aux biomasses, c'est-à-dire à la capacité de maintenir les densités de population de chaque espèce en fonction de la production de ce type de forêt sèche, le calcul le plus détaillé jamais réalisé depuis cette étude — en grande partie grâce aux collaborations avec nos collègues éthologistes présents sur le terrain — a permis de déterminer la production disponible dans les territoires des différentes espèces et de montrer que la consommation était toujours de l'ordre de grandeur d'un dixième de la production disponible.



C'est à partir d'un document de travail, réalisé sur papier calque, sur lequel sont figurés tous les arbres identifiés à la station de terrain de Polonnaruwa, au Sri Lanka, que nous avons pu établir, pour chaque espèce de primate, la répartition des arbres dans les territoires de chaque groupe (notés de A à F). Cet exemple concerne les petits groupes de *Semnopithecus senex* qui utilisent les espèces les plus abondantes comme les arbres des genres *Adina* et *Ficus* répartis de façon relativement homogène dans les territoires.

Pour chaque espèce de primate, les territoires sont juxtaposés mais l'ensemble des territoires de toutes les espèces se superpose en un vaste réseau, comme c'est généralement le cas dans la plupart des forêts tropicales. Dans cette forêt de zone sèche, le nombre total d'espèces végétales, limité à moins d'une centaine pour les arbres et les lianes, a permis d'entreprendre une investigation détaillée dans chacun des territoires, une étude qui ne pourrait guère être envisagée dans une forêt de zone humide avec des milliers d'espèces végétales.

Les grands arbres les plus communs, notamment ceux du genre *Adina* ainsi que les petits *Drypetes sepiaria* sont répartis d'une façon suffisamment régulière pour être englobés en nombre suffisant dans tous les territoires de faible surface. Au contraire, les végétaux plus rares ou irrégulièrement répartis ne peuvent être englobés en quantité suffisante que dans les territoires plus vastes des langurs gris et procurer une même quantité de nourriture à chacun des individus des groupes plus nombreux : c'était la solution du problème de co-existence de deux espèces de primates dont les territoires se superposent. Quant aux macaques dont les vastes territoires débordaient largement la zone étudiée en détail, la diversité de leur alimentation et la dispersion des producteurs des fruits les plus riches en sucres aboutissait à une absence de compétition avec les autres primates qu'ils semblaient d'ailleurs ignorer totalement lors de rares rencontres.

La partie des travaux relative aux identifications de chacun des arbres visibles sur la photo aérienne dont nous disposions, puis au calcul des surfaces de couverture et aux productions, a été réalisée par Annette Hladik, au cours de nos différents séjours sur ce terrain de Polonnaruwa. Pendant ce temps, nous suivions l'un ou l'autre des groupes de primates dont nous avons pu calculer par la suite la quantité des aliments disponibles sur chacun des territoires où le groupe présent ne consommait pratiquement jamais plus du dixième de la production.

Je suis allé présenter les premiers aspects de cette recherche de terrain à la XI^{ème} Conférence Ethologique Internationale qui se tenait en France, à Rennes, en 1969. J'avais alors acheté un billet aller-retour pour un bref voyage en avion, une des rares prestations qu'il était possible de payer en roupies de Ceylan. Ma présentation porta essentiellement sur la superposition des territoires des différentes espèces de primates de Ceylan et le partage des disponibilités alimentaires qui en résulte. Cela n'intéressa guère un public d'éthologistes peu enthousiastes, avec, au premier rang et dormant ostensiblement, le plus célèbre des spécialistes du comportement animal, Konrad Lorenz ! Je continue cependant de penser que le comportement alimentaire de ces primates, dont le détail a été publié par la suite — en anglais, comme lors de ce Congrès <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/56/00/06/PDF/leaf_monkeys-Hladik.pdf> — permet d'expliquer pourquoi et comment le comportement territorial dépend, *in fine*, du système de perception des aliments.

Un prosimien nocturne carnivore au Sri Lanka : le loris grêle

C'est un cas extrême d'adaptation d'un primate à la perception des aliments que nous avons eu l'occasion d'observer au Sri Lanka, avec une spécialisation sur les proies animales négligées par tous les autres mammifères. Une grande tolérance aux goûts les plus répugnants permet au loris grêle, *Loris tardigradus*, de se nourrir des insectes et autres proies dont l'abondance résulte soit de leur toxicité, soit d'une forte odeur repoussante — souvent les deux — qui les font éviter par tous les autres consommateurs d'insectes. Il en résulte une alimentation particulièrement riche en protéines animales, un véritable régime carnivore qui fait tout l'intérêt de l'étude de ce petit prosimien.

Le comportement alimentaire du loris, qui n'a vraiment rien de végétarien — bien qu'il soit presque toujours complété par les fruits disponibles en faible quantité sur son territoire — a été étudié à l'occasion d'un séjour de Jean-Jacques Petter, le spécialiste des observations de terrain des prosimiens de Madagascar. Il était venu nous rendre visite sur nos terrains d'étude du Sri Lanka, et en particulier à Polonnaruwa où nous avons pu observer facilement les loris, la nuit, grâce au reflet de leurs yeux dans le faisceau d'une lampe frontale. En effet, comme chez la plupart des mammifères nocturnes, l'efficacité de leur rétine est amplifiée par la présence du *tapetum lucidum*, une couche de cellules réfléchissantes qui impose un trajet aller et retour aux rayons lumineux. Nous retrouvons chaque nuit un seul individu localisé approximativement au même endroit que la veille.

Chaque loris, mâle ou femelle, vit dans un territoire individuel de très faible surface (environ un demi hectare), parcouru très lentement en longeant les branches fines des sous-bois les plus denses. La lenteur des mouvements du loris rend son approche quasiment indétectable par ses proies qui peuvent être aussi bien des sauterelles que des caméléons. Cette lenteur le rend également peu détectable par ses propres prédateurs, petits félidés ou serpents, qui, de toutes façons, éviteraient de consommer ce petit primate dont les glandes apocrines secrètent une substance particulièrement malodorante.

Il n'était pas possible, au cours de cette brève étude de terrain, de déterminer les quantités de nourriture disponibles dans chacun de ces territoires des loris. Après avoir testé, sur un loris capturé pour quelques jours, la possibilité d'ingérer des proies particulièrement repoussantes ou de consistance très dure, tels des blattes ou des cétoines, nous avons fait quelques sondages « à vue », en ramassant tous les invertébrés rencontrés sur l'étendue du territoire de l'un des loris. Il est vraisemblable que la présence du loris grêle limite les populations d'invertébrés — ou bien que nous soyons de piètres ramasseurs d'insectes — car nous avons eu bien des difficultés à collecter la quantité que représente une nuit de chasse d'un loris.



Le loris grêle, *Loris tadigradus*, est un prosimien nocturne qui cohabite avec les trois espèces de primates diurnes dans les forêts de la zone sèche du Sri Lanka. Son alimentation qui comprend toutes sortes de petites proies, y compris les insectes à forte odeur repoussante, est complétée par les fruits temporairement disponibles dans des territoires de faible surface. L'animal photographié ici à Polonnaruwa avait été capturé puis relâché au cours d'une étude portant sur son comportement territorial et son alimentation, réalisée avec J.-J. Petter et publiée en 1970 dans la revue *Mammalia*.

Ce type de comportement alimentaire résulte, bien évidemment, à la fois d'une adaptation morphologique et physiologique — objet des recherches qui ont immédiatement suivi, au Sri Lanka, l'étude de terrain — mais également des systèmes de perception qui ont été étudiés bien longtemps après ces investigations. C'est en particulier Bruno Simmen qui a pu déterminer les seuils de perception gustative, c'est-à-dire à partir de quelle concentration la solution d'un produit tel que du sel ou du sucre va déclencher une réaction de préférence ou d'aversion, ce qui détermine ou non la consommation du produit. Et ces seuils sont particulièrement élevés chez le loris, correspondant à une acuité gustative très faible : d'où la tolérance de proies répugnantes qui sont évitées par les autres primates.

Il existe au Sri Lanka plusieurs sous-espèces de *Loris tardigradus* localisées dans les différentes zones climatiques. Nous avons tenté de les observer en détail mais les conditions de terrain n'étaient pas aussi favorables que celles de la forêt de zone sèche où nous avons fait la plus grande partie de nos observations sur les primates.

Il existe d'ailleurs aussi des formes à fourrure épaisse du *Presbytis senex* vivant dans les forêts humides et froides de la montagne ; toutefois elles sont encore plus difficiles à observer que les petits groupes de Polonnaruwa qui passent généralement inaperçus des visiteurs en tournant autour du tronc de l'arbre dès qu'un intrus s'en approche. Les comparaisons des densités de population des primates et de la productivité en ressources naturelles de ces différentes zones climatiques du Sri Lanka ont toutefois complété l'étude approfondie réalisée à Polonnaruwa.

Ce fut aussi de merveilleuses occasions de découvrir la diversité des milieux naturels et des habitants des villages. Ainsi, dans une forêt d'altitude, au milieu des rhododendrons arborescents, le phénomène naturel le plus remarquable a été l'apparition d'une auréole multicolore autour de notre ombre qui se projette dans la brume du matin lorsque le soleil est dans notre dos. L'explication de ce phénomène — nommé spectre de Brocken — est d'ailleurs toute récente, car, en plus de la réfraction de la lumière caractérisant tous les arcs-en-ciel, elle fait intervenir la mécanique quantique. La diffusion des couleurs de l'arc-en-ciel sur un cercle très étroit implique, de fait, le saut d'un photon lorsque sa trajectoire passe très près d'une fine gouttelette d'eau.

Ce phénomène implique aussi vraisemblablement la mythologie relative aux perceptions extra-sensorielles vécues et racontées dans les expériences mystiques des hommes qui se sont isolés sur ces hautes montagnes. La représentation d'un cercle multicolore au-dessus de leur tête, dont les bandes aux couleurs de l'arc-en-ciel sont représentées dans toute l'imagerie sacrée, au Sri Lanka et en Inde, montre bien l'origine, souvent inconnue en occident, de l'auréole représentée au-dessus de la tête des saints.

Ce phénomène naturel nous amène à une réflexion sur les peuples dont nous avons partagé l'existence au cours de nos recherches. Nous ne pouvions imaginer le long conflit entre les tamouls et les cinghalais qui a suivi de peu notre départ du Sri Lanka, pas plus d'ailleurs que bien d'autres conflits meurtriers qui ont marqué la plupart des pays où nous avons séjourné au contact de personnes de grande valeur intellectuelle et morale. Et cette réflexion ne nous éloigne pas beaucoup de notre recherche d'une alimentation idéale dont nous verrons que les équilibres et l'éthique importent particulièrement pour l'avenir de l'humanité.



Un arc-en-ciel circulaire apparaît dans la brume autour de l'ombre de l'auteur projetée par le soleil levant qui vient de l'arrière. C'est un phénomène impressionnant qui apparaît lorsque la brume est formée de fines gouttelettes de diamètre approprié ; mais son explication la plus récente implique la mécanique quantique. Il est photographié ici à l'orée d'une forêt à rhododendrons arborescents, en haute montagne à Horton Plains (Sri Lanka), où vivent des sous-espèces des primates protégées de la fraîcheur humide par une fourrure beaucoup plus longue que celles des formes des zones sèches mais dont les régimes alimentaires sont très comparables.

Le plus herbivore des primates, à Madagascar : le lépilémur

Par contraste avec le loris grêle, l'autre extrême des adaptations alimentaires des primates, correspond à une sorte de lapin arboricole. Il s'agit bien d'un primate, l'un des prosimiens endémiques de Madagascar dont il nous fut donné de découvrir les particularités.

C'est au cours d'une mission dans le bush du sud de Madagascar, avec mon collègue Pierre Charles-Dominique, celui-là même qui avait auparavant étudié les prosimiens nocturnes de la forêt du Gabon, que nous avons entrepris d'analyser la structure d'une population de lépilémur, *Lepilemur leucopus*, ce prosimien nocturne au comportement remarquable. En fait nous voulions chacun focaliser les recherches sur des problématiques dans la ligne des travaux que nous avons déjà entrepris : pour Charles-Do — c'est ainsi que nous l'appelons encore —, c'étaient les structures sociales, en fonction des territoires des mâles et des femelles et des systèmes de communication ; pour moi, c'était toujours l'alimentation et la possibilité d'utiliser les maigres ressources d'un milieu qui ressemble aux grandes steppes du sud des USA, mais où les grands cactus et les ocotillos (*Fouquieria splendens*, surnommés « cactus grimpants ») sont remplacés par les tiges épineuses des Didiereaceae, la famille endémique du sud malgache.

La mise en commun de nos observations de terrain sur le comportement et sur l'écologie, selon les motivations de chaque chercheur, nous mena à une découverte surprenante : celle du système digestif du lépilemur qui diffère de celui de tous les autres primates. Il est très comparable à celui d'un lapin. Comme le lapin et quelques autres rongeurs, le lépilémur ré-ingère ses premières fèces — des crottes molles, totalement différentes des crottes compactes du second cycle de la digestion — et cela lui permet une digestion suffisamment poussée et une absorption, au cours du second passage dans le tube digestif, des éléments nutritifs des feuillages dont il se nourrit, qui ont été transformés au cours du premier passage. Ce phénomène est nommé caecotrophie.

Les observations de ces prosimiens dans leurs gîtes diurnes nous ont permis d'envisager cette éventualité d'une réingestion des premières fèces qui a été confirmée par la suite. Certains individus restaient visibles pendant la journée lorsqu'ils tentaient de se cacher dans la cavité peu profonde d'un tronc d'arbre. Nous avons alors pu voir que le lépilémur maintenait sa tête contre son anus et c'est aussi la position qu'adopte un lapin lorsqu'il ingère ses crottes molles (les caecotrophes). On sait qu'un lapin peut mourir d'inanition si on lui pose un large collier de matière plastique rigide autour du cou, même s'il dispose de nourriture en quantité suffisante, car il n'a plus accès, en se repliant vers son anus, au second cycle de ses aliments partiellement décomposés par fermentation bactérienne dans son caecum ; et les crottes molles tombant sur le sol ne sont pas ré-ingérées.

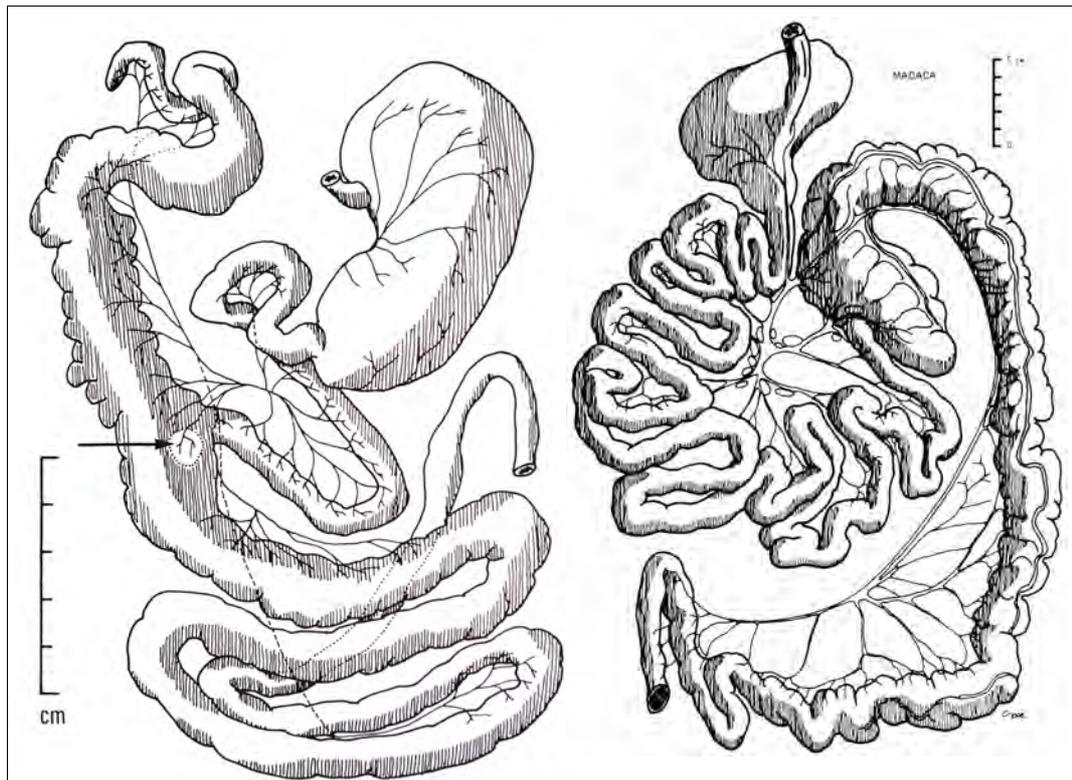


Ce prosimien nocturne, le lépilémur, *Lepilemur leucopus*, fut ici débusqué hors de son refuge diurne au cours de notre étude de terrain. Il vit dans le bush à Didiéracées du sud de Madagascar et utilise les grosses épines de ces plantes pour s'accrocher comme sur les barreaux d'une échelle et pour sauter d'une tige à une autre... en pleine nuit !

Le système digestif d'un lépilémur capturé dans le bush à Didiéréacées — hors des réserves et avec toutes les autorisations indispensables — a pu être exploré avec les techniques dont nous disposions. Sa caractéristique la plus remarquable est l'extrême brièveté de son intestin grêle qui ne dépasse pas la longueur du corps de l'animal, alors que chez tous les autres primates, homme compris, la grande longueur de ce petit intestin permet un transit de longue durée et une absorption des nutriments que les enzymes digestives ont séparés des molécules complexes. Le lépilémur est le champion incontesté de la brièveté de l'intestin... à tel point que le transit intestinal serait trop court pour l'absorption directe des nutriments.

Pour mesurer la taille relative du petit intestin par rapport à celle du côlon, en termes de surface des muqueuses, afin de les comparer à celles des autres espèces de primates, nous étalions, sous l'eau, dans une grande cuve à dissection, tout l'appareil digestif, découpé si nécessaire en morceaux, afin d'obtenir un ensemble de surfaces plates et mesurables des morceaux d'estomac et d'intestins totalement décontractés. Une grande cuve de zinc avec un fond de liège, spécialement fabriquée pour cet usage, m'a accompagné pour bien d'autres dissections incluant, beaucoup plus tard, celles d'intestins humains récupérés après des autopsies à l'Université de Cambridge.

C'est juste avant ce type de dissection, que j'ai réalisé les dessins figurant les proportions exactes du tractus digestif des primates — et de quelques autres mammifères — selon un protocole permettant d'en montrer tous les détails qui ne pouvaient pas être mis en évidence sur une photographie, à cause de la torsion et des superpositions des différentes parties. Chaque partie était mesurée avant d'être dessinée à l'échelle 1:1, sur du papier calque ; puis elle était retournée sous l'eau, dans la cuve à dissection afin de mesurer la partie suivante pour la reproduire à la même échelle, et ainsi de suite, sur une pièce anatomique parfaitement décontractée. Comme celui qui concerne le lépilemur, mes dessins de l'anatomie des appareils digestifs partiellement déroulés mais conservant les proportions exactes de l'original ont été publiés par la suite, avec David Chivers, dans le *Journal of Morphology* <<http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00561758>>. Ma technique de dessin résulte en fait d'un entraînement acquis auparavant, pour représenter des sculptures sur bois, lorsque j'étais un élève de l'école Boule où j'ai appris le métier d'ébéniste tout en suivant les cours du soir qui m'ont permis d'entrer par la suite à l'Université de Paris et de commencer cette longue quête sur l'alimentation des primates...



Mes dessins des appareils digestifs des primates ont été réalisés en cours de dissection. Ils en montrent les proportions exactes, chaque partie étant mesurée au fur et à mesure de l'avancement de la dissection qui nécessite de faire pivoter successivement les segments reliés au mésentère afin d'obtenir ce type de représentation globale et précise.

Le tractus digestif d'un lépilemur, *Lelemur leucopus*, (à gauche) est le plus remarquable par sa brièveté — en particulier celle de l'intestin grêle — et par le volume de son caecum où la digestion des feuillages se poursuit grâce à des organismes symbiotiques, ce qui permet l'absorption des éléments nutritifs au cours du deuxième circuit, lorsque l'animal réingère ses fèces. La plaque iléo-colique — indiquée par une flèche — est vraisemblablement impliquée dans la régulation de ce double circuit des aliments.

Le tractus digestif d'un magot, *Macaca sylvanus*, (à droite) est présenté à titre comparatif comme un exemple de primate dont le régime alimentaire, beaucoup plus frugivore, inclut cependant une forte proportion de feuillages, comme cela peut encore s'observer au Maroc — et à Gibraltar, où cette espèce est, en dehors des humains, le seul primate vivant actuellement à l'état libre en Europe .

Dans les prélèvements effectués sur le tractus digestif du lépilemur aussitôt après sa capture, les examens réalisés par la suite au microscope électronique ont montré la présence de bactéries caractéristiques des fermentations caecales permettant de casser les molécules des fibres végétales, ainsi que nous l'ont indiqué les collègues de l'INRA (l'Institut National de la Recherche Agronomique) spécialisés en alimentation animale avec lesquels nous avons pu

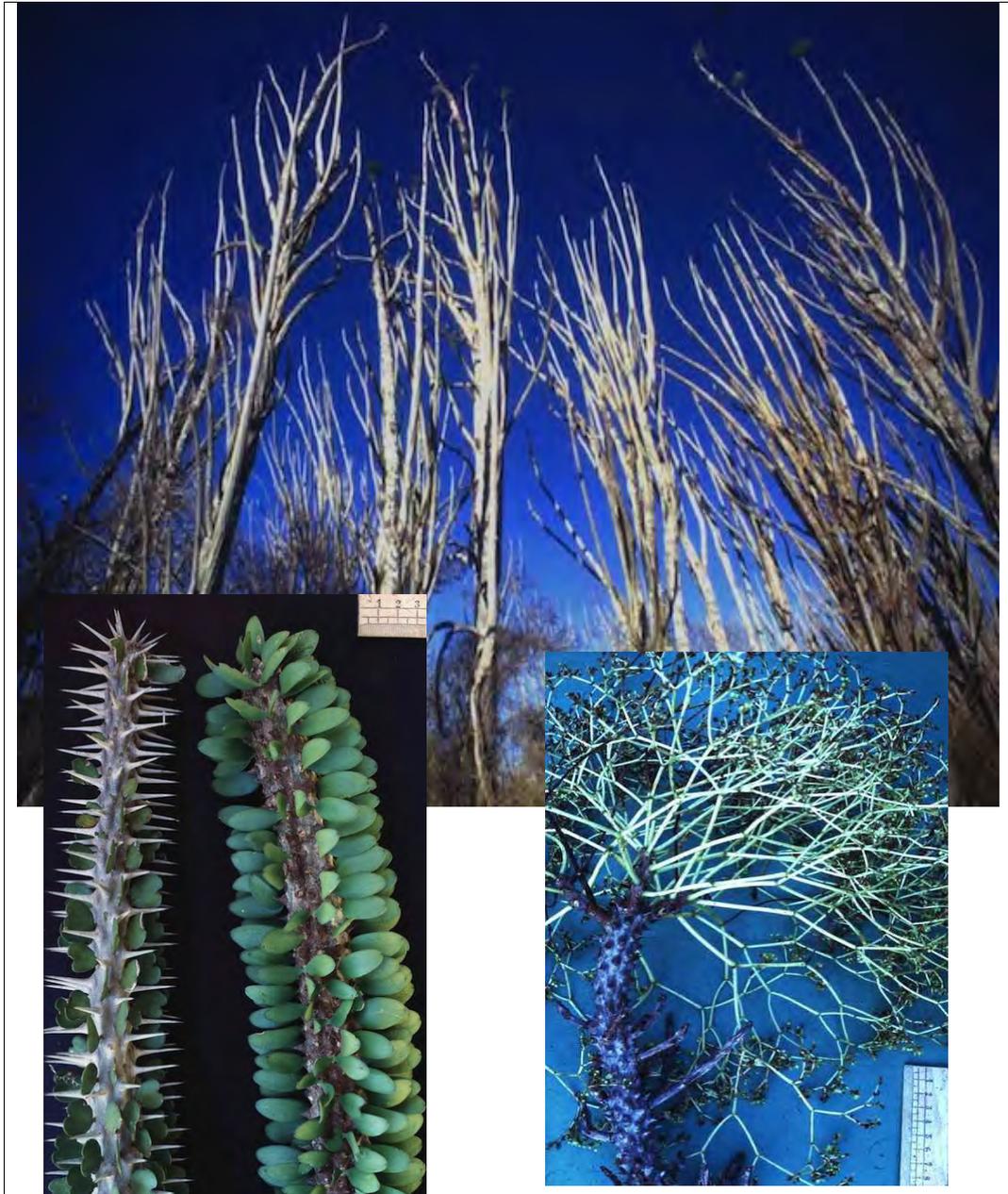
discuter de la pertinence de ces observations. Pour davantage de certitude, nous avons effectué au Laboratoire du Muséum à Brunoy, et toujours avec P. Charles-Dominique, la dissection d'un lapin dont la morphologie digestive était effectivement comparable à celle du lépilémur ; et c'est en particulier la présence d'une grande plaque épaisse à la jonction de l'intestin grêle et du gros intestin, qui a attiré notre attention, car une plaque similaire existe chez le lépilémur. De structure analogue à celle des petites plaques de Peyer (agrégats de follicules lymphoïdes) réparties à la fin de l'intestin grêle, cette sorte d'organe annexe ne figure sur aucun traité d'anatomie animale. Nous l'avons nommée « plaque iléo-colique » et faisons l'hypothèse qu'en plus de son rôle connu d'organe lymphoïde, elle pourrait rythmer, par ses sécrétions, la périodicité du transit digestif qui doit être orienté d'abord vers le caecum, puis vers le côlon après son retour sous sa forme pré-digérée du second cycle des aliments. Il s'agit là encore d'un problème qui n'est pas totalement élucidé car rien de nouveau n'est paru sur ce sujet depuis la publication de nos observations.

Bien entendu, nous avons recueilli les contenus de l'estomac et des différents segments intestinaux du lépilémur sacrifié afin de déterminer les quantités consommées. Les analyses réalisées par la suite sur ces aliments en cours de digestion ont mis en évidence la présence d'acides gras ramifiés qui sont la signature d'une fermentation bactérienne dans le caecum, une confirmation de plus de la caecotrophie pratiquée par le lépilémur. En fait, la partie de notre étude qui concernait l'alimentation reposait sur une mesure aussi précise que possible des aliments ingérés, au cours de chaque nuit par un lépilémur, et cette mesure des contenus stomacaux et intestinaux a permis, une fois encore, de vérifier la précision de nos observations directes des prises d'aliments.

Nos observations nocturnes visaient aussi à comprendre la structuration des territoires, selon le protocole que P. Charles-Dominique avait appliqué à d'autres prosimiens nocturnes dans la forêt du Gabon. Il s'agissait d'abord de débusquer tous les lépilémurs présents dans une petite portion du bush afin de les capturer et de les marquer de façon à les reconnaître individuellement lorsque nous les observions pendant la nuit. Pour cela, nous les chassions hors de leur gîte diurne qui se trouvait souvent entre les branches épineuses des Didiéracées, pour les prendre avec un sorte de lasso fixé à l'extrémité d'une grande perche. Le marquage consistait en petites fentes dans les oreilles, ainsi que le font les éleveurs de bétail dans d'autres domaines ; toutefois pour plus de visibilité, la queue de chaque animal était épilée selon une série d'anneaux avec des combinaisons différentes pour chaque individu — une sorte de code-barres ! — Puis chaque animal était relâché sur le lieu de sa capture.

La nuit, les animaux s'affrontaient sur les limites de leurs territoires individuels en se faisant face et en s'invectivant à grands cris. Cela facilitait grandement l'établissement d'une carte des territoires lorsque nous reconnaissions chacun des individus dans le faisceau de nos lampes frontales dont la lumière était

atténuée par un filtre rouge. Ce partage du bush en petits territoires individuels — les mâles et les femelles ayant des territoires qui se superposent — donne accès à chacun aux ressources alimentaires adaptées... Mais quelles ressources ? Nous découvrons encore un cas extrême concernant les plus petites ressources et les plus faibles dépenses énergétiques d'un primate non humain.



Au sommet des tiges, les fleurs des Didiéracées, *Alluaudia procera* (à droite), constituent l'essentiel des apports alimentaires des lépilemurs vivant dans le bush du sud de Madagascar à la fin de la saison sèche, avant que les feuilles ne soient de nouveau disponibles au début de saison des pluies. Les deux tiges feuillées sont celles des deux espèces présentes localement, *Alluaudia procera* et *A. ascendens*.

En effet, cette recherche sur le terrain s'est déroulée en fin de saison sèche, alors que les arbres étaient tous quasiment défoliés et qu'il ne restait que les dernières feuilles sur les tiges des Didiéréacées. Toutefois leur floraison qui précède la repousse du feuillage chez beaucoup d'espèces de cette zone sèche, avant que ne surviennent les premières pluies, donnait de grandes inflorescences qui pouvaient être broutées. Il fut alors facile de comptabiliser les quantités ingérées lorsque les animaux se profilaient au clair de lune au sommet de ces grandes tiges épineuses.

Non seulement nous avons pu calculer les quantités qui étaient ingérées par les lépilémurs au cours de cette saison sèche et effectuer par la suite le calcul des valeurs caloriques de ces aliments, mais nous avons également pu établir les ordres de grandeur des dépenses énergétiques. Car le lépilémur se déplace par une série de bonds, en se propulsant vers l'arrière et en se retournant au cours de sa trajectoire. Ce n'est pas le moindre paradoxe qu'il effectue ces bonds entre de longues tiges verticales hérissées de grosses épines ; mais, cela ne semble pas poser de problème pour un atterrissage (de nuit !) sur la tige de la Didiéréacée la plus proche dont il utilise les grandes épines pour se cramponner comme sur les barreaux d'une échelle. Nous avons compté le nombre de sauts et les distances moyennes ainsi parcourues. Un simple calcul de l'énergie cinétique au départ du saut, selon les poids des individus — qui avaient été pesés au moment de leur capture — nous a permis de calculer un ordre de grandeur de la dépense d'énergie au cours de ces nuits pendant lesquelles les lépilémurs ne disposent que de la faible quantité de carburant que leur procurent les Didiéréacées et quelques arbres portant encore des feuilles mais qui sont particulièrement fibreuses.

Dans ces petits territoires individuels, ne dépassant guère le quart d'un hectare, il n'y avait guère plus d'une dizaine de kilogrammes de feuillage disponible pendant le printemps austral, entre septembre et octobre, et moins de 5 kg de fleurs d'*Aluaudia ascendens*, la Didiéréacée qui était présente dans cette partie du bush. Il est bien évident que la seule façon d'utiliser ces faibles ressources avec une efficacité suffisante est celle du lépilémur dont la caecotrophie permet d'obtenir un maximum d'énergie avec les aliments les plus chargés en fibres végétales et dont les dépenses énergétiques sont réduites à un minimum de déplacements au cours de chaque nuit.

Ces observations dont les résultats détaillés ont été publiés en anglais <<http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00561750>>, ont permis de constater l'extrême diversification des primates dont les régimes alimentaires correspondent, en définitive, à toute la diversité de l'ensemble des mammifères ayant des régimes aussi bien herbivores que frugivores ou carnivores.

Chimpanzés, gorilles et autres primates de la forêt gabonaise

Pour revenir vers des primates correspondant davantage à nos représentations habituelles d'un singe ou d'un anthropoïde, il faut évoquer nos séjours en Afrique sous la forme de missions financées par le CNRS et le Muséum national d'Histoire naturelle. C'est en particulier au Gabon, dans la station de recherche de Makokou, où nous avons effectué de longs séjours car le financement de ces recherches de terrain impliquait l'obligation de rester plusieurs mois sur place afin de valider la grosse dépense du voyage en avion dans un budget de recherche très serré. Cette station de recherche de Makokou est actuellement devenue le centre d'une réserve naturelle ouverte au public, où l'on peut voir les résultats des travaux des chercheurs qui s'y sont succédés.

Dans la forêt du Gabon on trouve 17 espèces de primates incluant le chimpanzé, *Pan troglodytes* et le gorille, *Gorilla gorilla*, ces deux espèces étant actuellement intégralement protégées par la législation, après avoir été, pendant des siècles, des gibiers qui étaient partagés entre les familles des chasseurs pour contribuer à leur alimentation en viande. Il n'est pas impossible d'en trouver encore, à l'état de viande fumée, dans des villages isolés ; mais la pression pour braver l'interdiction de la chasse aux singes anthropoïdes provient surtout des grandes villes où la viande de brousse est particulièrement appréciée.

Les autres primates de la forêt sont également appréciés comme gibiers, sauf les prosimiens de trop petite taille comme les galagos pour lesquels un chasseur ne gaspillera pas une cartouche. Le Mandrill, *Mandrillus sphinx*, dont le goût ressemble à celui de la viande de veau, est particulièrement apprécié. Il en est de même des différentes espèces de cercopithèques qui vivent en bandes polyspécifiques dans lesquelles chaque espèce conserve un comportement particulier — selon les niveaux fréquentés, en haut ou en bas des arbres, et les préférences pour des fruits ou pour des insectes — ces bandes bruyantes étant repérées facilement par les chasseurs. Dans les conditions de vie d'il y a environ un demi-siècle, beaucoup de ces gibiers étaient vendus le long des pistes.

Ainsi, au cours des missions au Gabon financées par le CNRS, nos collègues zoologistes présents à la station biologique de Makokou, ont pu recueillir des données sur les régimes alimentaires des différentes espèces de mammifères — dont les primates — en achetant uniquement l'estomac et les intestins de ces gibiers, ce qui avait très peu de valeur marchande. Ils en identifiaient le contenu, surtout les graines qui permettent de déterminer les différentes espèces de fruits des lianes et des arbres de la forêt. De la même façon, j'ai pu collecter des données précises sur la morphologie du tractus digestif des différents primates, et mesurer les surfaces couvertes par les muqueuses de l'estomac et des intestins.

Je pouvais généralement obtenir des intestins de primates suffisamment frais et réaliser les mesures sur les pièces dont les couches musculuses étaient parfaitement détendues. Mon principal problème était de mesurer le poids total de l'animal dont je disposais du tractus digestif, avant qu'il ne reparte vers les cuisines d'un village voisin ; car cette mesure est indispensable pour déterminer les « surfaces relatives » des différentes parties permettant de comparer les espèces selon un critère valable, en tenant compte de leurs poids respectifs. Il m'est arrivé parfois de peser un grand singe déjà débité en morceaux, ce qui d'ailleurs était nécessaire pour obtenir le poids total d'un gorille ou d'un chimpanzé adulte qui ne tiendrait pas sur la balance.

Bien entendu l'étude de l'alimentation des primates vivant dans leur environnement naturel me préoccupait davantage ; et nos plus longues missions au Gabon — dont l'une de plus d'un an sur le terrain — ont été consacrées à l'observation directe des anthropoïdes. Un petit groupe de chimpanzés avait été introduit sur une île du fleuve Ivindo qui longe la forêt de la réserve de Makokou. Ce groupe était formé de jeunes et de sub-adultes qui avaient été achetés aux chasseurs ayant tué leur mère : ces jeunes chimpanzés avaient donc passé plusieurs années en forêt et avaient acquis une expérience sur les divers espèces consommables. L'île sur le fleuve Ivindo constituait une sorte de réserve où de la nourriture leur était régulièrement fournie ; mais il s'agissait essentiellement de quelques régimes de bananes qui complétaient — surtout d'un point de vue calorique — les aliments qu'ils trouvaient dans la végétation naturelle, une végétation très semblable à celle des forêts où ces chimpanzés avaient vécu les premières années de leur vie. Sur cette île longue de 2 km il s'avérait donc possible d'observer ce qu'ils consommaient parmi les produits de la forêt.

En revanche le suivi d'un groupe de chimpanzés au sein de la grande forêt était totalement impossible à entreprendre et j'en avais bien conscience après la lecture des premiers textes publiés par Jane Goodall à qui il avait fallu plusieurs années d'habituation pour que les chimpanzés de la réserve du Gombe, en Tanzanie, lui permettent de s'approcher et de les observer. D'ailleurs ma première rencontre avec un chimpanzé dans la forêt du Gabon a été extrêmement brève : sans le moindre bruit, l'animal s'est laissé glisser le long d'un tronc et a disparu. C'est une excellente réaction pour un animal qui est généralement considéré par l'homme comme un gibier comestible.

Comme il n'y avait, à cette époque — et pour plusieurs décennies encore —, aucune information précise sur le régime alimentaire naturel du chimpanzé, j'ai décidé d'utiliser les jeunes chimpanzés de notre petite réserve comme animaux-cibles à suivre pendant des journées continues, afin d'observer leurs choix d'aliments dans une végétation native. La collecte d'échantillons sur les espèces végétales qu'ils avaient consommées nécessitait toujours une bonne journée complète, le lendemain, et surtout le long travail d'identification botanique toujours réalisé par mon épouse qui a constitué un herbier à la disposition de tous

les chercheurs. Nous avons même réalisé peu à peu une collection de photographiques qui sont encore disponibles à l'herbier de Libreville où elles ont été transférées. Ces photos montrent les échantillons fraîchement collectés et il est beaucoup plus facile, pour un non-botaniste, d'identifier une plante parmi les milliers d'autres de la forêt du Gabon, dans cette flore photographique que dans les nombreux volumes publiés de la Flore du Gabon.

Pour obtenir une journée complète d'observations sur l'alimentation d'un chimpanzé, il me fallait arriver sur leur île avant l'aube, au pied des arbres où les nids formés de quelques branches entrecroisées avaient été construits la veille au soir. J'avais acquis une pirogue pour traverser le bras du fleuve et accéder à l'île ; mais j'y avais ajouté un balancier pour la stabiliser dans des courants un peu violents et en pleine nuit. C'était certainement la seule pirogue à balancier de toute la région, dont la construction m'avait valu une franche rigolade de plusieurs collègues lors d'un premier essai avec un balancier qui a coulé — car il était fait d'un « bois lourd », comme celui de la plupart des grands arbres à croissance lente de cette forêt que nous ne connaissions pas encore.

Après avoir utilisé le bois d'une espèce à croissance rapide et à faible densité pour stabiliser ma pirogue, je pouvais traverser le bras du fleuve, de nuit, avant le lever du jour. Je devais alors retrouver dans l'île le trajet que j'avais suivi la veille au soir, après avoir vu les chimpanzés construire leurs nids en repliant des branches et s'y coucher pour dormir . Pour le repérage, je bénéficiais des structures de terrain que les collègues avaient réalisées au cours des années précédentes, dans cette station du CNRS, en particulier une série de layons — étroits sentiers qui se croisent à angle droit tous les 100 mètres —, avec des plaques de repérage analogues à celles des autres stations de terrain que nous avons connues sous les tropiques, bien visibles dans le faisceau de ma lampe torche. La fin du trajet se faisait à la boussole, selon l'angle de marche repéré la veille à la tombée de la nuit, dans un quadrat de forêt où la végétation n'était pas toujours trop dense.

La première chose que font toujours les chimpanzés à leur réveil dans la brume du matin, c'est d'uriner et de déféquer, et il vaut mieux ne pas se trouver à la verticale du bord du nid. Les chimpanzés descendaient ensuite au sol pour marcher en utilisant, comme tout le monde, les étroits sentiers pour accéder aux différentes parties de l'île dont ils connaissaient visiblement les meilleurs arbres du moment, du point de vue de la qualité organoleptique des fruits disponibles. L'un de ces fruits est bien connu au Gabon sous le nom de « mangue sauvage » ; mais ce nom local ne correspond qu'à un aspect superficiel du fruit d'*Irvingia gabonensis* dont la pulpe jaune est comestible, mais dont seul le noyau — dont on récupère une grosse amande — est utilisé localement pour faire une sauce délicieuse. Les chimpanzés ne sont intéressés que par la pulpe de ces fruits qu'ils consomment en abondance lorsqu'ils sont mûrs et disponibles.



La « mangue sauvage » *Irvingia gabonensis*, constitue une ressource alimentaire de grande importance dans la forêt du Gabon, aussi bien pour les chimpanzés qui en consomment la pulpe sucrée en grande quantité, que pour les populations locales qui collectent les noyaux de ces fruits pour en extraire les amandes avec lesquelles on fabrique un « pain » compact qui se conserve bien et qui sert à confectionner une sauce accompagnant les plats cuisinés. Cette photographie d'un échantillon frais avant sa mise en hercier, prise en pose lente sur du film Kodachrome, fait partie de la collection d'images mises à la disposition des chercheurs pour des identifications rapides des espèces végétales du Gabon.

Dans la forêt du Gabon, nous avons répertorié des centaines d'espèces d'arbres et de lianes, ainsi que quelques plantes basses du sous-bois, qui produisent des fruits dont la pulpe, analysée par la suite, est généralement riche en sucres — essentiellement glucose, fructose et saccharose dans différentes proportions selon les espèces — mais parfois aussi en graisses et en protéines. La variation des prises alimentaires au cours d'un cycle annuel a montré que ces fruits sont toujours complétés par d'autres éléments végétaux ou animaux dont l'utilisation est apparue comme indispensable pour un équilibre nutritionnel.

De fait, pendant la journée, la plus grande partie de l'activité des chimpanzés est consacrée à la recherche de proies animales, de petite taille en général ; mais à l'époque où nous faisons ces observations, personne n'avait encore décrit les comportements de chasse par une bande de chimpanzés et la consommation de viande de gibier, ce qui a fait la une des journaux scientifiques en leur temps, impliquant — en sous-entendu — l'origine de la consommation de viande par les premiers humains.



Consommation d'un nid de fourmis écophylles dont le jeune chimpanzé détache et déroule une à une avec beaucoup de soin, les feuilles cousues ensemble par un fil de soie, afin de consommer les larves et les nymphes de ces fourmis groupées à l'intérieur. Un flash à lampe était utilisé pour ce type de photos dans le sous-bois sombre, en évitant toutefois son emploi trop fréquent qui aurait perturbé les chimpanzés.

Les plus importants des apports de protéines animales dans l'alimentation du chimpanzé, ce sont en fait les insectes, notamment les fourmis. Ces insectes contiennent certains acides aminés essentiels qui risqueraient d'être en quantité insuffisante dans les seules protéines d'origine végétale. Par exemple, un nid de fourmis écophylles, *Oecophylla longinoda*, se présente sous la forme d'une boule de feuillage de la grosseur d'une balle de tennis constituée de feuilles cousues ensemble par les fils de soie entourant les larves et les nymphes des fourmis. Il renferme environ 5 grammes de ce couvain qui font les délices du chimpanzé qui a trouvé ce nid. Pour photographier de tels événements, j'avais toujours en poche quelques ampoules pour le flash, indispensable en sous-bois.

Une autre espèce de fourmi de la forêt du Gabon, *Macromiscolides aculeatus*, dont les nids, recouverts d'une sorte carton noir, sont plaqués sous les feuilles des arbres, est également très recherchée. Le contenu d'un nid ne dépasse pas 0,2 gramme de matière animale, principalement des larves et des nymphes, mais il est rencontré fréquemment dans les arbres, au cours des déplacements des chimpanzés qui semblent prendre un grand plaisir à racler bruyamment avec leurs incisives la feuille sous laquelle le nid est construit.

J'avais également observé, au cours de cette année passée avec des chimpanzés, le comportement dit « de pêche », à l'aide d'une petite baguette introduite dans un nid de fourmis, en particulier celui des fourmis ponérines, *Paltothyreus tarsatus*. Les soldats de grande taille qui mordent la baguette et se font instantanément croquer sous les molaires de l'habile chimpanzé qui a vivement retiré la baguette avec la fourmi restée accrochée. Habile, certes, car je n'ai pas réussi moi-même à attraper les fourmis avec cette méthode qui nécessite visiblement d'amorcer la réaction agressive de la fourmi par une certaine façon de faire vibrer la tige-outil.

Toutes ces observations se situent à une époque (les années 1970) où l'utilisation d'outils par des chimpanzés était considérée comme un scoop, en particulier la description de la « pêche » aux termites que Jane Goodall fut la première à décrire. J'avais alors pris contact — par le courrier aérien qui devait transiter par Paris pour retourner vers l'Afrique de l'Est — avec Richard Wrangham, le primatologue qui poursuivait les observations sur le terrain du Gombe où Jane Goodall avait habitué les chimpanzés à rester indifférents à l'approche des observateurs humains. Nous pouvions ainsi échanger nos points de vue et comparer nos observations des chimpanzés entre l'ouest et l'est de l'Afrique en suivant la progression de nos études respectives sur les comportements alimentaires de ces deux sous-espèces vivant dans des forêts relativement différentes. Toutefois, les recherches effectuées au Gombe restaient focalisées sur la vie sociale et les relations interindividuelles, un sujet passionnant, certes, mais le comportement alimentaire n'intéressait absolument pas les chercheurs anglophones à cette époque.

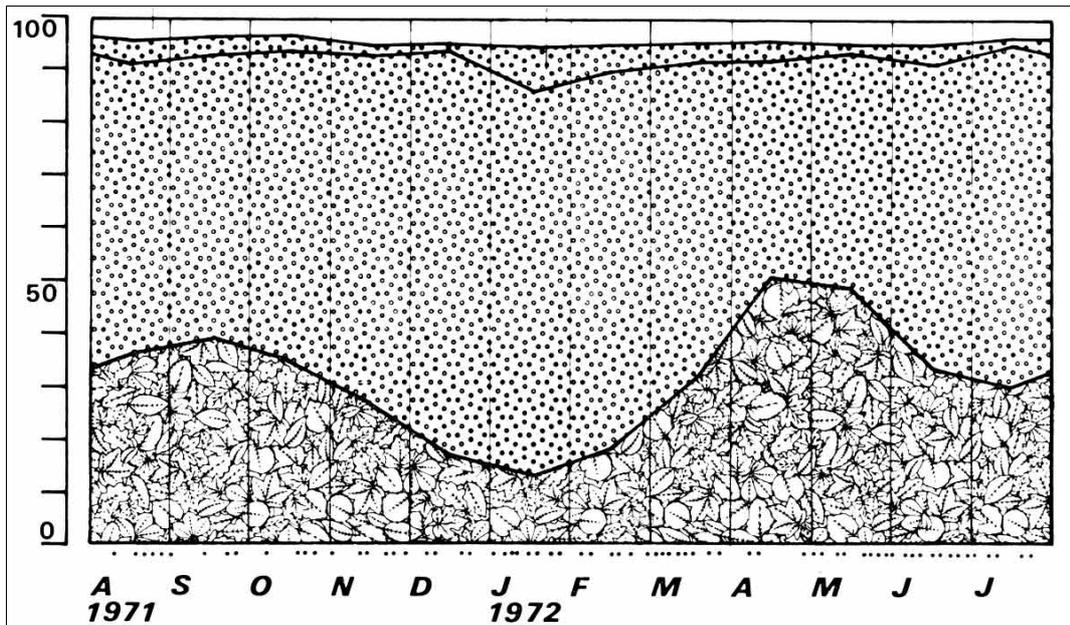


Pour capturer les fourmis dont le nid se trouve dans une cavité d'un tronc d'arbre, le chimpanzé utilise une baguette qu'il a taillée à la bonne longueur avec ses dents. Cette photographie prise au cours de l'un des suivis journaliers de groupe de chimpanzés de Makokou, en 1972, illustre l'utilisation des « outils » qui avait été observée par Jane Goodall en Afrique de l'Est, sur des chimpanzés qui consommaient essentiellement des termites.

Nous avons cependant pu réaliser d'intéressantes comparaisons à propos de la nourriture composée d'insectes que les chimpanzés obtiennent avec une baguette plongée à l'intérieur des nids de termites (au Gombe) ou dans des nids de fourmis (au Gabon). Plus tard, l'analyse des échantillons que Richard Wrangham m'avait confiés a montré l'importance de certains acides aminés dans la composition des termites, permettant d'équilibrer la composition globale de l'alimentation, ainsi que leur teneur en corps gras parmi lesquels l'importance nutritionnelle des acides gras polyinsaturés (les oméga-3) a été montrée depuis. Les deux études en parallèle — Gabon et Gombe — ont pu être publiées dans un même volume en anglais [<http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/56/17/40/PDF/Hladik-1977-Chimpanzees.pdf>](http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/56/17/40/PDF/Hladik-1977-Chimpanzees.pdf) quelques années après celle de mes textes détaillés sur l'alimentation des chimpanzés du Gabon [<http://hal.archives-fr/docs/00/56/16/81/PDF/Alimentation-chimp-Gabon.pdf>](http://hal.archives-fr/docs/00/56/16/81/PDF/Alimentation-chimp-Gabon.pdf) que je destinais aux lecteurs francophones.

Les techniques de cassage de noix posées sur une pierre décrite comme « enclume » et frappées par un chimpanzé avec un bloc de pierre ou de bois utilisé comme un « marteau », ont été observées en d'autre lieux, notamment par Tetsuro Matsusawa qui a longuement suivi les populations de chimpanzés sauvages vivant en Guinée. Au Gabon, ces pratiques ne semblent pas faire partie de la « culture technique » des chimpanzés car aucune trace n'en a été retrouvée en forêt, même sur les lieux où la « noisette », *Coula edulis*, ainsi que d'autres fruits à noyaux comme le *Panda oleosa*, donneraient la possibilité d'accéder à une graine riche en protéines et en graisses.

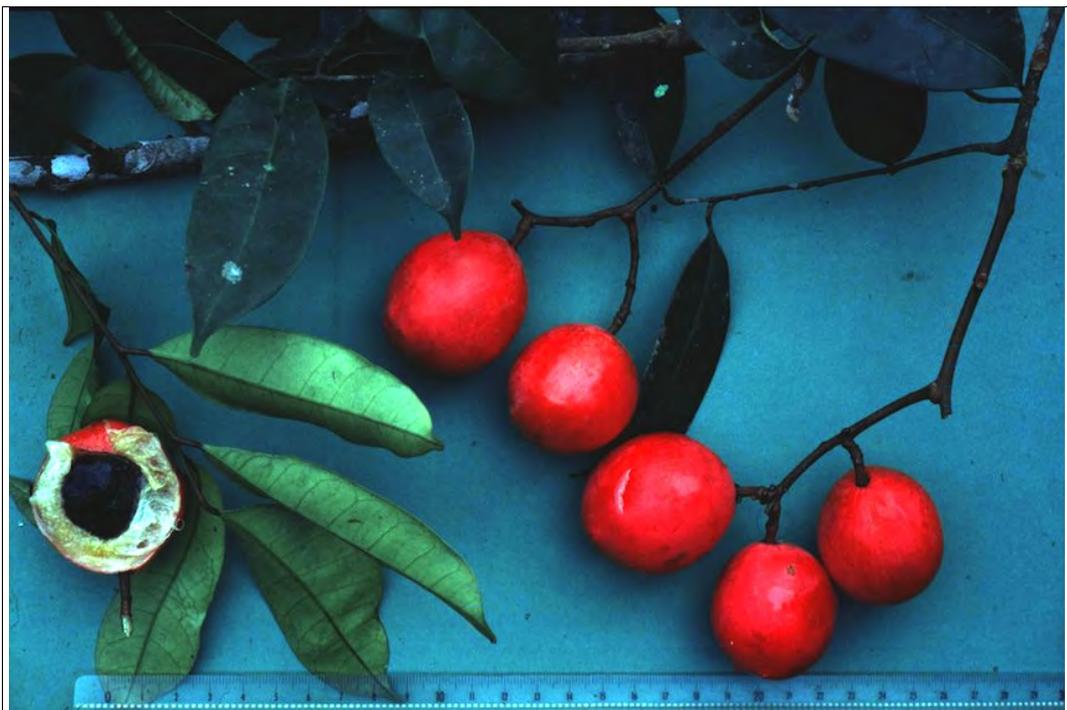
Les observations portant sur un cycle annuel d'alimentation du chimpanzé dans la forêt du Gabon ont été récapitulées sous la forme des diagrammes permettant les comparaisons avec les autres primates, ceux d'Amérique et d'Asie dont j'avais pu préciser les variations de l'alimentation au cours d'un cycle annuel et dont la proportion des fruits marque des différences plus ou moins importantes caractérisant les choix préférentiels de chaque espèce. Après avoir effectué les analyses des échantillons collectés, j'ai constaté l'importance des apports en protéines végétales par les feuillages et les tiges que les chimpanzés consomment tout au long de la journée. Ce sont en particulier les jeunes feuilles d'un petit arbre très commun, *Baphia leptobotrys*, une légumineuse dont la teneur en protides atteint 55 % du poids sec — le poids de l'échantillon après élimination des 80 % d'eau contenus dans les feuillages. Ces jeunes feuilles, à l'état frais, ont un délicieux goût de petits pois crus ! Ce sont également les tiges d'une liane Marantacée très abondante dans le sous-bois, *Hypselodelphys violacea* — dont les chimpanzés décortiquent la partie superficielle pour croquer la partie centrale de la tige et en extraire le jus —, qui sont disponibles tout au long de l'année et peuvent compenser la diminution des autres ressources en cours de saison sèche.



Ce graphique — réalisé à cette époque (les années 70), par collage de motifs transparents — montre, de bas en haut, les variations de la consommation du chimpanzé, en pourcentage du poids frais ingéré quotidiennement sous forme de feuillages, de fruits ou de matière animale. Chaque point le long de l'axe des temps correspond à une journée complète d'observation d'un individu-cible. On remarque l'importance de la consommation de végétaux, tiges et feuillages, notamment les tiges de *Hypselodelphis violacea* (photo) disponibles en permanence dans le sous-bois. Les fruits comme ceux du palmier lianescent *Calamus deeratus* (photo de droite) étaient complétés par des apports de bananes, en particulier en saison sèche (mai-juin) lorsque les feuillages ne compensaient pas la limitation des apports en fruits. Les proies animales, principalement les insectes (en blanc en haut du graphique) ne forment qu'un faible pourcentage du poids total ingéré mais apportent les acides aminés indispensables à l'équilibre de ce régime.

Ces particularités des choix alimentaires ont été confirmées par les observations les plus récentes sur les chimpanzés de l'Afrique de l'Est, notamment par celles de Sabrina Krief. Cette primatologue que j'ai eu le plaisir d'accompagner au début de sa carrière au Muséum national d'Histoire naturelle, nous a également apporté une vision renouvelée sur la consommation de plantes contenant des substances à activité pharmacologique dont elle a démontré l'efficacité. De fait, les connaissances scientifiques de Sabrina, tant en biochimie qu'en art vétérinaire, lui ont permis de tester sur le terrain, puis au laboratoire, les propriétés de certains composants de plantes, notamment leur activité contre le paludisme. Elle a pu en constater l'usage par les chimpanzés qu'elle suivait sur le terrain, en fonction des pathologies observées. Après une série d'extractions sur les plantes collectées, les analyses lui ont permis de séparer les éléments les plus actifs parmi ces substances qui pourraient s'intégrer dans la pharmacopée utile aux humains.

Une exposition temporaire tout à fait remarquable était récemment encore ouverte au Muséum, illustrant ces récentes découvertes sur les grands singes anthropoïdes, avec les images et les films de Jean-Michel Krief — car comme beaucoup d'autres primatologues de terrain, les Krief travaillent en couple.



Parmi les nombreux fruits des arbres et des lianes de la forêt gabonaise consommés par les chimpanzés, il en existe dont la pulpe sucrée est quasiment aussi riche que de la confiture. Les grosses graines de ces fruits du genre *Trichoscypha*, attachées par des fibres, sont généralement avalées avec la pulpe pour être disséminées par les frugivores de grande taille comme le chimpanzé.

L'art culinaire des chimpanzés et les perceptions gustatives

Parmi les comportements alimentaires des chimpanzés que nous avons comparés entre l'ouest et l'est africain, les mélanges d'aliments de nature différente pourraient être considérés comme une sorte d'art culinaire. Bien évidemment, les différentes espèces consommées sont relatives à ce qui est localement disponible ; mais il y a des analogies dans la façon de les manger. Une association entre plusieurs aliments est particulièrement remarquable lorsqu'il s'agit de proies animales qui dépassent la taille des insectes, notamment les œufs ou les oisillons que les chimpanzés découvrent dans les nids d'oiseaux ; ou bien des petits mammifères occasionnellement capturés ; *a fortiori*, ces associations de viande avec des végétaux fibreux ont été observées et décrites par plusieurs de nos collègues, dans le cas du partage et de la consommation de la viande des gibiers capturés, notamment celle des colobes, après une chasse collective.

Au Gabon, lorsqu'une petite proie est trouvée et précieusement serrée dans la main d'un chimpanzé, l'animal recherche un tronc d'arbre à proximité pour en racler, avec ses grosses incisives, de larges fragments de l'écorce superficielle ; puis ces fragments d'écorce sont longuement mastiqués avec la proie animale. Nos collègues ont observé, en Afrique de l'Est, un comportement tout à fait analogue de mixage en bouche de viande avec un végétal fibreux ; mais il s'agit alors de feuillages qui sont cueillis sur place, sans qu'il y ait un choix évident de l'espèce végétale utilisée, ce qui semble exclure la recherche d'un goût particulier pour « assaisonner » la viande. Dans tous les cas, ces végétaux qui transforment la structure en bouche vont augmenter le plaisir gustatif par une mastication prolongée. D'autres hypothèses ont été proposées sur leur fonction dans l'alimentation mais je pense que leur rôle majeur est du domaine de la mastication avec des fibres végétales. La présence de fibres végétales améliore, grâce à une longue mastication, la digestibilité d'une viande crue qui est un aliment rare dans un régime essentiellement végétarien.

Cette mastication intense favorisée par un aliment fibreux, le chimpanzé la pratique également avec des fruits particulièrement appréciés, notamment avec les bananes dont les peaux sont ajoutées à la grosse bouchée de pulpes. La mastication de la grosse chique ainsi constituée peut durer vingt minutes et il n'en restera, après que tout le jus en soit extrait par d'intenses pressions des mâchoires, qu'une chique de fibres compressées quasi sèche dont l'animal se débarrasse.

Notons par ailleurs que tous nos collègues qui ont observé le partage de la viande d'un petit gibier par des chimpanzés ne font jamais mention de morceaux qui seraient donnés aux plus jeunes — ceux pour lesquels les protéines sont nécessaires à la croissance — alors que tous les animaux viennent « quémander » un morceau que celui qui détient la proie ne donne qu'avec

parcimonie aux seuls adultes qui se pressent autour de lui — et surtout à ceux avec lesquels il entretient des liens amicaux. La viande qui ne constitue qu'une infime partie de l'alimentation des adultes fait visiblement partie des plaisirs que s'offrent les chimpanzés .



Un oisillon capturé dans son nid constitue un mets de choix pour ce jeune chimpanzé qui le garde serré en *main* et s'apprête à le consommer en mélangeant sa chair avec des raclures de l'écorce d'un arbre voisin. La femelle adulte — qui l'accompagne et joue le rôle de mère adoptive — conserve longtemps dans sa bouche une sorte de chique formée de la pulpe de fruits dont le jus est extrait au cours d'une longue mastication.

J'ai assisté également à la capture d'un gros scorpion du genre *Opisthacanthus*, écrasé d'une tape brutale de la main dès qu'il fut aperçu en soulevant un morceau de bois mort. Il s'agit d'une espèce dont la pique n'est pas dangereuse mais dont la découverte a immédiatement attiré tous les animaux du groupe qui, visiblement, avaient une certaine expérience du bon goût de ce gros invertébré sans doute très juteux, à consommer impérativement avec des raclures d'écorce...

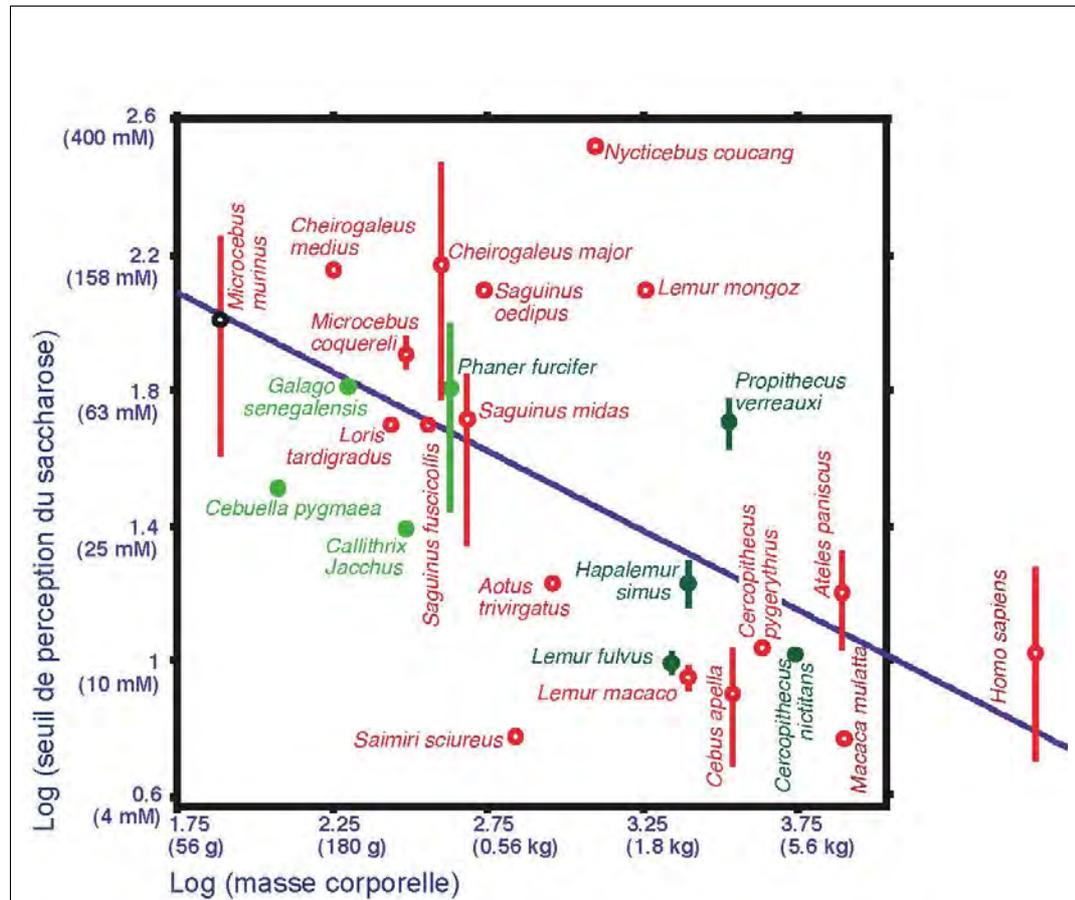
Dans le domaine des préférences et des perceptions gustatives, les primates non humains posent des problèmes sur lesquels les physiologistes commencent à peine à s'interroger, notamment à propos de la perception des protéines de faible poids moléculaire. En revanche l'ensemble des perceptions des solutions simples de sucres, de sels, d'acides organiques, etc., a été particulièrement bien exploré par Bruno Simmen qui poursuit actuellement ses recherches dans le cadre du Muséum, à Brunoy.

Pour déterminer le seuil de perception d'une substance, Bruno met à disposition d'un primate deux flacons à lécher, dont l'un contient la solution à tester et l'autre de l'eau pure. On peut ainsi mesurer chaque jour les quantités consommées et déterminer si un produit (notamment une solution sucrée) est préféré à l'eau pure ou au contraire évité (comme une solution de quinine). En faisant varier chaque fois la concentration, après un grand nombre de tests qui peuvent nécessiter plusieurs mois pour chaque espèce, on peut déterminer la concentration limite pour laquelle la substance testée est différenciée de l'eau pure. Ce test de préférence/aversion nécessite donc une longue durée d'expérimentation sur les primates non humains avant d'obtenir des résultats significatifs. En revanche, lorsqu'on recherche sur les humains la limite de concentration à partir de laquelle une substance en solution est discriminée, les réponses verbales permettent de cerner les limites de perceptions de plusieurs substances en quelques dizaines de minutes.

Il est bien évident que ce seuil de perception gustative — ou seuil de reconnaissance — d'une substance constitue la première partie, essentielle, du système d'alimentation d'une espèce. Nous avons pu constater, par exemple que le Nycticèbe, voisin du loris dont l'alimentation, au Sri Lanka, est spécialisée sur les proies répugnantes — dont le goût semble insupportable aux autres consommateurs potentiels — possède les seuils de perceptions gustatives les plus élevés, c'est à dire qu'il lui faut une concentration beaucoup plus forte que pour tout autre espèce, pour qu'il discrimine et réagisse en goûtant un produit par rapport à de l'eau pure. On comprend la nécessité de cette caractéristique que le hasard de la sélection naturelle a permis à cette espèce de maintenir.

Toutefois il existe un rapport entre cette acuité gustative et la taille d'une espèce. Je n'y ai pas cru, au début, lorsque Bruno Simmen a commencé son

expérimentation car cela me semblait extraordinaire qu'une perception puisse dépendre du poids corporel d'une espèce animale : la vision, par exemple se rapporte davantage à la lumière disponible dans l'environnement. Mais Bruno, qui était encore un étudiant sous ma direction, était convaincu que de nombreux caractères — anatomiques ou physiologiques — ont un rapport allométrique avec la masse corporelle chez différentes espèces, et que, comme pour les surfaces des muqueuses intestinales, il fallait en tenir compte même pour la perception gustative.



La comparaison des seuils de perception gustative d'une solution sucrée chez différentes espèces de primates met en évidence une relation à la masse corporelle : les plus grosses espèces sont celles qui ont un seuil de perception très bas, c'est-à-dire qu'elles sont très sensibles aux faibles concentrations en sucre. Cette tendance est indépendante d'un régime à dominance frugivore (en rouge) ou folivore (en vert).

Tout en haut de ce graphique, le *Nycticebus coucang* qui est, comme le *Loris* observé au Sri Lanka, un prosimien très peu sensible au goût des produits qu'il consomme, se sépare nettement des autres espèces en fonction de cette adaptation particulière aux proies répugnantes qui sont évitées par les autres espèces.

Sur ce graphique, nous avons ajouté l'homme, *Homo sapiens*, à l'ensemble des primates non humains qui ont été testés, et, compte tenu de la variabilité des perceptions observées dans différentes populations humaines, il est conforme à ce modèle.

Effectivement, après avoir déterminé les seuils de discrimination gustative de nombreux primates et regroupé tous ses résultats avec les données disponibles dans la littérature scientifique, Bruno a bien démontré qu'il existe une relation allométrique entre la masse corporelle et la concentration limite d'une substance perçue. Il s'agit d'une relation linéaire inversée entre le poids et le seuil de gustation, exprimés en coordonnées logarithmiques, comme c'est toujours le cas pour ce genre de calcul. C'est étonnant et cela nécessite une explication.

D'abord ce rapport porte essentiellement sur la perception des sucres et absolument pas sur des produits amers comme la quinine, qui sont systématiquement évités, même à très faible concentration, par toutes les espèces. C'est, encore une fois d'une grande évidence, que des produits généralement toxiques comme les alcaloïdes soient reconnus en bouche avant qu'ils ne puissent être avalés. Mais il a fallu trouver une explication logique pour savoir pourquoi une espèce de grande taille perçoit mieux que les autres une solution faiblement sucrée.

La théorie apporte toujours une explication logique, ainsi que nous l'avons publié, en ajoutant, par la suite, l'espèce *Homo sapiens* à la série des autres primates pris en considération dans cette étude <<http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00556269>>. Les espèces de grande taille qui nécessitent un apport calorique en relation avec leur poids — c'est encore là une relation allométrique, selon la loi de Kleiber — doivent trouver, souvent dans les mêmes environnements que les autres singes, un supplément par rapport à ce qu'utilisent les plus petites espèces. Nous aurions pu croire qu'une meilleure acuité gustative puisse permettre de rechercher les fruits les plus riches en sucre. Il s'agit plutôt du contraire. De fait, pour trouver une plus grande quantité d'aliments dans un environnement déterminé, il faut élargir son répertoire d'aliments consommables, en incluant même ceux qui sont les moins riches en sucres mais constituent néanmoins un apport calorique supplémentaire. Cet élargissement du répertoire des aliments consommables correspond au seuil de discrimination le plus bas chez les primates de grande taille, donc à une meilleure acuité gustative. Par la suite nous avons trouvé d'importantes variations de ces seuils gustatifs entre différentes populations humaines, qui, en tant que primates de grande taille, sont toutes constituées de très fins goûteurs.

Et Bruno Simmen — qui est devenu le chercheur expérimenté qui m'entraîne actuellement à collaborer pour de nouvelles recherches sur les dépenses énergétiques — a pu également diriger les thèses de nouveaux chercheurs, notamment sur les perceptions des tannins, ces substances à goût généralement répulsif et qui sont très abondantes dans les plantes de tous les milieux naturels. Ce sont les tannins de la peau des raisins qui donnent aux vins certaines des qualités particulièrement appréciées par les amateurs. Beaucoup de ces substances

manifestent un effet toxique à forte dose — qui évite à la plante de se faire dévorer par les insectes — alors qu'en faible quantité elles ont certaines activités bienfaisantes, voire de nature pharmacologique, ainsi que cela fut observé sur les chimpanzés par Sabrina Krief.



Cette zingibéracée, *Aframomum giganteum*, — que l'on trouve en abondance le long des pistes qui traversent la forêt gabonaise — est appelée « herbe à gorille » car on observe souvent des gorilles venant en manger les tiges. Les fruits, consommés par l'homme, renferment une pulpe blanche à saveur épicée enrobant de petites graines noires.

Chez les gorilles on a pu même observer, en conditions expérimentales, une préférence pour des solutions relativement concentrées de tannins de chêne — la seule substance tannique que l'on ait pu obtenir à l'état purifié pour les expérimentations de préférence/aversion par rapport à de l'eau pure. Et cette concentration dont le goût est apprécié, jusqu'à un gramme par litre, correspond à ce qui existe dans les végétaux les plus abondants que les gorilles consomment dans leurs environnements naturels. Et, comme les chimpanzés, les jeunes gorilles apprennent à utiliser ces sortes de « médicaments » qui peuvent améliorer leur état physiologique, en observant les choix que font les adultes expérimentés de leur groupe — et ceci a été déduit récemment par Shelly Masi de la façon dont ils observent préférentiellement ce que consomment les adultes de leur groupe.

Régimes alimentaires et tractus digestifs

Parmi les primates dont j'ai pu étudier et mesurer le tractus digestif au cours de nos différents séjours à la station biologique de Makokou, au Gabon, il y avait des gorilles tués par des chasseurs pour en apporter la viande à consommer dans les villages voisins.

Les gorilles sont les plus herbivores des grands singes anthropoïdes, surtout le gorille de montagne, *Gorilla beringei*, celui dont la visite est autorisée pour les touristes dans la réserve des Monts Rwenzori, à la seule condition (payante) de rester d'une grande discrétion et suffisamment loin du groupe de gorilles. Au Gabon, le gorille de la grande forêt dense humide, *Gorilla gorilla*, peut être vu sur le bord des pistes forestières où il vient consommer les grandes pousses d'*Aframomum giganteum*, ces belles tiges croquantes de zingibéracées, ainsi que leurs fruits rouges à la forte saveur de térébenthine, qui sont parfois cueillis pour être vendus sur les marchés locaux. Mais la rencontre exceptionnelle en pleine forêt avec un groupe de ces gorilles était, encore tout récemment, considérée comme particulièrement dangereuse. Les récits de la fin du 19^{ème} siècle en accentuaient souvent la dramaturgie, alors que les descriptions objectives, comme celle publiée par Du Chaillu d'un mâle dont la charge s'arrête net avant tout contact avec un humain, ont été longtemps considérées comme de pures affabulations. Cette ambiguïté est mise à profit par les chasseurs qui disent toujours avoir été dans l'obligation de se défendre contre le gorille dont ils rapportent la viande.

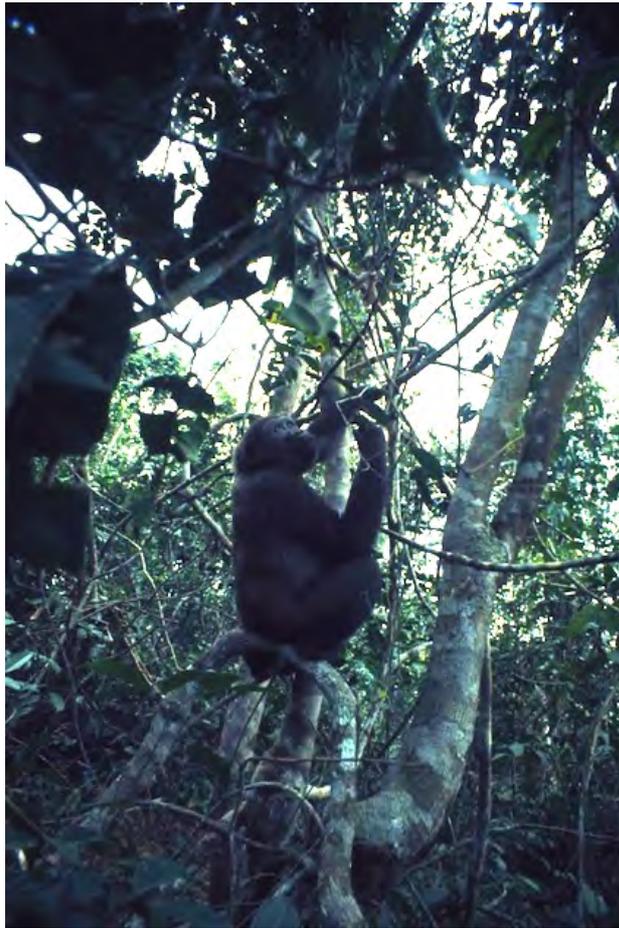
Je n'ai moi-même effectué des observations en journées continues, en 1975, que sur de jeunes gorilles introduits sur un îlot du fleuve Ivindo où il ne disposaient que de ressources trop limitées, dont les fruits de *Brazzeia congoensis* qui étaient disponibles en quantité suffisante sur une courte période. Bien entendu, ces gorilles de la station biologique de Makokou recevaient une alimentation complémentaire sous la forme de régimes de bananes, ce qui était beaucoup plus important pour eux que pour les chimpanzés qui, dans l'île voisine de grande surface, pouvaient trouver une nourriture abondante et diversifiée. Les notes que j'ai conservées sur l'alimentation du gorille de forêt ne furent donc pas très utiles, à l'exception, sans doute des observations sur la coprophagie.

En effet, à la fin de longues journées passées sous la pluie au cours desquelles les gorilles ne bougent que très peu et n'ont donc pas la possibilité d'ingérer de grandes quantités de feuillages — à défaut de fruits — nécessaires pour remplir leur estomac, ils recueillent leurs excréments dans une main et les mangent. Ce comportement de coprophagie n'a, de fait, rien d'exceptionnel, comme nous avons pu le constater par la suite avec les collègues qui ont observé de nombreux cas de coprophagie chez des gorilles sauvages et même chez des chimpanzés qui peuvent ré-ingérer certaines graines retrouvées dans leurs fèces.



Les fruits de ce petit arbre, *Brazzeia congoensis*, ont pu constituer, lorsqu'ils étaient mûrs et abondants, un importante fraction des aliments consommés par les gorilles introduits sur un îlot du fleuve Ivindo, au Gabon.

Comme avec tous les autres primates, un contact discret après une période d'habituation rend possible l'observation et même les visites touristiques auprès des gorilles dans leurs habitats d'origine. La description détaillée de l'alimentation du gorille de la forêt équatoriale est néanmoins toute récente et je viens d'en prendre connaissance dans la revue scientifique en ligne de la *Public Library of Science, PLOS ONE*, qui constitue le moyen de diffusion le plus rapide des connaissances dont le sérieux est garanti par un comité de lecture. La forme en est fort différente de nos publications traditionnelles, car tout chercheur scientifique doit actuellement proposer des hypothèses et faire des analyses statistiques à partir d'observations qui, sans cela, ne seraient pas considérées comme publiables dans une bonne revue scientifique... Nous sommes bien loin des textes des grands naturalistes des siècles derniers qui étaient si agréables à lire... Encore que j'ai moi-même vécu une période intermédiaire où la qualité littéraire d'un texte scientifique n'était déjà plus guère appréciée. Il fallait déjà introduire des résultats chiffrés, bien calibrés, ce qui a entraîné, avec mes collègues anglophones, des discussions sur les méthodes de mesure du régime alimentaire dans le genre : doit-on mesurer les temps d'alimentation pour comparer des régimes alimentaires entre eux ?



Les jeunes gorilles du Gabon — dont l'alimentation avait été mesurée en 1975 sur un îlot du fleuve Ivindo — n'obtenaient fréquemment pas la quantité nécessaire pour remplir leur appareil digestif et pratiquaient la coprophagie, un comportement qui n'est pas exceptionnel chez cette espèce

Dans ce dernier article sur l'alimentation du gorille d'une forêt de Centrafrique, notre jeune collègue primatologue, Shelly Masi — qui fait également partie de notre équipe du Muséum — a résolu ce dilemme en mesurant, pour chaque type d'aliment, les quantités consommées par unité de temps. Elle peut ainsi présenter un diagramme de la variation saisonnière de l'alimentation du gorille montrant une période de consommation de fruits qui correspond, dans le cycle saisonnier, au maximum des disponibilités, comme dans le cas des chimpanzés du Gabon où les espèces végétales sont très comparables à celles de la forêt centrafricaine.

La comparaison entre les chimpanzés et les gorilles vivant dans la forêt dense du bassin du Congo oppose cependant un frugivore à un herbivore si l'on tient compte des proportions de fruits et de feuillages ou tiges consommées par chacun d'eux. Alors que le chimpanzé ne fait que compléter son alimentation

de fruits très variés avec les tiges et les feuillages qui apportent un complément indispensable en protéines végétales, le gorille, quant à lui, utilise les fruits pendant les quelques mois où ils sont les plus abondants afin de compléter, en termes d'apports caloriques, son alimentation faite des tiges et de feuillages qu'il consomme pendant tout le reste de l'année.

Les mêmes types de régimes alimentaires correspondent aux mêmes types morphologiques de tractus digestif, avec des surfaces d'absorption et un volume du gros intestin beaucoup plus développé chez le gorille que chez le chimpanzé. J'ai d'ailleurs retrouvé cette tendance chez le magot, *Macaca sylvanus*, le seul singe dont une population sauvage vit en Europe, à Gibraltar, et dont l'alimentation inclut beaucoup plus de feuillages que celle des autres macaques, tous frugivores. Ce fut d'ailleurs ma dernière dissection, au cours d'un voyage au Maroc, l'animal ayant été abattu au fusil de chasse par un forestier trop heureux de pouvoir profiter de mon autorisation officielle pour se débarrasser de cet animal qui, en consommant les bourgeons terminaux, détruit les plus beaux cèdres des forêts de l'Atlas.

Le régime alimentaire de la majorité des espèces de primates non humains reste donc de nature frugivore, <<https://halshs.archives-ouvertes.fr/hal-00545803/document>> même si l'apport des fruits est très variable selon les espèces et peut ne jouer qu'un rôle secondaire, ainsi que nous l'avons constaté dans les cas de spécialisations extrêmes de certains prosimiens ou des langurs du Sri Lanka, grands consommateurs de feuillages.

Les proportions des différentes parties des tractus digestifs adaptés à ces régimes alimentaires ont été mesurées sur un petit nombre d'individus de chaque espèce — souvent sur un seul —, ce qui ne permet évidemment pas de présenter des données statistiques ; mais les variations interindividuelles sur des formes sauvages sont très faibles si l'on prend soin de rapporter les mesures des surfaces des muqueuses à la taille de chaque individu. Il en résulte une base de données, incluse dans ma Thèse d'Etat soutenue en 1977 <<https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-00843684/document>>. Comme toutes les données et les échantillons accumulés dans nos musées au cours des derniers siècles il serait inutile — et cela est même actuellement interdit — de reprendre ce type d'échantillonnage basé sur la chasse d'espèces sauvages qui sont désormais protégées. En revanche, l'utilisation et l'interprétation de ces données nous permet de préciser la position de l'homme actuel et d'avancer dans la compréhension de son adaptation à différents régimes alimentaires.

II. — LES HOMMES ET LEUR ALIMENTATION

Le tractus digestif humain

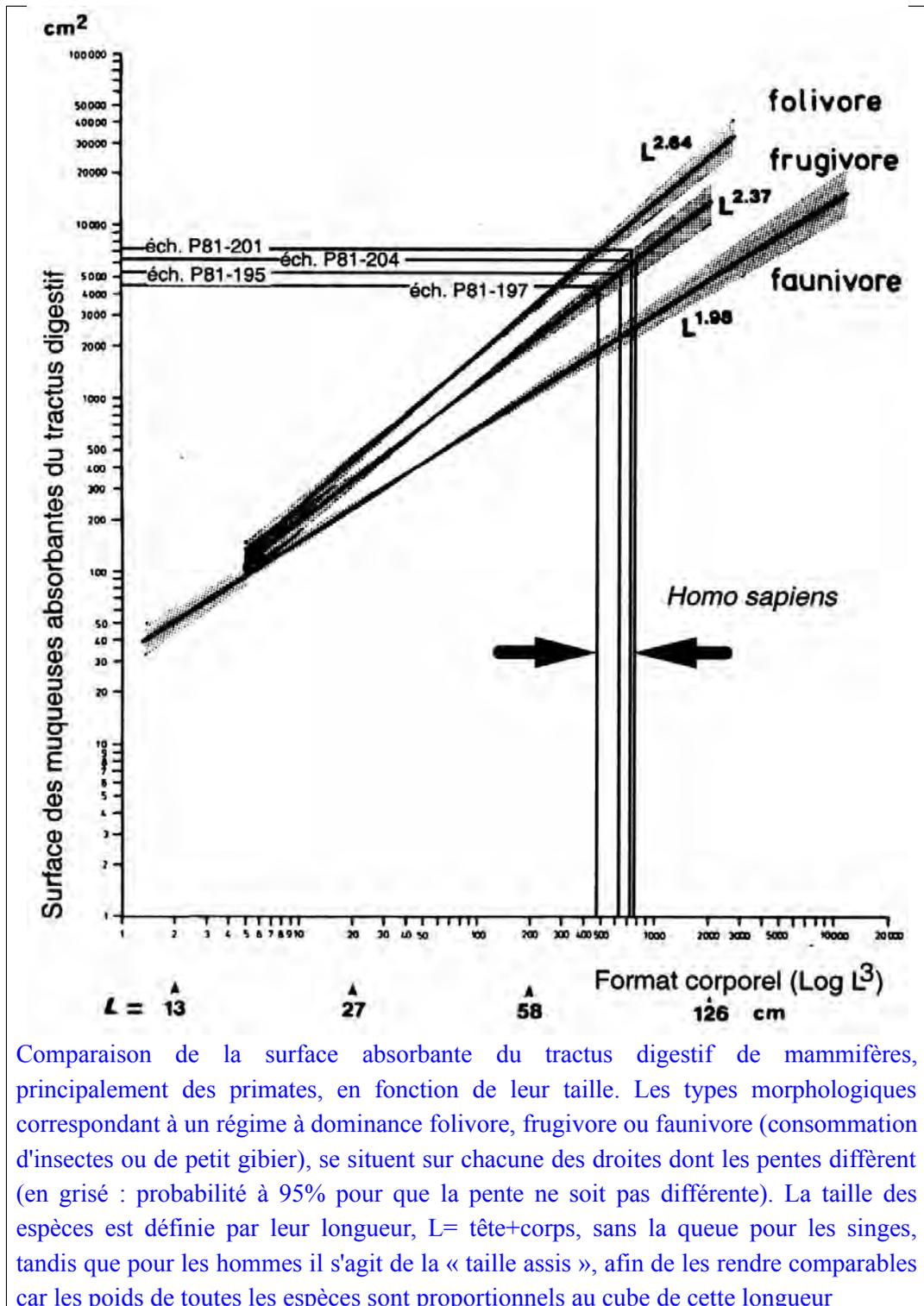
C'est à l'Université de Cambridge, au Royaume-Uni, que j'ai pu réaliser une étude de la morphologie de l'appareil digestif de l'homme, *Homo sapiens*, comparable à celles que j'ai effectuées sur les primates non humains. Le problème pratique qui se posait dans une université française était la séparation administrative de la fac des sciences avec les facultés de médecine où l'on trouve des cadavres humains, alors que les conventions de travail sont plus faciles à établir outre-Manche. Et puis, mon collègue David Chivers se trouvait au département d'anatomie vétérinaire de Trinity College, à Cambridge. J'avais conservé avec lui des relations de travail et d'amitié depuis que nous étions restés ensemble à observer les primates de Barro Colorado, dans l'isthme de Panama, lorsque David débutait sa thèse sur le comportement territorial du singe hurleur et que je mesurais, de mon côté, ce que consommait chacun des primates de cette forêt.

Nous avons d'abord réalisé ensemble un travail de comparaison entre les primates et une série d'autres mammifères sur lesquels chacun de nous avait accumulé des données. Comparer les primates aux autres mammifères permet d'élargir le champ des possibles variations en fonction du régime alimentaire, en incluant notamment ceux de vrais carnivores ou de purs herbivores, au total 180 mammifères, dont 117 primates. Nous avons cherché la meilleure utilisation de nos mesures des surfaces relatives (rapportées à la taille de l'animal) de l'estomac, de l'intestin grêle, du caecum et du gros intestin et nous avons trouvé la formule qui discrimine au mieux trois ensembles, respectivement folivores, frugivores et faunivores. Tous les primates se trouvent dans l'un de ces trois ensembles selon que leur alimentation renferme plus de 50 % de feuillages, de fruits ou de proies animales. Nos résultats furent publiés en 1980 dans le *Journal of Morphology* <<http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00561758>>.

Il suffisait alors de situer l'espèce *Homo sapiens* sur ce graphique. Cela fut réalisé plus tard, lorsque David Chivers a établi le contact avec le médecin légiste de l'hôpital voisin, afin d'obtenir le tractus digestif de patients décédés dont l'autopsie était exigée afin de préciser la cause exacte du décès. Après la série de mesures que nous pouvions effectuer, nous rapportions ces pièces anatomiques à l'hôpital pour qu'elles y soient incinérées.

Ce ne fut pas le plus agréable de nos travaux car la taille des intestins humains est immense, surtout lorsqu'on les ouvre pour les étaler à plat dans le fond d'une cuve à dissection, pour en mesurer la surface interne. Il fallait

évidemment faire cette opération en plusieurs fois, surtout dans le cas d'une vieille femme alcoolique décédée à la suite de *delirium tremens*, dont les intestins étaient réduits à de fines couches muqueuses qui flottaient dans l'eau de notre cuve à dissection. Nous n'avons d'ailleurs pas tenu compte des mesures obtenues sur cet échantillon particulier, totalement distendu par la maladie et dont l'énorme surface aurait pu correspondre à celle des primates folivores.



Comparaison de la surface absorbante du tractus digestif de mammifères, principalement des primates, en fonction de leur taille. Les types morphologiques correspondant à un régime à dominance folivore, frugivore ou faunivore (consommation d'insectes ou de petit gibier), se situent sur chacune des droites dont les pentes diffèrent (en gris : probabilité à 95% pour que la pente ne soit pas différente). La taille des espèces est définie par leur longueur, $L = \text{tête} + \text{corps}$, sans la queue pour les singes, tandis que pour les hommes il s'agit de la « taille assis », afin de les rendre comparables car les poids de toutes les espèces sont proportionnels au cube de cette longueur

En revanche, parmi quatre échantillons de tractus digestifs humains en parfait état, c'est-à-dire ne provenant pas de malades décédés de maladies portant sur l'appareil digestif, nous avons reçu celui d'un homme adulte qui venait de se suicider. En faisant abstraction du drame que cela représentait, pour nous il s'agissait d'une excellente référence morphologique à un régime classique au Royaume-uni. Par rapport à cette référence, la variabilité entre les personnes est très faible, compte tenu de leur format corporel que nous avons mesuré, dans la salle d'opération du médecin légiste, par la « taille assis » afin de le rendre comparable avec les dimensions tête+corps, sans la queue, mesurées sur tous les primates non humains.

Il nous est apparu une remarquable concordance des humains avec toutes les espèces à régime frugivore dont l'ensemble se situe sur une droite — la droite de régression, en fonction du rapport aux logarithmes des dimensions — dont la pente est supérieure au carré de la longueur tête+corps, caractérisant les faunivores, et inférieure à celle des folivores proche du cube de cette dimension. Globalement, les surfaces des muqueuses intestinales absorbantes sont beaucoup plus petites chez des carnivores que chez des frugivores et elles sont nettement plus grandes chez des herbivores. Ces résultats, publiés dans plusieurs articles et chapitres d'ouvrages <<http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00548918>> n'ont été remis en cause qu'une seule fois, par un auteur anglophone qui pensait situer l'homme parmi les carnivores (régimes dont la viande constitue plus de 50% du poids total). Après avoir pris contact avec cet auteur et échangé toutes nos données et les techniques de mesure utilisées, cet auteur a reconnu que les échantillons de tractus digestifs humains, prélevés par l'un des ses étudiants sur des cadavres, étaient probablement rétractés par la technique de conservation, ce qui ne correspondait pas aux mesures des intestins de primates totalement relaxés et mesurés dans notre cuve à dissection. Il serait intéressant qu'un scientifique reprenne ce type de mesures pour augmenter significativement le nombre d'échantillons mesurés car c'est le principe même de la science que de pouvoir toujours se remettre en question.

La position de *Homo sapiens* dans le groupe des primates frugivores implique la grande flexibilité que l'on observe chez ces primates, en particulier chez le chimpanzé qui peut occasionnellement consommer de la viande. La grande variabilité des régimes alimentaires que l'on observe dans différentes populations est précisément l'une des caractéristiques de l'humain. Toutefois on se pose toujours la question des limites adéquates de cette variabilité pour un bon équilibre nutritionnel. On se pose également la question des origines des populations humaines en examinant notamment les dents des fossiles qui ne permettent que des déductions globales sur la structure des aliments — l'avant de la mâchoire étant plus développée chez les frugivores. Mais la réponse ne peut pas être trouvée dans la seule analyse des parties molles de notre corps, décomposées depuis longtemps sur les fossiles à partir desquels on recherche nos origines.

Peut-on comparer l'alimentation des humains à celle d'autres primates ?

Au Musée de l'Homme et sur d'autres sites du Muséum national d'Histoire naturelle, notre unité de recherche sur l'éco-anthropologie et l'ethnoécologie est actuellement formée de jeunes chercheurs qui se sont joints aux plus anciens avec lesquels j'avais effectuées des missions sur des terrains où les hommes vivent encore en équilibre de subsistance, pour mesurer le plus précisément possible ce qui était consommé et comment.

L'idée de constituer cette équipe — où des anthropologues et des ethnologues se sont joints à des zoologistes et des écologues travaillant sur les primates non humains — a émergé, dans les années 1980, au cours de rencontres où nous confrontions nos points de vue à propos des adaptations biologiques caractérisant tout primate et des différences quasi incommensurables des perceptions incluant les systèmes de représentation propres aux populations humaines. Avec Igor de Garine, ethnologue spécialiste de l'alimentation, nous avons formé une co-direction sur ces deux axes d'orientation d'une équipe pluridisciplinaire d'anthropologie alimentaire où chacun apportait ses connaissances et ses méthodes d'observation.

Pendant plusieurs dizaines d'années, nous avons travaillé sur — et avec — des populations en équilibre de subsistance vivant dans des milieux naturels ou peu transformés par l'homme. Nous avons mis à profit l'expérience acquise — au cours des précédentes recherches sur l'alimentation des primates non humains — sur les milieux forestiers de l'Afrique tropicale et équatoriale, en particulier pour les ressources de chasse et de cueillette utilisables par les peuples forestiers.

En parallèle avec des observations portant sur les populations de Pygmées, nous avons suivi d'autres populations forestières, les plus nombreuses, celles qui pratiquent une agriculture de subsistance en défrichant de petites parcelles de la forêt. Il était important d'adapter les techniques de mesure des disponibilités alimentaires dans ces différents cadres, ainsi que celles portant sur la mesure de la consommation alimentaire. Pour cela, le travail en équipe s'imposait.

Les relevés concernant les produits disponibles sur différents terrains d'étude, au Gabon, au Cameroun et en Centrafrique ont permis de mettre en évidence les caractéristiques communes et les différences entre les systèmes de gestion de diverses populations forestières. Nous en avons résumé les premiers résultats dans une brochure publiée en 1989 avec l'appui de l'UNESCO « Se nourrir en forêt équatoriale : Anthropologie alimentaire des populations des régions forestières humides d'Afrique » <<http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00644954>>. Et je fus un jour très étonné, au cours d'un colloque international où les thèmes sur l'alimentation étaient abordés, par la remarque d'un collègue

étranger qui me conseillait vivement de lire une petite publication très bien documentée... il s'agissait en fait de la nôtre, dans sa version en langue anglaise. Cette brochure était centrée sur le travail collectif de notre équipe avec les thèmes complémentaires relatifs, non seulement aux produits alimentaires disponibles et utilisés selon divers modes de préparation par les différents groupes ethniques, mais également avec un suivi parallèle des conséquences physiologiques que ces usages impliquent — par exemple pour la détoxification des dérivés du manioc —, le tout étant replacé dans les contextes socioculturels propres à chacun des groupes ethniques. Chaque thème a été développé par un spécialiste présent sur le terrain en liaison avec les autres membres de notre unité de recherche. Car si l'approche interdisciplinaire nécessite de croiser les points de vue, elle doit aussi préserver, dans chacun des domaines, les fondements indispensables et précis propres à chaque discipline.



Dans une plantation Ngbaka de la forêt centrafricaine, incluant 19 variétés de bananes plantains et cinq sortes d'ignames, Igor de Garine participe à un relevé exhaustif, afin de définir les ressources localement disponibles.

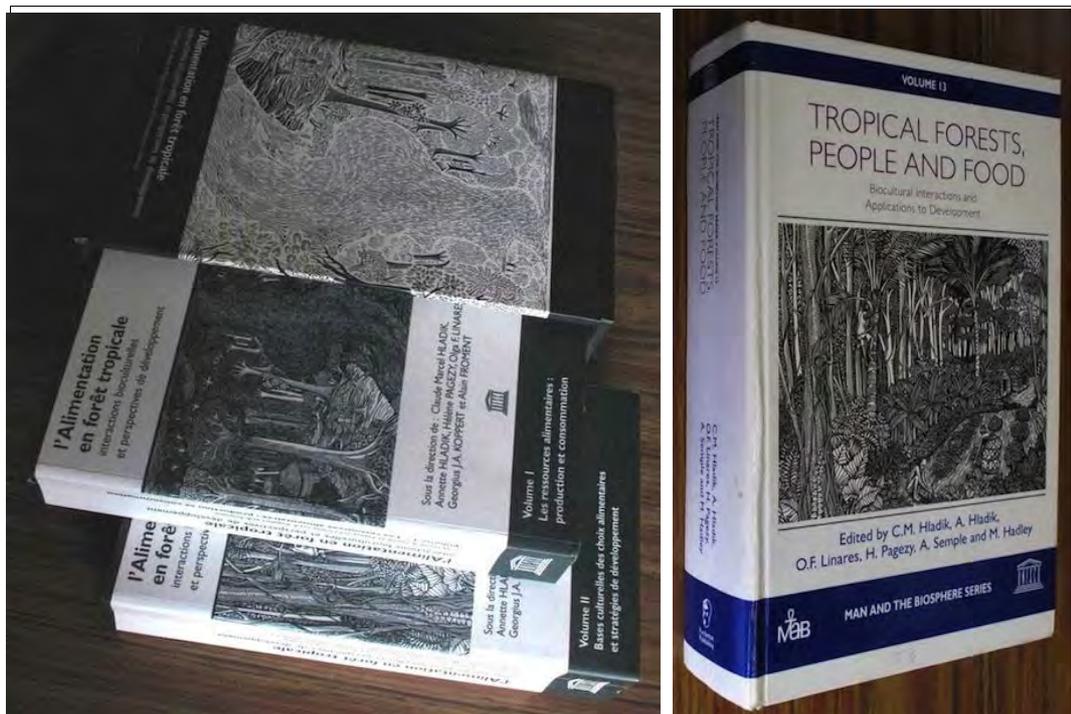
Il faut citer ici au moins l'un des spécialistes de notre équipe, Alain Froment, docteur en médecine, dont on connaît bien les publications, en particulier son étonnant ouvrage de 2013 « Anatomie impertinente. Le corps humain et l'évolution » (éditions Odile Jacob) un livre à la fois plein d'humour et de savoir, dont on peut lire un résumé sur le site de la Société Francophone de Primatologie <<http://primatologie.revues.org/1248>>. Sur les divers terrains d'études des régions forestières d'Afrique, Alain mesurait les caractéristiques physiques individuelles liées à l'alimentation. Il déterminait notamment l'épaisseur des plis cutanés, caractérisant l'état nutritionnel, ainsi que d'autres paramètres biologiques, dont la pression artérielle, sur les personnes qui participaient à nos programmes d'étude sur leur alimentation. Je déterminais moi-même la sensibilité gustative de ces mêmes personnes en leur faisant goûter des solutions plus ou moins diluées de sel et de différents sucres, acides et produits amers. Il s'est avéré ainsi que les personnes dont l'hypertension artérielle risquait de poser de graves problèmes de santé étaient, le plus souvent, celles qui étaient les moins sensibles aux solutions de sel. Autrement dit, pour percevoir le goût salé d'un aliment cuit, il leur fallait augmenter considérablement la dose de sel, ce qui leur fut vivement déconseillé car ils augmentaient ainsi les risques de maladies cardiovasculaires. On ne pouvait alors rien faire de plus que de les mettre au courant de leurs caractéristiques sensorielles particulières dont ils n'avaient pas conscience, afin qu'ils sachent au moins ce qu'ils devaient éviter.



Mesure des caractéristiques individuelles liées à l'alimentation, par Alain Froment, dans une population Pygmée du Cameroun. Sa présence indispensable sur le terrain permettait d'apporter un appui médical aux personnes qui participaient à nos enquêtes sur l'alimentation.

Ces observations particulières sur des individus vivant dans des régions isolées d'Afrique tropicale, en nombre trop limité pour être présentées dans une revue scientifique spécialisée, sont restées cependant mentionnées dans notre petit opuscule de 1989 ; et cet opuscule devenu célèbre a été l'élément déclencheur d'un grand colloque international à l'UNESCO où nous avons pu inviter les spécialistes mondiaux de l'anthropologie de l'alimentation et faire le point sur les principaux problèmes scientifiques dans les volumes publiés qui ont suivi, notamment l'édition en français de 1996, en deux volumes http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers09-03/010009721.pdf.

Je ne tenterai pas de résumer les contenus de ces ouvrages auxquels j'ai consacré plusieurs années pour arriver aux versions définitives, avec les co-éditeurs : Malcolm Hadley, du Département de l'Environnement de l'UNESCO ; Annette Hladik, mon épouse, qui a effectué les travaux de botanique relatifs aux plantes comestibles, notamment sur les ignames ; Hélène Pagezy, décédée depuis et qui avait suivi les Pygmées et autres populations forestières du Zaïre ; Olga Linares, également décédée récemment, qui a établi les contacts et les échanges indispensables avec les anthropologues les plus connus du monde anglophone dont elle comprenait bien les approches différentes de celles du monde francophone ; Georges Koppert, actuellement expert sur des grands projets d'aménagement en Afrique et qui a supervisé la plus importante partie des mesures de l'alimentation que nous avons réalisées en Afrique ; et enfin Alain Froment dont la présence sur les terrains d'étude était particulièrement appréciée et qui a rédigé les chapitres de synthèses reliant la biologie à la culture.



Parmi les travaux de notre unité de recherche, les volumes publiés à l'UNESCO.

Si ces travaux sur l'alimentation humaine ne peuvent pas se résumer en quelques pages, j'en présenterai néanmoins les aspects que je connais le mieux pour avoir pleinement participé aux recherches sur le terrain. Ils concernent notamment des groupes de Pygmées dont on a pu dire que leur système d'utilisation des ressources pourrait correspondre à ceux des premiers hommes ayant vécu dans ces régions équatoriales et tropicales d'Afrique, bien que cette thèse soit encore l'objet de débats entre spécialistes.

De toutes façons, les Pygmées sont des humains actuels, avec un passé évolutif aussi long que celui de tous les autres hommes. Les connaissances des Pygmées Aka ont pu être répertoriées sur une encyclopédie en onze volumes dont nos collègues, avec Jacqueline Thomas, Serge Bahuchet et Alain Epelboin, viennent tout juste de terminer la rédaction, commencée en 1981, en utilisant l'alphabet phonétique pour fixer par écrit les contenus techniques et symboliques de cette civilisation orale. Compte tenu de la complexité des forêts denses équatoriales et tropicales dont ils utilisent les milliers de végétaux, il me semble que leurs connaissances sont aussi importantes, en volume, que celle d'un bon informaticien vivant dans des régions beaucoup plus septentrionales !

Ceci étant dit, on ne saurait cacher les tentations de certains auteurs des siècles passés de trouver en ces habitants de la forêt le chaînon manquant entre les primates non humains et les autres. D'un point de vue biologique, il n'y a aucun doute sur le fait que l'être humain fait partie des mammifères et que ses adaptations, bien que particulières à son espèce, se situent parmi celles des lignées de primates dont l'homme actuel ne s'est séparé que depuis 200.000 ans. La dichotomie entre l'humain et l'animal — que les philosophes ont présenté comme une des caractéristiques de la conscience —, peut toujours être considérée comme le plus grand saut dans l'évolution des espèces, en dépit des récentes découvertes sur les primates anthropoïdes qui ont considérablement réduit leurs différences avec les humains.

La réduction de ces différences entre l'homme et l'animal, portant notamment sur la perception de la conscience d'autrui, avec le fait qu'un chimpanzé puisse prévoir les réactions d'un animal de son groupe et collaborer à un objectif collectif — par exemple pour capturer un petit singe pour en partager la viande — ont considérablement changé notre perception de ces êtres sensibles. Mais ce ne sont pas les humains qui, pour cela, seraient considérés comme plus proche de l'animalité. Les différences qui se sont réduites ont permis de mieux comprendre la singularité de nos cousins les grands singes anthropoïdes sans pour cela en faire les modèles de base des sociétés humaines.

Dans les forêts du bassin du Congo, avec les Pygmées

La composition du régime alimentaire des Pygmées a toujours été une sorte de mystère. Ce sont des chasseurs de la forêt, capables notamment de rabattre dans leurs filets tressés avec la fibre de la liane du genre *Manniophyton*, les petits céphalophes bleus, *Philantomba monticola*, qui étaient quasiment aussi nombreux que des lapins, avant que les chasseurs venus des villes voisines ne prélèvent une partie excessive de ces gibiers. C'est d'ailleurs souvent en prêtant un fusil avec une seule cartouche à des Pygmées que les cultivateurs locaux se procurent ce gibier devenu trop rare dans les pièges à détente qu'ils tendent le long d'un cheminement parcouru tous les deux jours, avant que le gibier pris au collet ne se détériore.

Pour caractériser le régime alimentaire des Pygmées Baka qui vivent au nord du Gabon, dans cette vaste forêt dense qui s'étend vers la Centrafrique et sur la plus grande partie du bassin du Congo, j'avais envisagé de les suivre lorsqu'ils allaient établir leur campement suffisamment loin pour ne plus dépendre, pour leur approvisionnement, des ressources des villages gabonais où ils échangent leurs gibiers capturés contre du manioc ou des bananes plantains. Je les ai effectivement accompagnés sans problème car ils sont toujours très accueillants. Nous avons auparavant fait avec eux des échanges de cadeaux, les plus traditionnels étant toujours le tabac et le sel ; et nous avons, bien entendu, satisfait à cette quasi-obligation qui ne contribue certes pas à améliorer leur état de santé.

J'avais donc, au cours des années 1970, interrompu pendant quelques jours mes observations sur les primates non humains pour accompagner un petit groupe de Pygmées Baka qui vivaient pas trop loin de Makokou, en emportant avec moi une tente et des provisions alimentaires — les classiques sardines à l'huile et les biscuits — afin d'être moi-même totalement indépendant des Pygmées tout en conservant le contact. Dans leur campement, je notais tout ce qui était consommé, sans toutefois faire intervenir les pesées sur une balance qui ont constitué, par la suite, la base rigoureuse de la détermination des régimes alimentaires.

La réputation des Pygmées de grands amateurs de viande de chasse n'est pas surfaite, et j'ai pu voir notamment des enfants encore jeunes rapporter au campement un grand varan, *Varanus niloticus*, qu'il ont immédiatement dépecé pour en rôtir la viande à la flamme et s'en régaler aussitôt, alors que la viande des gibiers capturés par les adultes, notamment celle des grandes antilopes, était toujours partagée au sein du groupe. Toutefois mon objectif était essentiellement d'observer comment les Pygmées se procurent, en forêt, les aliments glucidiques de base, car le manioc ou les bananes plantains qu'ils consomment — comme tous les autres habitants de cette région forestière du Gabon — sont généralement obtenus en les échangeant contre du gibier avec les cultivateurs des villages.



Vue prise en 1971, dans un campement de chasse des Pygmées Baka vivant au nord du Gabon. Les petits gibiers capturés par des enfants — ici un varan, *Varanus niloticus* —, sont immédiatement dépecés et rôtis pour être consommés sur place, en dehors du système de partage de la nourriture qui s'applique au gros gibier généralement pris par les hommes adultes et aux aliments de cueillette, fruits, feuilles et tubercules que les femmes récoltent aux alentours du campement.

Ma tournée en forêt avec les Pygmées Baka fut, hélas, de très courte durée, et je n'ai pas pu observer beaucoup de ces produits de cueillette, notamment les ignames sauvages, qui auraient pu constituer la base d'une alimentation à partir des ressources forestières. En effet les femmes avaient pris soin d'emporter une provision de manioc suffisante pour les quelques jours qu'elles prévoyaient de passer en forêt ; et le signal du retour a été donné dès que cette provision d'aliments glucidiques a été épuisée !

Ce ne fut que trente ans plus tard que j'ai découvert ce qu'était une alimentation exclusivement basée sur les ressources de la forêt, décrite par un chercheur japonais, Hirokazu Yasuoka, que nous avons rencontré à Kyoto où nous présentions nos travaux sur les ressources de la forêt. Son travail de terrain nous a beaucoup intéressés, Annette et moi, car Yasuoka est actuellement le seul scientifique qui a mesuré la nourriture de Pygmées vivant exclusivement sur des ressources de la forêt pendant plusieurs mois d'affilée. C'est une possibilité qui avait été mise en doute par plusieurs anthropologues américains qui croyaient que l'on ne pouvait pas trouver sur place suffisamment de glucides — les sucres lents de l'amidon des tubercules — qui auraient permis à ces peuples d'être les premiers habitants de la forêt.

La remarquable étude de Yasuoka, publiée en 2006 dans la revue scientifique *Human Ecology*, <<http://link.springer.com/article/10.1007/s10745-006-9017-1#page-1>> nous montre comment un groupe d'une centaine de Pygmées a quitté le village pour aller établir les campements en pleine forêt, par petits groupes familiaux dispersés et pour y demeurer plusieurs mois et n'y vivre que de chasse et de cueillette. C'est, pour eux, une pratique traditionnelle très valorisée, nommée *Molongo*. Au cours de ce séjour, ils ont consommé un total de 2.933 kg (presque 3 tonnes en poids frais) de viande de divers gibiers — incluant un petit éléphant, trois chimpanzés, deux bongos, une panthère, de nombreux céphalophes, ainsi qu'un seul varan — et, en ce qui concerne les ressources végétales consommées, la plus grande partie provenait des 4.520 kg (plus de 4 tonnes et demi, en poids frais) d'une igname sauvage, *Dioscorea praehensilis*, localement la plus abondante. Le miel des abeilles sauvages (146 Kg) était particulièrement apprécié, ainsi que des fruits, des champignons et des chenilles en moindre quantité car leur saison d'abondance était déjà passée.

On imagine bien, ayant travaillé nous mêmes dans des équipes chargées de peser l'ensemble des aliment consommés localement, dans une famille ou dans un village, tout le travail logistique impliqué par cette étude qui s'effectue après avoir constitué des équipes locales et formé des peseurs chargés d'identifier chaque animal et tous les produits végétaux rapportés, pour les peser avant leur consommation, dans chacun des campements. Nous connaissons aussi la rigueur des travaux de nos collègues japonais dont nous avons rencontré, à Kyoto, les initiateurs de cette étude. Ils ont un grand respect pour les peuples de la forêt et ils furent aussi les premiers scientifiques à considérer les primates non humains en tant qu'individus ayant une trajectoire de vie personnelle et des liens d'attachement, alors que les scientifiques occidentaux restèrent longtemps focalisés sur les comportements déterminés par la hiérarchie et les conflits au sein des groupes, ce que je n'ai jamais cru être un principe de base pour la cohésion de la plupart des sociétés de primates incluant celles des humains.

Les ignames et les premiers humains

En tenant compte des résultats des comptages des plantes réalisés dans les forêts du Gabon et de Centrafrique, nous pouvons affirmer avec certitude que l'homme peut vivre — et a probablement vécu par le passé — sur les seules ressources d'une forêt suffisamment diversifiée pour que les cycles saisonniers fasse émerger successivement les formes comestibles : les fruits, bien évidemment, mais aussi les tubercules ou les racines tubérisées qui constituent des réserves enfouies près de la surface du sol. Ce sont ces ressources, en particulier les nombreuses espèces d'ignames sauvages qui peuvent expliquer comment les premiers humains ont pu se nourrir en complétant les apports caloriques que la viande du gibier ne suffisait pas à leur procurer. C'est dans ce sens que l'igname peut être considérée comme notre mère à tous.

Le régime alimentaire des premiers humains dont les paléontologues ont découvert les restes fossilisés en Afrique est encore l'objet de débats contradictoires auxquels nous participons dans les publications scientifiques. Cette alimentation dépendait nécessairement des ressources naturelles disponibles qui ont varié au cours des centaines de millénaires passés, en fonction de changements climatiques provoquant des avancées et des retraits de la forêt sur d'immenses régions. Les inventaires des espèces actuelles permettent cependant de savoir ce qui était présent au cours des derniers millénaires ; et c'est pour cela qu'Annette Hladik a entrepris une recherche sur les ignames <http://www.researchgate.net/profile/Annette_Hladik/publication/32971532_Les_ignames_spontanes_des_forts_denses_africaines_plantes_tubercules_comestibles/links/53f9f08a0cf2e3cbf5606ef6.pdf> et sur les autres espèces produisant des tubercules, dans laquelle je fus évidemment impliqué avec Edmond Dounias et plusieurs autres collègues de l'équipe d'anthropologie alimentaire.

Ce furent en particulier nos observations, au cours des années 1980-90, sur les ignames de la forêt des environs de Makokou, au Gabon, — ainsi qu'en Centrafrique et au Cameroun — qui ont permis à Annette de mettre en évidence la présence d'au moins 15 espèces d'ignames forestières du genre *Dioscorea*, dont certaines restent encore répertoriées sous leur nom vernaculaire — en phonétique dans la langue des différents groupes de Pygmées — dans nos ouvrages de référence publiés par l'UNESCO... Car la création d'un nouveau nom latin pour une espèce végétale non encore décrite nécessite des critères autres que la simple morphologie d'un tubercule. Et ces espèces produisent des tubercules qui deviennent comestibles tour à tour au cours du cycle des saisons sèches / saisons humides, constituant dans la forêt une réserve alimentaire constamment renouvelée.



Les différentes espèces d'ignames de la forêt sont toutes comestibles et certaines peuvent être consommée à l'état cru. Le long tubercule de *Dioscorea praehensilis* (à gauche) est déterré en creusant profondément mais sa grande abondance permet un approvisionnement régulier. En revanche, l'une des espèces sauvages d'ignames qui poussent en dehors de la forêt (mais parfois en lisière), *Diocorea dumetorum* (à droite), est très toxique. Elle a déjà provoqué des empoisonnements mortels chez des utilisateurs qui ne savaient pas la reconnaître à cause de sa ressemblance avec une forme cultivée non toxique.

Par la suite, au cours de nombreuses missions au Gabon et en Centrafrique — où le coût du transport par avion était alors assez faible pour permettre d'effectuer des séjours relativement brefs plusieurs fois dans l'année — nous avons pu suivre les cycles des différentes espèces et inventorier différentes parties de la forêt par des méthodes aussi basiques que le transect en ligne droite le long duquel on compte toutes les tiges d'ignames présentes sur une bande de terrain ne dépassant pas un mètre sur chaque côté. Car ces tiges d'ignames sont extrêmement fines et difficiles à repérer. Leur feuillage est invisible car il se développe en haut des arbres sur lesquelles elles s'appuient, comme toutes les autres lianes.

En fait ces tubercules d'ignames représentent une façon pour la plante de constituer des réserves, comme pour les pommes de terre ou d'autres plantes des régions tempérées qui traversent les hivers sous cette forme tubérisée. Dans les forêts tropicales où ces espèces se sont diversifiées, le tubercule est également une

forme d'attente des conditions favorables permettant un développement rapide d'une tige de liane qui ne peut fleurir et produire des fruits — dont les graines seront dispersées par le vent — qu'au sommet des grands arbres où la lumière est intense. Les conditions favorables à cette reproduction des ignames sont, par exemple la chute d'un vieil arbre qui ouvre un puits de lumière dans la forêt ; mais en attendant le tubercule d'igname grossit lentement avec seulement quelques feuilles qui captent la faible lumière du sous-bois.

Au départ, ce sont les Pygmées Aka de Centrafrique qui nous ont montré ces fines tiges des ignames et qui les nommaient dans leur langue, en fonction de petites différences de forme ou de couleur. Nous déterrions les tubercules en suivant le trajet de la tige et c'était surprenant de découvrir parfois un énorme légume blanc de plusieurs kilos à quelques dizaines de centimètres sous terre... Mais il fallait souvent creuser beaucoup plus profond en suivant la fine tige qui s'enfonçait sous la terre. Cependant, au cours d'une seule journée de cette étude, nous avons déterré suffisamment de tubercules, incluant ceux du *Dioscoreophyllum cumminsii*, pour préparer un délicieux plat de légumes à consommer par tous les membres de l'équipe après ce dur labeur sur le terrain.

Cette expertise des Pygmées dans la reconnaissance de fines tiges d'ignames sauvages, nous l'avons acquise après quelques jours à travailler sous leur conduite. Nous avons pu ainsi déterminer les quantités disponibles de tubercules comestibles en fonction des résultats de nos études des cycles végétatifs et des mesures de la production de ces ressources forestières accessibles aux humains, réalisées au Gabon et en Centrafrique et publiées en français d'abord <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00387588/document>> puis discutées en anglais pour leur signification dans les théories sur l'évolution du genre humain. Ce sont ces documents, incluant les résultats des analyses de nos échantillons de tubercules, qui ont été lus et qui ont servi de base à l'étude approfondie de Hirokazu Yasuoka (présentée dans les pages qui précèdent) sur l'utilisation de ces ressources par les Pygmées.

De fait, il y a en moyenne, sur une surface équivalente à celle du territoire utilisé par un groupe de Pygmées, plus de 5 tonnes de tubercules, constamment disponibles et renouvelés dans le sol superficiel des forêts du Bassin du Congo. Il n'est donc pas étonnant que les Pygmées suivis par Yasuoka aient pu consommer, au cours de leur séjour de plusieurs mois en forêt, en moyenne par individu, plus de 68 kilos de tubercules, alors que le gibier ne dépassait pas les 45 kg de viande par individu au cours de cette même période. Les apports en énergie par ces différentes fractions de l'alimentation — calculés par Yasuoka en tenant compte des méthodes de préparation et de cuisson — ont varié entre 450 et 600 kilocalories par personne et par jour pour la viande des gibiers, alors que les ignames ont apporté plus de 1500 kilocalories, auxquelles se sont ajoutés les apports par quelques autres plantes et par le miel des abeilles sauvages.



Une espèce de la forêt autre que les ignames, *Dioscoreophyllum cumminsii*, qui produit des tubercules comestibles particulièrement faciles à déterrer car proches de la surface du sol. Les fruits de cette petite liane sont également comestibles et de goût très sucré ; mais ce goût très intense leur est communiqué par une protéine mimant le goût des sucres tel qu'il est perçu par des primates, dont l'homme.

On remarque que ce calcul des apports caloriques quotidiens provenant d'un milieu forestier non transformé par l'homme correspond aux recommandations actuelles, variables selon les experts, mais qui incluent toujours au moins 50 à 60 % des calories provenant d'aliments glucidiques. En définitive, les Pygmées ne semblent pas consommer la viande de façon excessive. Mais ce sont les matières grasses qui constituent généralement les apports caloriques des viandes consommées dans d'autres régions du monde, alors que les gibiers africains sont essentiellement des viandes maigres.

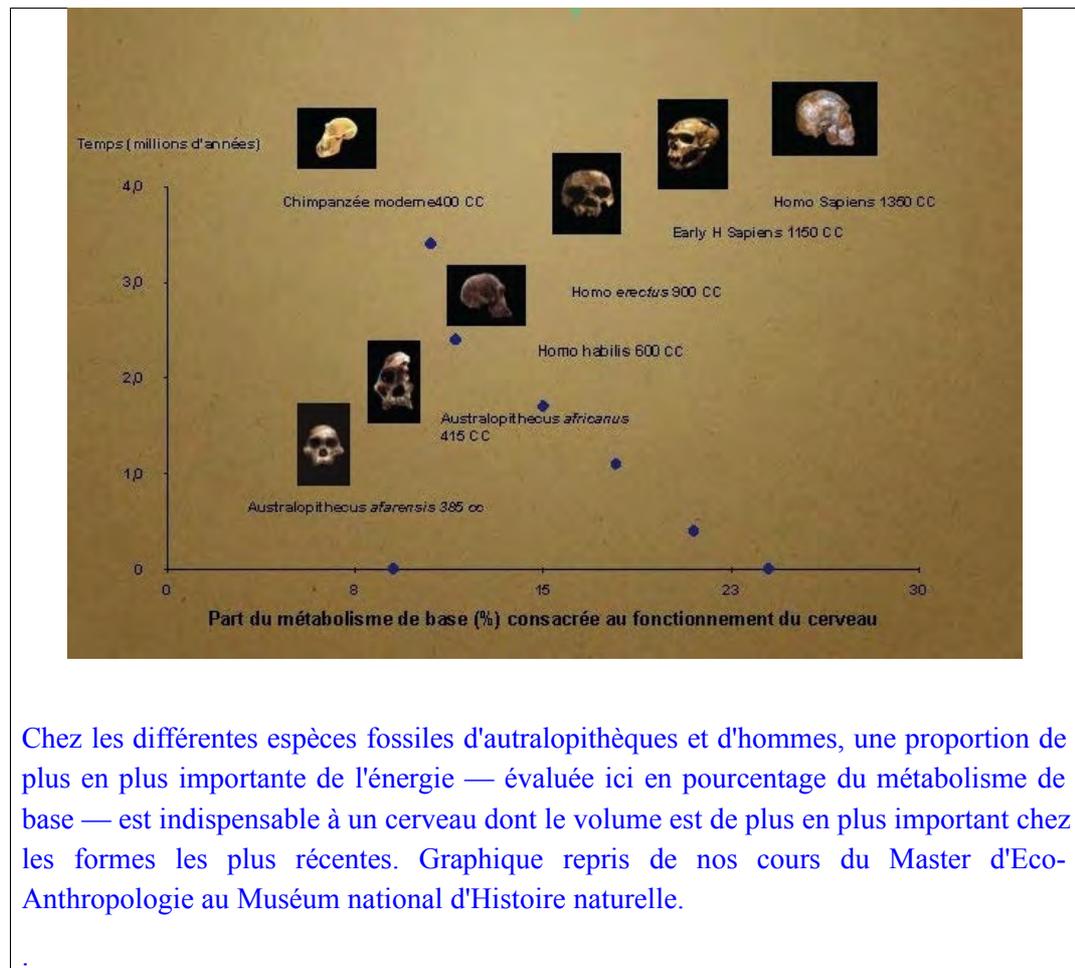
Cette remarque à propos des Pygmées nous conduit vers les différentes théories relatives à l'alimentation des premiers humains, notamment aux travaux de John Speth, publiés entre 1980 et 2000. Cet auteur a montré qu'un régime alimentaire basé sur la viande ne pouvait convenir que si la proportion de graisse était assez importante pour apporter la plus grande partie des calories, sinon l'alimentation hyperprotéique devient toxique. Et au cours des périodes étudiées par des archéologues, on observe que ce sont toujours les parties les plus grasses des animaux qui ont été consommées, notamment la moelle des os longs dont on retrouve les restes brisés d'un coup de pierre pour accéder à cette délicate partie centrale

C'est surtout Richard Wrangham, notre collègue primatologue et anthropologue qui, lorsqu'il fut invité à Paris au Muséum national d'Histoire naturelle, nous a démontré la nécessité pour les premiers humains du continent africain d'obtenir suffisamment de calories pour les besoins accrus d'un cerveau dont la taille ne cessait de s'accroître... et cela avec une mandibule qui se réduisait à mesure des changements morphologiques du genre *Homo*, à tel point qu'il lui aurait fallu mastiquer la plupart des aliments crus disponibles (y compris la viande) pendant plus de 24 heures pour pouvoir assimiler suffisamment de nutriments !

Dans les articles scientifiques et les ouvrages qu'il a écrits, Richard Wrangham a ainsi démontré la nécessité d'utiliser des aliments dont la cuisson modifie la structure et augmente la digestibilité <<http://primatologie.revues.org/457>> il fait donc remonter les premières utilisations d'un feu maîtrisé par des humains — qui n'étaient pas l'espèce *Homo sapiens* — à près de deux millions d'années, une époque beaucoup plus lointaine que ce qui est généralement admis par la plupart des paléontologues. Ceux-ci ne manquent jamais de critiquer R. Wrangham car, pour eux, seules les traces d'un foyer ayant assez duré pour laisser au sol une marque bien nette de terre cuite permettent de dater le début de la cuisson des aliments par des humains vivant il y a environ 500.000 ans. Ils n'ont visiblement jamais vu un campement de Pygmées qui peuvent cuire leurs aliments sur des braises, enveloppés dans des feuilles et dont la trace des feux s'efface rapidement après l'abandon du campement. Et je trouve remarquable que Richard Wrangham ait pu retrouver, avec des paléontologues, des charbons de bois accompagnant des fossiles d'*Homo habilis* datant de 1,6 millions d'années, car ces traces sont forcément extrêmement rares.

D'autres critiques lui ont été adressées mais l'argument principal de Wrangham concerne la nécessité d'obtenir suffisamment d'énergie avec une mâchoire de taille réduite. Et l'accès à un feu qu'on observe en forêt lorsque la foudre s'abat sur certains arbres ainsi que l'utilisation par des chimpanzés de graines cuites après un incendie, permet de croire qu'un humain, même le plus primitif, pouvait aussi accéder à une certaine façon d'améliorer son alimentation par le feu. Car tous les tubercules riches en amidon dont on ne peut douter qu'ils

ont été rapidement repérés par nos ancêtres les plus lointains acquièrent après cuisson — outre leur plus grande digestibilité — une valeur calorique double de celle d'un tubercule cru. Cette valeur calorique doublée par la cuisson correspond à la transformation de l'amidon dont les longues chaînes moléculaires se scindent en petites unités, comme dans la gelée transparente d'un empois d'amidon.



Chez les différentes espèces fossiles d'australopithèques et d'hommes, une proportion de plus en plus importante de l'énergie — évaluée ici en pourcentage du métabolisme de base — est indispensable à un cerveau dont le volume est de plus en plus important chez les formes les plus récentes. Graphique repris de nos cours du Master d'Eco-Anthropologie au Muséum national d'Histoire naturelle.

L'igname a donc été — vraisemblablement et avec d'autres végétaux produisant des tubercules ou des racines tubérisées — un aliment essentiel pour procurer suffisamment de calories à un être du genre *Homo* dont le cerveau nécessite d'autant plus d'énergie que son volume augmente. Elle lui a permis d'atteindre la sophistication culturelle accompagnant les repas collectifs partagés dont la cuisson rendait le goût inoubliable. Elle est, de façon métaphorique, notre mère à tous.

L'alimentation des peuples africains aux limites de la forêt

Si les forêts africaines ont constitué — et constituent encore — un milieu où la nourriture est suffisamment abondante pour permettre à des humains de subsister, la densité des populations de chasseurs/cueilleurs y reste nécessairement très faible. Dans le cas des Pygmées Baka suivis par Yasuoka il n'y avait qu'une densité de 0,14 personne par kilomètre carré sur le vaste domaine forestier où ils établissaient leurs campements. Nous savons bien que l'agriculture a permis, en différents lieux et à différentes époques, d'augmenter considérablement les densités de la population humaine ; et la région forestière du Bassin du Congo n'échappe pas à ce principe, même si la densité moyenne y reste très faible.

La population Ngbaka, qui vit sur les lisières de forêt au sud de la Centrafrique, en contact avec les Pygmées Aka, nous a donné l'occasion d'établir des liens de confiance avec les habitants de plusieurs villages et d'effectuer une étude des ressources alimentaires au cours des années 1980-90. — Remarquons au passage que, au cours de cette période d'études dans la forêt centrafricaine, nous étions quasiment obligés de faire des faux en écriture, tapés sur une vieille machine à écrire analogue à celles de l'administration centrafricaine. Sans cela, pas moyen d'obtenir un ordre de mission pour lequel un document justificatif s'obtenait à Bangui, au cours d'une première mission ; mais avec quel ordre de mission y serait-on allé ? De la même façon au retour des missions, les documents authentiques correspondant parfaitement à nos dépenses étaient très mal perçus par notre administration pour laquelle, en désespoir de cause, nous avons établi d'authentiques faux ; et lorsque je suis resté, pour un temps et par nécessité, le seul responsable de notre unité de recherche, j'ai reçu d'un administrateur des félicitations pour ces « documents qui étaient enfin parfaitement en ordre ». Bien que ces contrôles soient indispensables à l'organisation de la recherche scientifique, leur logique n'échappe pas seulement à l'administration indienne, célèbre pour ses tracasseries et qui ne pouvait pas comprendre mes tout premiers projets de recherche scientifique !

Pour revenir en Centrafrique, disons que les Ngbaka sont des cultivateurs de bananiers plantains, d'ignames et de manioc, mais aussi de grands amateurs de gibier qu'ils peuvent troquer contre les produits de leurs cultures auprès des Pygmées, ou bien se procurer en allant eux-mêmes chasser en forêt ou en construisant des séries de pièges à collet où se prennent les petites antilopes. En fait, la plupart des plantes que les Ngbaka considèrent comme un patrimoine africain local, sont des espèces importées jadis à partir d'autres continents — un mélange hétérogène de plantes venues d'ailleurs, comme c'est le cas partout dans le monde. Le manioc, en particulier, espèce peu exigeante d'origine américaine et d'importation relativement récente, leur permet d'utiliser des terrains proches du village, dont la terre est appauvrie en éléments nutritifs par une trop longue

utilisation. Au contraire, les bananiers plantains, dont l'importation en Afrique est beaucoup plus ancienne, venus d'Asie pour la plupart sous des formes d'hybrides et dont les Ngbaka connaissent de très nombreuses variétés, sont beaucoup plus exigeants. Ils sont plantés sur les sols riches des premiers abattis de la forêt, les plus éloignés du village. Les ignames cultivées localement ne sont pas, quant à elles, celles que les Pygmées récoltent et consomment dans la forêt — car ce serait très mal considéré par les Ngbaka que de manger ces plantes sauvages « bonnes pour des Pygmées ». Et ce sont également des cultivars pour la plupart importés jadis d'Asie, notamment *Dioscorea alata*, qui sont consommés. Ainsi dans chaque village on trouve plusieurs variétés d'ignames, parfois avec des noms qui changent d'un endroit à l'autre et avec un rendement très supérieur à celui des espèces sauvages. La collecte d'échantillons de ces ignames cultivées a été l'occasion de constituer une collection vivante des cultivars utilisés, regroupés à l'Institut de Mbaïki où des collaborateurs centrafricains assuraient le suivi des cycles de tubérisation.



Une récolte d'ignames cultivées par les Ngbaka de Centrafrique comprend des espèces et variétés issues des formes forestières locales auxquelles s'ajoutent des cultivars de *Dioscorea alata*, une espèce jadis importée depuis l'Asie.

L'étude locale de la production alimentaire impliquait de mesurer les parcelles cultivées et d'en inventorier le contenu. A cette époque où il fallait un récepteur sophistiqué et beaucoup de temps pour détecter les signaux émis par les satellites permettant de préciser les coordonnées géographiques, nous en étions toujours à l'utilisation de la boussole et du Topofil — un fil que l'on déroule pour mesurer une longueur — pour calculer les surfaces des parcelles en additionnant de petits triangles mesurés un à un. Ces parcelles ne dépassent que rarement un demi-hectare — voire un quart d'hectare —, ce qui peut être défriché par quelques hommes à la saison sèche en abattant les arbres qui seront brûlés, au moins partiellement, et dont le bois mort pourra être ultérieurement transporté au village pour alimenter les foyers des cuisines.

Chacune des parcelles cultivées contient toujours une grande diversité d'espèces, à côté des plantes dominantes — bananiers ou manioc —, incluant du maïs et des brèdes, les diverses plantes dont on consomme le feuillage cuit comme des épinards. Cette manière de cultiver les plantes en mélange a longtemps été considérée comme trop « primitive » par les agronomes occidentaux ; mais il est réjouissant de constater le revirement actuel des attitudes par rapport aux normes d'il y a un demi-siècle parmi les spécialistes, notamment pour certains jeunes chercheurs agro-écologues de l'INRA (l'Institut National de la Recherche Agronomique) qui ont constaté que les mélanges d'espèces sont souvent plus rentables que les monocultures. De plus ces cultures mixtes diversifiées atténuent les risques d'invasions par des parasites qui n'attaquent généralement qu'une seule espèce.

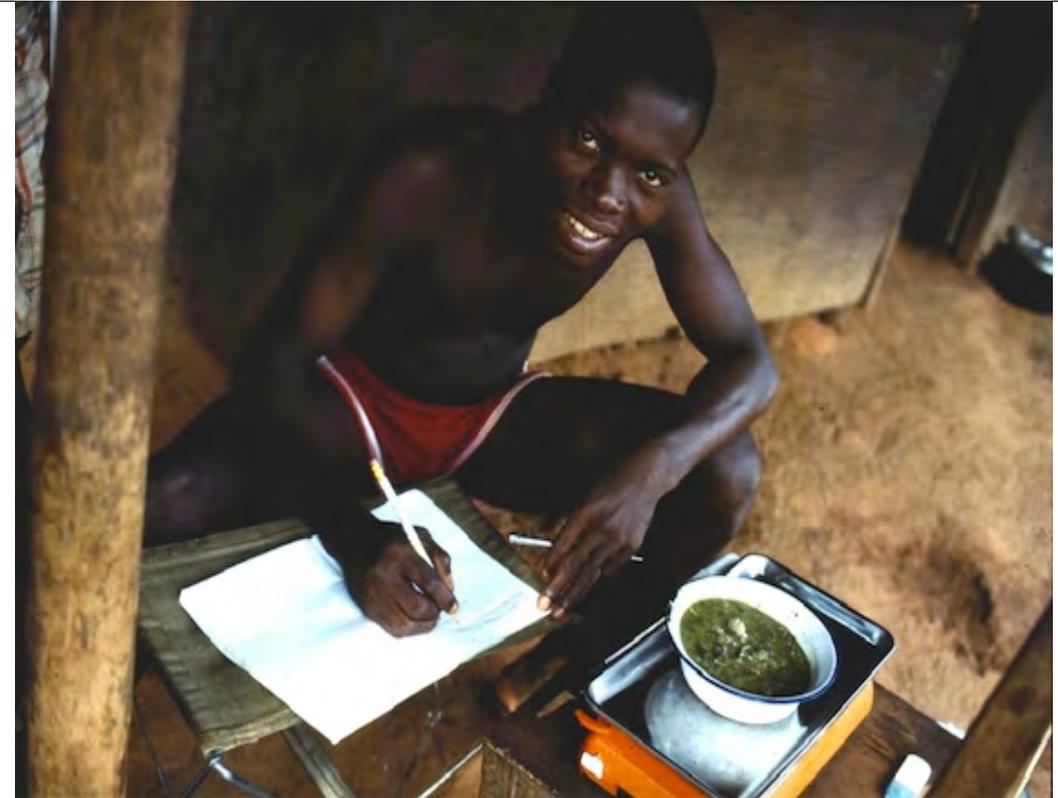
La consommation de ces ressources alimentaires dans un village Ngbaka de Centrafrique a été mesurée par différentes méthodes allant d'une évaluation globale au niveau du village jusqu'au niveau des prises alimentaires individuelles au cours des repas. Ces recherches qui, reconnaissons-le, sont particulièrement envahissantes pour les personnes qui nous reçoivent chez eux, avaient été préalablement l'objet d'une présentation et de discussions pour aboutir à un consensus, au cours d'une assemblée avec le chef du village. Il fallait nécessairement proposer des compensations, en fonction du budget de recherche dont nous disposions, en évitant que ces compensations puissent influencer sur l'alimentation — par exemple une compensation monétaire donnait la possibilité d'aller acheter des boîtes de conserves alimentaires à la boutique du village voisin, ce qui était rarement pratiqué en temps normal. Nous avons finalement convenu de distribuer du savon pour la lessive, vendu très cher dans les boutiques locales, à toutes les familles du village qui ont jugé que cela compensait les inconvénients de notre présence et de nos études sur place. Ainsi nous arrivions toujours au village où nous étions fort bien accueillis avec plusieurs caisses de gros savons de Marseille achetées à Bangui — dont la facture en bonne et dûe forme s'ajoutait à nos frais de mission — et chargées sur la Land Rover qui venait de supporter les creux d'une piste particulièrement difficile.



En 1983, la pesée des paniers à l'entrée du village — par notre unité de recherches sur l'anthropologie de l'alimentation — a permis de connaître les quantités des différents produits alimentaires que les femmes ramènent des plantations, mais également les quantités de bois utilisés pour la cuisson des aliments.

Pour mesurer la production globale au niveau du village, nous avons convenu de peser tous les paniers de transport portés par les femmes qui arrivaient des plantations et de la forêt par une unique piste pédestre. Non seulement les régimes de bananes plantains, les ignames et le manioc, ainsi que les noix de palme — mais plus difficilement le gibier que les chasseurs ne veulent pas montrer — étaient pesés par nos deux employés locaux, mais également tout le bois utilisé comme combustible pour la cuisine a pu être pesé. Il était intéressant, alors que l'on savait que ce combustible manquait dans les régions plus sèches de l'Afrique tropicale, d'avoir la mesure d'un optimum de disponibilité en bois de chauffe dans un lieu où il n'y a aucune limitation, si ce n'est le transport sur quelques kilomètres dans le panier chargé sur le dos des femmes revenant de leur plantation. Par exemple, il pouvait arriver chaque jour au village environ 250 kg de bois sec alors que les aliments pesés — manioc, taro, banane, igname, brèdes diverses — ne dépassaient pas, au total, les 100 kg, auxquels nous devons cependant ajouter, au moment de cette étude (mai 1983), près de 200 kg de noix de palme dont l'huile était extraite et mise en réserve pour l'alimentation au cours de cette période de grande récolte.

Il était beaucoup plus délicat de faire peser, sur une petite balance de ménage, tous les ingrédients qui entraient dans la composition du repas quotidien d'une famille, un travail réalisé par un jeune revenu au village au cours de ses vacances. Il enregistrerait toutes les mesures sur un cahier à partir duquel nous avons pu calculer les rations alimentaires moyennes. Ce fut le début de nos études par pesée directe de l'alimentation des populations forestières.



Pour notre étude de l'alimentation dans un village Ngbaka, un étudiant revenu en vacances dans son village d'origine effectue les pesées de la nourriture. Il s'agit ici d'une portion de champignons en sauce, préparée la veille pour le repas collectif et dont une partie est réchauffée et consommée le matin avant le départ vers les plantations.

Toutefois la consommation du repas qui consistait généralement en tubercules ou en bananes plantains cuites avec une sauce enrichie en huile de palme et avec des morceaux de viande (plus rarement du poisson de rivière) nous a posé le difficile problème de l'alimentation consommée individuellement lorsque chacun puisait à tour de rôle dans un délicieux plat collectif. Car chez la plupart des groupes ethniques où nous avons, par la suite, effectué des mesures de la consommation alimentaire, chacun reçoit une part dans son assiette ; et — même si les enfants et les femmes peuvent manger séparément —, la part attribuée aux hommes adultes reflète nécessairement leur statut social, notamment lorsqu'on leur attribue les meilleurs morceaux de viande, les aliments les plus prestigieux.

Au contraire, lorsque le plat commun est consommé par une famille Nbgaka réunie en fin de journée, chacun puise à la main et consomme les aliments sans qu'il y ait une limitation, en particulier pour les enfants. Chacun mange selon ses besoins ou ses envies et nous avons observé que cette absence de limitation profite aux enfants en cours de croissance pour lesquels les protéines d'origine animale sont plus nécessaires qu'aux adultes qui doivent essentiellement compenser leurs dépenses énergétiques en consommant suffisamment d'aliments glucidiques.

Comment avons-nous obtenu les mesures de ces consommations individuelles qui permettent de faire disparaître — ou de limiter — l'influence du statut social sur la répartition des aliments ? Cela fut une petite aventure lorsque j'ai proposé d'acheter, sur nos crédits du CNRS, une balance électronique de précision que nous pouvions connecter à l'un des premiers mini-ordinateurs dont nous disposions. Car il fallait également transporter un groupe électrogène pour faire fonctionner l'ensemble du système. Tout cela n'avait rien de discret et il fallait rendre l'opération de mesure suffisamment banale, pour une des familles qui avait accepté la procédure, en la répétant régulièrement.

La balance électronique — quasi identique à celles des caisses des supermarchés actuels mais qui, à l'époque, était un instrument scientifique de précision, très cher et permettant de peser à un gramme près sur 30 kg — était disposée dans une caisse métallique (une « cantine ») soigneusement protégée de l'humidité par une feuille mince de polyvinyle, ce qui permettait de poser à travers un orifice, le support du plat collectif dont le poids variait au fur et à mesure des consommations par les participants au repas. Le système informatique, également protégé de la grande humidité ambiante dans un emballage souple et transparent permettait d'enregistrer le poids avant et après chacune des prises d'aliment par l'un des participants <<http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00547677>>. Les poids des aliments pris et leur nature, calculés automatiquement au gramme près, étaient enregistrés dans les mémoires correspondant à chacun des participants, par notre opérateur, un technicien venu avec nous du centre ORSTOM de Bangui.

Les résultats obtenus, sur une courte période, par ce système particulièrement envahissant, ont permis de démontrer que la répartition de la nourriture entre les enfants et les adultes était optimisée lorsque le statut social des convives n'était pas apparent. Les enfants ont évidemment tendance à consommer ce qui leur semble le meilleur, en particulier les aliments protéiques dont ils ont besoin pour leur croissance. *A contrario*, ces résultats ont aussi montré l'importance du prestige attribué à certains aliments qui sont en général attribués aux adultes de sexe mâle.



Mesure de la consommation individuelle dans un plat collectif. La balance électronique est protégée dans la caisse métallique et reliée au système informatique, protégé de la forte humidité ambiante par une enveloppe plastique. Les frappes au clavier de l'opérateur permettront d'identifier le consommateur et de mesurer le poids, au gramme près, de chacune des bouchées prélevées dans le plat commun.

Pour Igor de Garine avec qui nous menions ces enquêtes sur l'alimentation, cette notion de prestige a toujours été un élément essentiel du comportement alimentaire qu'il avait mis en évidence au cours de ses recherches ethnologiques réalisées en Afrique dans des sociétés dites « traditionnelles ». Et nous en avons retrouvé la prégnance lorsque nous avons poursuivi avec lui les enquêtes d'anthropologie de l'alimentation par des méthodes rigoureuses, basées sur la pesée de tout ce qui est ingéré. Ce fut le cas en particulier au Cameroun où, après la Centrafrique, nos recherches en anthropologie alimentaire différentielle — c'était alors l'intitulé officiel de l'équipe de recherche CNRS/MNHN que nous dirigeions ensemble — ont été réalisées en coopération avec l'Institut de Nutrition de Yaoundé, dans le cadre d'un programme que le gouvernement camerounais avait demandé de réaliser dans différentes populations vivant dans les forêts tropicales ou sur leurs franges.

La grande diversité de l'alimentation humaine

C'est d'une grande évidence que les régimes alimentaires des humains actuels sont particulièrement diversifiés, si l'on compare, par exemple, les populations de l'Inde — dont beaucoup sont exclusivement végétariennes — avec les habitants du continent africain dont nous présentons ici les caractéristiques. Mais la diversité des choix alimentaires s'exprime également à une échelle beaucoup plus réduite, en comparant des groupes ethniques vivant au contact les uns des autres, dans un même environnement, comme ce fut précisément le cas de notre approche comparative des populations du Cameroun.

Dans cette étude comparative dont les détails sont publiés dans l'ouvrage de 1996 <http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers09-03/010010004.pdf> qui a suivi un grand colloque organisé à Yaoundé par nos équipes de recherche, la même technique de détermination du régime alimentaire par une pesée rigoureuse de tout ce qui est consommé a été appliquée dans les différentes populations. Cette méthode est la plus difficile à pratiquer car elle exige une importante organisation matérielle sur les différents terrains d'étude, contrairement aux enquêtes par questionnaires le plus souvent pratiquées par les nutritionnistes. Elle implique une collaboration respectueuse avec les populations, aux différents niveaux d'organisation allant des organismes officiels gouvernementaux aux chefs de village et aux familles. Pour le sud-ouest du Cameroun, nos résultats concernent l'alimentation des Pygmées Bakola, celle des Mvae qui habitent les mêmes forêts ainsi que celle des Yassa de la même région mais vivant sur la côte atlantique. Ils ont été présentés par Georges Koppert qui fut la cheville ouvrière du suivi de ces populations sur le terrain.

Georges Koppert avait alors constitué des équipes de peseurs, recrutés dans les villages où s'effectuait le suivi quantitatif de l'alimentation de plusieurs familles. Une balance de ménage était attribuée à chacun d'eux, ainsi que des cahiers où ils devaient enregistrer la nature et le poids des aliments consommés. Pour chaque plat cuisiné qui était pesé et dont la répartition entre les membres de la famille était notée, la composition avait été préalablement définie en fonction du passage sur la balance des différents ingrédients. Ces composants d'origine animale ou végétale comme les taros ou les ignames, sont généralement déjà répertoriés dans les manuels de la FAO avec les résultats de leur analyse, ce qui permet de définir la valeur nutritionnelle du mélange tel qu'il est consommé. Un échantillon des aliments moins bien connus était systématiquement collecté et séché pour déterminer sa teneur en eau et permettre d'effectuer, par la suite si cela était nécessaire, des analyses sur la matière sèche. Pour le séchage, nous utilisons la chaleur de lampes à pétrole sous un récipient métallique avec un système de terrain très simple analogue à ceux que j'avais construits pour sécher les fruits sauvages des forêts tropicales destinés aux analyses.

Pour chacun des groupes ethniques du sud-ouest Cameroun dont l'alimentation a été ainsi mesurée en 1984-1985, plusieurs villages avaient été choisis, afin de suivre au cours du cycle saisonnier 33 familles parmi les chasseurs-cueilleurs Pygmées Bakola de ces forêts pratiquants la culture du manioc à petite échelle ; 40 familles parmi les Mvae, cultivateurs de parcelles plus importantes et plus diversifiées gagnées sur la forêt ; et 40 familles Yassa, également cultivateurs de manioc établis sur la côte et pour lesquels la pêche est une activité primordiale concernant leur alimentation. Dans chacune de ces familles, toute l'alimentation était pesée et répertoriée au cours de périodes continues de 7 jours, d'abord en saison sèche, puis en fin de saison des pluies, les derniers passages étant effectués l'année suivante au début de la petite saison des pluies. Cela a constitué un total de 1947 journées de mesure de l'alimentation.

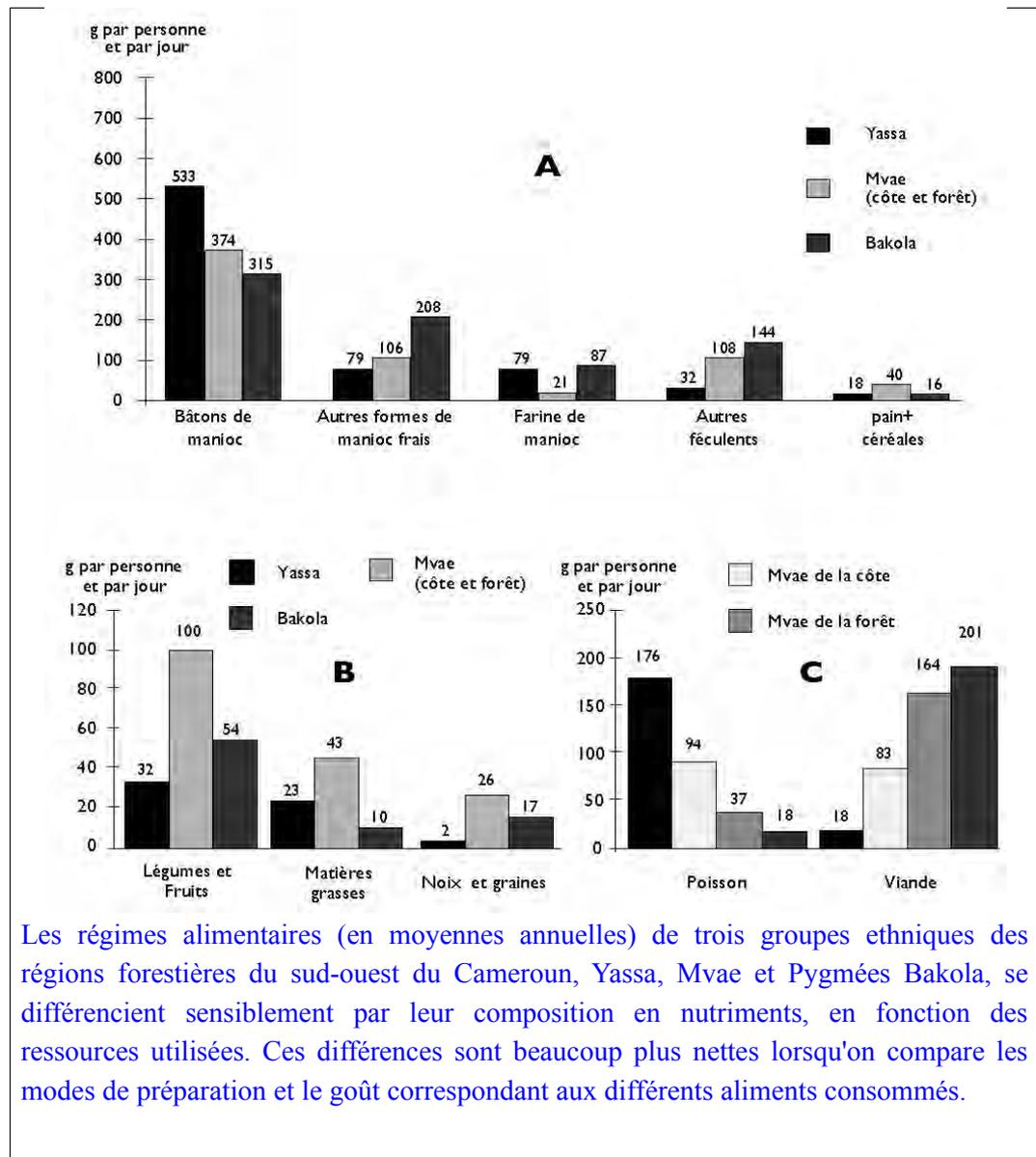


Le partage d'un plat collectif de fruits de papaye entre des enfants Mvae qui consomment une nourriture plus riche en fruits et en légumes que les autres groupes ethniques des régions forestières du sud-ouest du Cameroun dont nous avons mesuré la composition de l'alimentation.

La récapitulation informatique des résultats consignés dans les cahiers tenus par les peseurs a été une œuvre longue et délicate, réalisée par Georges Koppert. Elle a impliqué notamment la mise au point de programmes informatiques spécifiques pour suivre la répartition des aliments chez les différents membres de chaque famille dont les caractéristiques physiques avaient été préalablement mesurées. Ces études de l'alimentation ayant été poursuivies sur plusieurs années, dans plusieurs régions du Cameroun, je ne commenterai ici que

les résultats concernant les populations des régions forestières du sud-ouest du Cameroun où j'ai moi-même réalisé, en parallèle avec les mesures de la consommation alimentaire, celles des seuils de sensibilité gustative.

En ce qui concerne les Pygmées Bakola qui sont, comme tous les autres Pygmées, de grands consommateurs de viande de gibier, nous avons mesuré une consommation de 218 grammes, en moyenne par personne et par jour, ce qui correspond, en termes de macronutriments, à plus de 65 grammes de protéines. Les populations Mvae qui vivent dans les mêmes forêts et pratiquent les mêmes systèmes de chasse et de piégeage du gibier en consomment également beaucoup, en moyenne, 202 grammes et elles se différencient des autres groupes ethniques par leur utilisation des brèdes, principalement des feuilles de manioc, ce qui les fait qualifier par les autres de « mangeurs de feuilles ». Les Yassa qui pratiquent la pêche sur la côte atlantique obtiennent, en moyenne quotidienne par personne, 194 grammes d'aliments protéiques, surtout du poisson mais également un peu de gibier — le produit de leur chasse ou de leurs échanges avec les autres groupes.



Les régimes alimentaires (en moyennes annuelles) de trois groupes ethniques des régions forestières du sud-ouest du Cameroun, Yassa, Mvae et Pygmées Bakola, se différencient sensiblement par leur composition en nutriments, en fonction des ressources utilisées. Ces différences sont beaucoup plus nettes lorsqu'on compare les modes de préparation et le goût correspondant aux différents aliments consommés.

Pour toutes ces populations, il n'existait, au moment de ces études, aucun risque de carence, et c'était là l'un des objectifs de nos recherches que de présenter au gouvernement camerounais des données précises sur l'alimentation des populations des régions forestières. Toutefois cela ne reste valable que tant que le milieu forestier se maintient pour produire les aliments — les fruits et les autres produits de la cueillette ainsi que les produits de la chasse et du piégeage.

Les variations de l'alimentation entre les saisons des pluies et les saison sèches ne sont marquées que pour les groupes de Pygmées Bakola, avec une diminution de la ration énergétique vers la fin de la saison des pluies et une éventuelle perte de poids des consommateurs, rapidement compensée par les ressources obtenues au cours de la saison sèche. Car ce sont les produits cultivés sur de petites parcelles défrichées, principalement le manioc, qui constituent le principal apport énergétique, supérieur à 2000 kilocalories par jour. Les Pygmées qui ne se sont convertis que relativement récemment à ce type d'agriculture, préfèrent souvent le manioc doux, alors que les autres groupes ont adopté le manioc amer, qui résiste mieux aux insectes mais qui nécessite une détoxification de ses composés cyanurés par rouissage dans l'eau des tubercules.

Cela conduit à une utilisation de ce manioc détoxiqué et cuit selon un usage traditionnel propre à chacun des groupe et correspond à des formes d'aliments et à des goûts différents, obtenu sous des formes de bâtons ou de pâte molle qui se conservent quelques jours. Et chacun n'aime que le goût très particulier du manioc partiellement fermenté tel qu'il l'a connu depuis son enfance.

Il existe donc des différences bien caractéristiques de l'alimentation de chacun de ces trois groupes ethniques localisés sur la frange forestière du sud-ouest du Cameroun, à quelques kilomètres les uns des autres. Cependant, les différences dans l'alimentation que nous avons observées par la suite, en poursuivant les programmes de pesée des aliments sur des populations d'agriculteurs des savanes du nord-ouest du Cameroun — qui sont au moins aussi marquées lorsqu'on compare les groupes ethniques vivant au contact les uns des autres —, ont mis en évidence une bien plus grande étendue des variations possibles et des adaptations à la fois biologiques et culturelles.

C'est en particulier le cas des Koma et des Duupa, cultivateurs de mil pénicillaire et de sorgho dans les savanes du nord Cameroun où très peu d'arbres sont présents et préservés au milieu des champs. Les céréales constituent la base d'une alimentation presque totalement végétarienne qui est consommée sous la forme d'une « boule » — en fait une pâte cuite très compacte après pilage des céréales — qui est accompagnée d'une « sauce » faites de divers feuilles ou de petits fruits et légumes et incluant de la pâte d'arachide, des haricots, des gombos, et, bien sûr, des piments. Ce mélange est délicieux, toutefois il faut avaler la boule de sorgho sans la mâcher, comme cela se fait toujours, car elle contient des grains de silex provenant des mortiers de pierre dans lesquels les céréales sont pilées.



Un mélange de fruits, de petits légumes et de feuilles, parfois récoltés dans la brousse, s'ajoute à la boule de céréales cuites et constitue le complément parfaitement équilibré de l'alimentation des Koma du nord-est du Cameroun. Photo prise en 1987 sur film ektachrome 400 ASA, avec deux petits flash à lampes synchronisés, au cours des enquêtes sur l'alimentation où l'informatique n'était pas encore utilisée sur le terrain.

Les repas ont une forme très comparable entre ces deux groupes ethniques des régions sèches du nord du Cameroun ; toutefois les Duupa se différencient en ajoutant une forme de bière de mil très épaisse et riche en nutriments au cours d'un seul repas quotidien tandis que les Koma qui boivent également une bière de mil plus fluide, ajoutent régulièrement aux céréales d'autres féculents, notamment des taros, des ignames ou du manioc, consommés au cours de deux repas quotidiens. A ce menu plus diversifié peuvent être ajoutés des petits gibiers et des insectes, notamment des criquets collectés après que le feu a traversé les herbes sèches et les champs après les récoltes.

Nous avons donc accompagné ces populations aux habitudes alimentaires si diversifiées et qui ne pourraient pas envisager sans une grande répulsion de consommer les aliments des groupes voisins. Car pour les humains la perception des aliments est toujours connotée de références culturelles qui se combinent aux perceptions sensorielles des goûts, des odeurs et des textures.



Autour d'un village Koma, après le passage du feu, les criquets peuvent être ramassés dans les cendres encore chaudes. Les insectes et autres petits animaux constituent un complément qualitativement important de l'alimentation des populations Koma. Les femmes étaient vêtues de simples feuillages maintenus par une ceinture de perles.

Si les goûts et les dégoûts sont le propre de chaque être humain, ils se situent toujours dans un contexte socioculturel bien défini. La consommation d'insectes comme les criquets ou celle d'autres invertébrés — les escargots, en France — offre tout un choix d'exemples de préférences et de répugnances basées exclusivement sur le vécu de chacun dans une totale immersion sociale. C'est le cas des chenilles, consommées en grande quantité dans les régions forestières d'Afrique, et qui constituent un apport nutritionnel particulièrement intéressant pour les populations forestières.

Les chenilles comestibles

La biomasse des chenilles est directement issue de l'immense biomasse des feuillages de la forêt — car il s'agit de consommateurs primaires dans la chaîne trophique. Elle est plus importante que celles de tous les vertébrés qui ne transforment en protéines animales qu'une petite partie de la biomasse disponible pour constituer la viande des gibiers dont les chasseurs obtiennent une faible part.

Cette grande abondance des chenilles se manifeste au cours d'une période où elles sont particulièrement faciles à se procurer : lorsque qu'elles descendent le long des troncs des arbres — où elles se sont alimenté du feuillage — pour aller se métamorphoser au sol. Les papillons qui sortiront des chrysalides iront pondre sur les arbres nourriciers, notamment sur les acajous pour certains de ces lépidoptères, afin de reconstituer la prochaine génération des chenilles...Il suffit donc de les ramasser lorsqu'elles arrivent, groupées en masse, au pied des arbres.



Les chenilles les plus abondantes, parmi celles qui se nourrissent du feuillage des grands arbres de la forêt du bassin du Congo sont souvent hérissées de poils ou de piquants urticants. Elles correspondent généralement à des espèces de papillons nocturnes peu spectaculaires.

On connaît bien cette saison des chenilles dans les villages Ngbaka et chez tous les autres groupes ethniques vivant aux confins des vastes forêts du bassin du Congo ; et c'est avec joie que l'on peut y annoncer le début de cette période d'abondance, aussitôt qu'une personne a repéré les premières colonnes de chenilles descendant le long des troncs des plus grands arbres. On se prépare alors à aller établir des campements en forêt, non seulement pour se régaler des différentes espèces de chenilles grillées, en brochettes ou cuites en mélange avec des feuilles de brèdes hachées, mais surtout pour constituer des réserves de ces précieux aliments qui seront séchés et fumés afin de rester disponibles pendant plusieurs mois.

Afin de mieux connaître l'impact nutritionnel de ces apports par des invertébrés, j'ai suivi, à la saison des chenilles, un groupe de villageois Ngbaka qui se rendaient vers le campement des Pygmées Aka le plus proche, à une journée de marche par des sentiers à peine visibles, dans une zone située entre la Centrafrique et le Congo où la frontière qui traverse la forêt est totalement ignorée par les populations locales. L'organisation de cette « expédition » à travers la forêt pourrait rappeler celles du 19ème siècle, avec une colonne porteurs... car j'ai dû faire appel à plusieurs jeunes gens du village pour transporter sur leur dos mon matériel de pesage et de collecte soigneusement emballé dans des sacs plastiques.



Dans un campement pygmée, au sud de la Centrafrique, la préparation de certaines chenilles comestibles dont le corps est hérissé de soies rigides et urticantes nécessite de les griller au contact des braises contenues dans un panier fait de tiges fraîchement coupées. Les chenilles ainsi préparées sont triées pour être cuites avec les végétaux et constituer ainsi un mets délicieux riche en protéines et en graisses.

Dans le campement des Pygmées où ma petite tente verte arrondie passait presque inaperçue au milieu des huttes de forme analogue mais couvertes par les grandes feuilles de Marantacées fraîchement cueillies, la consommation des chenilles faisait partie des plaisirs que cette abondance procure. Certaines de ces chenilles sont hérissées de soies rigides et souvent urticantes qui nécessitent d'être brûlées avant la cuisson. Elles sont mélangées avec des braises rougeoyantes dans un petit panier fabriqué, à cette occasion, avec des tiges bien humides pour résister assez longtemps au feu. Et l'on entend, dans tout le campement, le bruit de ces paniers qui sont agités pour mélanger chenilles et braises, puis vidés pour trier les chenilles parfaitement débarrassées de toutes les soies irritantes avant de les préparer pour la cuisson.

Il existe une dizaine d'espèces de papillons identifiés donnant les chenilles les plus abondantes dans la forêt <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00552064/document>>, ce qui correspond à une grande variété de plats consommables selon diverses recettes. L'une des plus appréciée est un mélange cuit avec les feuilles d'une liane de la forêt, le *Gnetum africanum*, connue sous le nom de koko — tellement connue d'ailleurs qu'il s'en vend sous une forme séchée, au nord de Paris, dans les quartiers fréquentés par des habitants d'origine africaine. Ces feuilles, relativement coriaces, sont hachées en fines lamelles et communiquent une saveur délicate aux chenilles en cours de cuisson. Elles permettent de bien apprécier la saveur du mets au cours d'une mastication prolongée.



Un mélange de chenilles cuites avec les feuilles de « koko » — la liane *Gnetum africanum* —, hachées en fines lamelles, constitue un mets particulièrement délicat.

Bien entendu, si les Pygmées et les Ngbaka ne se privent pas d'en consommer à satiété au cours de cette période de grande abondance, les chenilles sont également séchées et fumées pour une utilisation ultérieure. Leur faible taille, par rapport à celle des gibiers que l'on peut également fumer pour constituer des réserves — ou pour les vendre — représente un net avantage pour un séchage efficace et rapide sur une clayette au-dessus d'un feu entretenu pour produire une fumée légère. Chacun des participants à un campement de chenilles peut ensuite ramener chez lui entre 30 et 50 kg de chenilles séchées.



La vente des chenilles séchées et fumées dans une échoppe d'un village du sud de la Centrafrique.

D'un point de vue nutritionnel, ces chenilles, prélevées au moment qui précède la nymphose, renferment, sans aucun déchet, tous les éléments nécessaires à la vie du nouvel être qui va se former dans la chrysalide, et avec un contenu énergétique — sous forme de graisses — particulièrement élevé. D'autres insectes, notamment des termites, sont également collectés pour la consommation au moment opportun où les formes ailées s'appêtent à quitter la colonie, chargées de graisses et de protéines bien équilibrées en acides aminés, ainsi que nous l'avions noté lorsque les échantillons consommés par les chimpanzés avaient été analysés <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/56/17/21/PDF/Alimentation_chimp.PDF>. L'utilisation des insectes dans l'alimentation humaine nous interpelle à la fois en ce qui concerne notre passé et notre futur. Chez les primates non humains, notamment les macaques et les chimpanzés, les insectes représentent toujours une fraction importante des aliments, non pas par leur poids, toujours limité à quelques unités du pourcentage ingéré par ces primates de grande taille, mais par leur composition en acides aminés qui équilibre les apports des protéines végétales où les acides aminés soufrés sont en trop faible proportion. Il est donc vraisemblable que les insectes comestibles aient toujours été utilisés, en Afrique tropicale, par les primates de grande taille incluant le genre *Homo*, même si leurs traces ne peuvent pas se retrouver — pas plus que celles de la plupart des végétaux — dans les restes fossilisés des repas de nos plus lointains ancêtres.

Le futur, qui nous appartient par les orientations que nous donnons à nos politiques de gestion, sera certainement et beaucoup plus qu'actuellement, concerné par le monde de insectes et autres invertébrés. Déjà, dans notre monde occidental où il est difficile de réprimer un mouvement de dégoût lorsque nous voyons les images de scorpions sur certains étals asiatiques — mais pas davantage que d'autres personnes qui voient des escargots présentés dans les meilleurs restaurants de Bourgogne — nous trouvons des offres sur des sites Internet et dans des expositions-vente où il est possible de goûter des chenilles, des termites ou des sauterelles cuisinés selon les traditions africaines. Car ces insectes, collectés ou élevés dans un milieu adapté, correspondent en fait à un très bon rendement énergétique pour transformer la biomasse végétale en aliments. Le seul rendement qui leur soit actuellement supérieur est l'extraction directe, par une presse hydraulique du contenu de plantes riches en protéines dont on sépare ainsi toute les fibres non digestibles ; toutefois les essais menés par des nutritionnistes dans des régions tropicales anglophones n'ont pas été suivis par l'adoption de ce régime végétarien enrichi par une presse hydraulique. Si toutes ces opportunités restent ouvertes pour l'avenir, ce sont les images mentales imposées par notre culture qui déterminent, de fait, les possibilités de changements de ce que nous consommerons dans l'avenir.

Les fruits du palmier à huile et les autres fruits des tropiques

S'il est une plante africaine qui a eu un grand succès mondial, c'est bien le palmier à huile, *Elaeis guineensis*, dont on regrette souvent la mise en plantation sur de vastes étendues, en Afrique et en Asie, où il constitue d'immenses monocultures après la destruction des forêts originelles.

Dans les villages africains où nous avons étudié l'alimentation, l'huile extraite de la pulpe du mésocarpe des fruits de ce palmier est ajoutée dans la plupart des plats où sont associés un légume glucidique (igname, taro, banane plantain...) avec une viande ou du poisson. Elle leur communique sa belle couleur orangée, son goût fruité, et surtout la valeur calorique qui, pour tout lipide, est deux fois supérieure à celle des autres nutriments.

En Afrique, le palmier à huile se reproduit spontanément dans les milieux — naturels ou plus ou moins transformés par les cultures — en lisière de la grande forêt. Lors du défrichage qui précède la mise en culture d'une petite parcelle, ce palmier n'est évidemment pas abattu. Alors qu'il est natif de régions plus septentrionales comme la Guinée, il a été favorisé localement en Centrafrique, sans être réellement cultivé. Avec Hélène Pagezy qui collaborait aux études sur l'alimentation, nous avons survolé, en hélicoptère à basse altitude, cette zone qui sépare le village de la grande forêt, grâce à l'obligeance des militaires de l'armée française stationnés à Bangui, qui doivent effectuer suffisamment d'heures de vol pour rester opérationnels. Cela nous a permis de réaliser une véritable cartographie du terroir en prenant des photos par la trappe restée ouverte. Toutefois, pendant ce vol, le pilote est resté extrêmement vigilant à propos des limites entre l'espace aérien de la Centrafrique et celui du Congo dont nous longions la frontière — celle que les Pygmées ignorent totalement.

Le palmier à huile — comme quelques autres espèces à fruits gras des forêts du bassin du Congo — est, selon toute vraisemblance, le résultat d'une coévolution avec les animaux, consommateurs des fruits et qui en disséminent les graines. Le contenu calorique de ces fruits, supérieur à celui de la pulpe sucrée de la plupart des fruits des angiospermes (les plantes à fleurs) leur confère une grande « densité calorique » qui fait partie de leur attractivité — un peu comme le « Big Mac » pour les humains.

Il en résulte, dans tous les cas, la « pression de sélection » que nous évoquons à propos de l'alimentation frugivore qui prédomine chez les primates non humains, avec une sélection progressive des plantes dont les fruits les plus riches en éléments nutritifs sont préférentiellement consommés, ce qui favorise la dissémination des graines et la multiplication de l'espèce au sein d'un environnement occupé par une diversité extrême d'arbres et de lianes en compétition pour l'espace à occuper.



Le terroir d'un village Ngbaka, entre le village et la grande forêt est un milieu où le palmier à huile se reproduit spontanément. Sur cette photo prise en 1983 depuis un hélicoptère à basse altitude, on remarque la fréquence de la silhouette étoilée de ce palmier à huile, *Elaeis guineensis*, qui est préservé lors des défrichements qui précèdent les plantations des espèces destinées à l'alimentation. L'huile tirée de la pulpe de son fruit est aussi appréciée que le vin de palme tirée de sa sève fermentée.



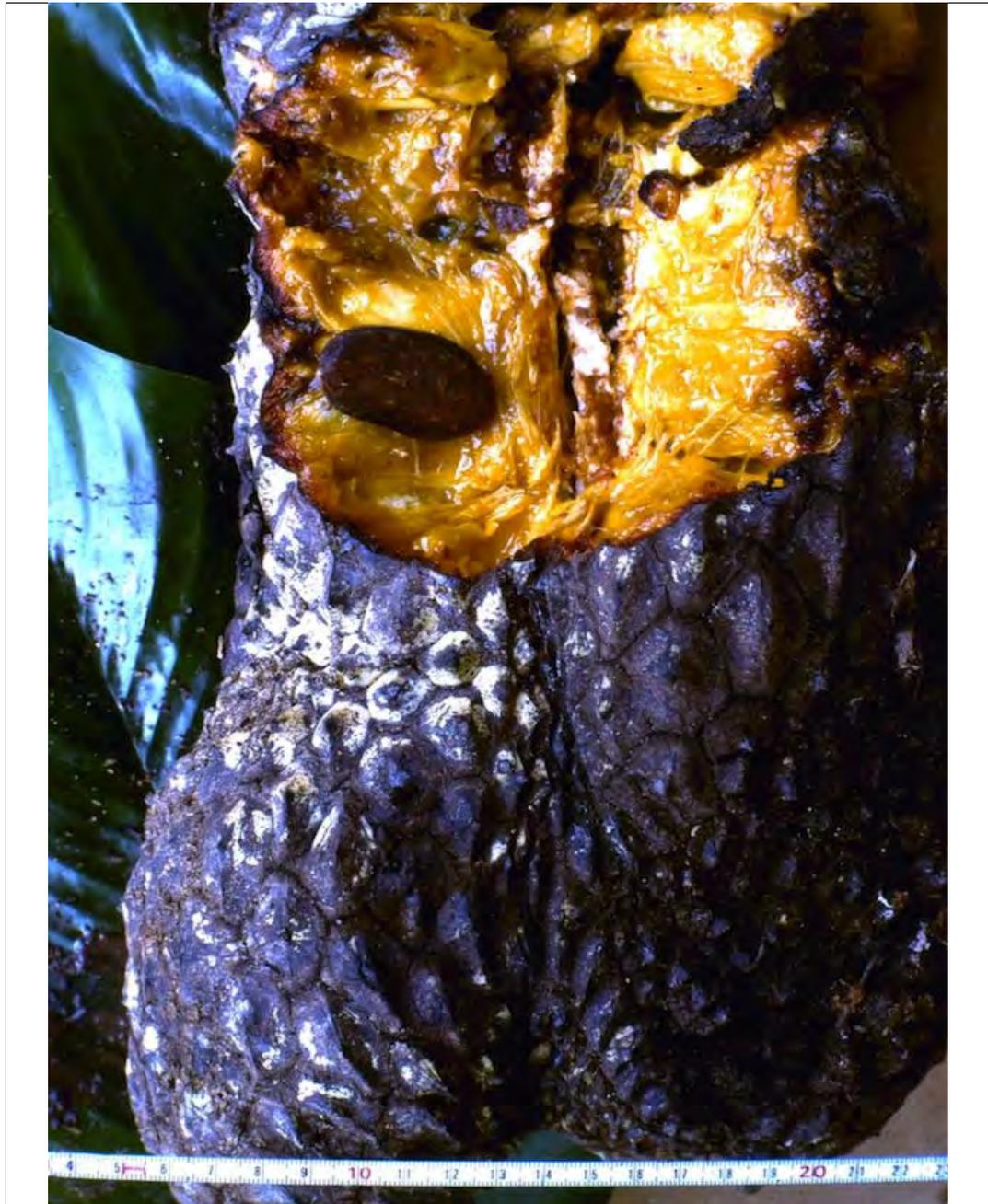
La matière grasse issue de la pulpe du fruit du palmier à huile est une composante essentielle des aliments cuisinés et sa méthode d'extraction, en pressant les fruits après les avoir ébouillantés et pilés, est la plus simple à appliquer près des lieux de récolte.

Lorsque nous avons analysé les fruits des espèces sauvages des forêts du bassin du Congo — celles qui ne figurent pas sur les publications de la FAO qui ne concernent que les espèces cultivées —, notamment au cours de l'étude du régime alimentaire du chimpanzé, nous avons été surpris par la concentration en sucres http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/jatba_0183-5173_1988_num_35_1_6676 dans la pulpe de beaucoup de ces fruits pouvant atteindre 75 % du poids sec ...comparable à une véritable confiture !



Le raisin de brousse est une forme cauliflore (avec les fruits implantés directement sur le tronc) qui peut être vendue sur les marchés locaux des régions forestières.

Certains de ces fruits, assez rares, renferment également des protéines. C'est le cas de l'un des plus gros fruits — le plus gros de tous ? pouvant dépasser 5 kg — de toute les forêts africaines, *Anonidium mannii*, toujours fixé directement sur le tronc de son arbre producteur ou sur une très grosse branche, une forme dite cauliflore dont on comprend la nécessité pour une suspension solide. Ce fruit est également apprécié par les populations forestières, pygmées et autres qui peuvent le ramener au campement pour le déguster à plusieurs. Mais j'ai aussi assisté à un repas partagé — au cours d'une chasse au filet à laquelle plusieurs jeunes venus du village participaient — qui implique le perfectionnement de la coévolution qui aboutit jadis à la composition de la pulpe de ce fruit. L'un de ces fruits avait été découvert, parfaitement mûr, au bas du tronc d'un *Anonidium*. Il fut partagé au cours d'une halte et l'un des participants a sorti de sa poche quelques morceaux de sucre qu'il avait pris la précaution d'emporter. Le sucre, écrasé pour être répandu sur la pulpe très peu sucrée du fruit en améliore nettement le goût ... tel qu'il est perçu par les humains. Mais nous pouvons aussi considérer cette addition de sucre comme le perfectionnement ultime de l'évolution qui aurait permis à *l'Anonidium* d'être encore plus compétitif dans la course à la dissémination de ses semences qui se poursuit depuis plusieurs millions d'années.



La pulpe du plus gros des fruits de la forêt, *Anonidium mannii*, renferme peu de sucre mais surtout des protéines. Cela le rend attractif pour les consommateurs de grande taille comme les chimpanzés capables d'avaler ses grosses graines mais également pour les humains qui peuvent y ajouter du sucre.

Toutefois cette façon de perfectionner la Nature présente actuellement l'inconvénient majeur d'aboutir à une trop grande abondance de sucres dans l'alimentation humaine, le goût des sucres étant toujours l'objet d'un plaisir que les opiacées que nous sécrétons comme des « hormones de la récompense » ne manquent jamais de nous faire ressentir. Dans ce domaine des perceptions, l'évidence des excès dans les boissons sucrées et autres ajouts à notre alimentation a été largement soulignée par les nutritionnistes au cours des dernières années.

La perception des sucres et des « faux sucres »

Les Pygmées, aussi gourmands que nous tous, n'hésitent pas à abattre un arbre lorsqu'il est chargé de bons fruits mûrs, ce qui n'est nullement choquant à l'échelle de la grande forêt en continuelle régénération. Il raffolent également du miel des abeilles sauvages dont ils endurent les piqûres au cours de l'ouverture à la hache de la cavité d'un tronc d'arbre où se trouvent les rayons de miel, après l'avoir enfumée. Et le miel constitue un aliment si prestigieux qu'il est offert en cadeau à la famille de l'épouse, ainsi que l'ont montré Serge Bahuchet et les autres ethnologues qui ont analysé les relations sociales chez les Pygmées.

Curieusement, les Pygmées sont — parmi toutes les populations humaines dont nous avons mesuré les perceptions gustatives —, ceux qui perçoivent le moins bien le goût des sucres. A l'opposé, les peuples vivant sur les lisières ou plus au nord, à la limite des régions sahéliennes, sont de très fins goûteurs capables de discerner le sucre d'une solution très diluée.

L'explication de ces variations de la sensibilité gustative, avec des seuils de perception médians très différents — significativement différents disons nous — entre les populations, en dépit des larges variations entre les individus, se rapporte au milieu dans lequel ces humains ont vécu pendant plusieurs milliers de générations. Dans la grande forêt où les sucres abondent dans les pulpes des fruits de centaines d'espèces, il n'est pas nécessaire d'être un fin goûteur pour les apprécier et les consommer. Au contraire, dans les milieux ouverts proches des savanes où la biodiversité est bien moindre, les fruits sont nettement moins sucrés, ce qui correspond à une moindre compétition entre les végétaux pour assurer la dissémination de leurs semences. Mais pour les humains habitant ces régions, il faut discerner les meilleurs fruits parmi ces faibles concentrations en sucre et les meilleurs goûteurs sont — ou ont été — favorisés par leurs choix alimentaires.

Les mesures des seuils des perceptions gustatives, impliquant la reconnaissance du goût d'un produit à très faible concentration, avaient d'abord été entreprises par Hélène Pagezy pour comparer des populations pygmées et non pygmées vivant au Zaïre. Les résultats en furent publiés en 1986 dans les Comptes-rendus de l'Académie des Sciences après que nous ayons repris ces tests dans différentes populations incluant les Inuit du Groenland. Nous faisons goûter en aveugle des séries de dilutions de sel, de sucres (fructose, saccharose et/ou glucose), d'acides organiques (l'acide citrique ou oxalique), de produits amers (la quinine, et/ou des produits de synthèse) et, au cours de travaux plus récents, nous avons ajouté des tannins purifiés ainsi que la glycyrrhizine extraite de la racine de réglisse qui, à l'état pur, n'a rien à voir avec un goût sucré. Toutefois les tests ne peuvent pas se prolonger au delà de 15 à 20 minutes car ils nécessitent une grande attention de la part de la personne dont on mesure l'acuité gustative. Cela ne permet pas de tester sur une même personne plus de 6 ou 7 produits différents que

l'on doit choisir en fonction des connaissances locales et des pratiques culinaires. Mais — contrairement aux mesures d'acuité gustative infiniment plus longues lorsqu'elles furent pratiquées par Bruno Simmen sur des primates non humains — ils peuvent être reproduits en grand nombre et permettre de calculer la variabilité des goûts perçus au sein d'une population humaine.



Détermination des seuils de perception gustative dans un village forestier du sud Cameroun, en 1986. Les produits les plus dilués sont d'abord goûtés, puis des solutions de plus en plus concentrées sont testées en remontant la série des flacons jusqu'à la reconnaissance du goût de la substance, exprimée dans le vocabulaire local (photo Edmond Dounias).

Parmi les goûts sucrés que nous percevons il en existe certains qui résultent d'une véritable « tricherie » de la nature. Il s'agit des « faux sucres » contenus dans les fruits de plusieurs espèces des forêts africaines ; car l'évolution des angiospermes (les plantes à fleurs) dans les forêts africaines n'a pas attendu que nos chimistes découvrent par hasard la saccharine pour voir émerger ces produits dont le goût qui est perçu ressemble beaucoup à celui des sucres des fruits, du moins pour les consommateurs locaux, surtout des primates.

Par exemple, le *Dioscoreophyllum cumminsii* — cette liane dont nous avons collecté les tubercules lorsque nous recherchions les ignames sauvages avec les Pygmées — produit des petits fruits rouges au goût extrêmement sucré, un goût qui persiste en bouche pendant plusieurs minutes. Ces fruits sont suffisamment appréciés pour être proposés à la vente au bord des pistes forestières mais ils ne contiennent pas les sucres (fructose, saccharose et/ou glucose) qui sont si abondants dans les autres fruits de la forêt. Il s'agit d'une sorte de mimétisme biochimique qui a permis aux fruits de cette espèce d'être consommés par des primates et à leurs semences d'être disséminées dans les fèces, favorisant une reproduction efficace de la plante. Ce phénomène ne pouvait guère se produire que dans le cadre des forêts denses humides où la très grande diversité des fruits contenant de vrais sucres permet à l'espèce mimétique de se maintenir, comme dans tous les autres exemples connus de mimétisme où la population mimétique (par exemple celle d'un papillon ayant l'aspect d'une guêpe) ne peut se maintenir que si elle est en faible nombre par rapport à son modèle — et ici, le modèle, ce sont les fruits contenant des sucres.

La perception du goût de ces « faux sucres » par les seuls primates originaires du continent africain permet de comprendre que les mécanismes de la perception d'un goût sucré ne sont pas simples. En effet, lorsque l'on donne la solution sucrée par un « faux sucre » à un singe des forêts d'Amérique, celui-ci ne la différencie pas de l'eau pure. Entre ces singes du Nouveau Monde et ceux du continent africain, il y a environ 50 millions d'années de décalage depuis la séparation des deux blocs continentaux. Les gènes qui déterminent les perceptions gustatives diffèrent donc sensiblement entre les primates d'Afrique et ceux d'Amérique. Car les fruits à « faux sucres » ont été sélectionnés par des primates africains qui les confondent avec les autres fruits sucrés — de même que les humains, issus de cette même lignée, pour lesquels ces édulcorants peuvent éventuellement remplacer le sucre dans des aliments allégés <http://www.persee.fr/doc/jatba_0183-5173_1988_num_35_1_6676> .

Nous avons eu l'occasion de trouver une nouvelle espèce dont la pulpe du fruit contient un « faux sucre » que les humains peuvent également apprécier. Il s'agit encore d'une liane collectée au Gabon par Annette Hladik, dont nous avons signalé la particularité aux biochimistes qui avaient analysé les extraits d'autres fruits à « faux sucres ». Cette plante, *Pentadiplandra brazzeana*, est bien connue des populations d'Afrique centrale essentiellement pour l'utilisation thérapeutique

des extraits de sa racine tubérisée qui soulagent des hémorroïdes. Au Gabon, son fruit au goût extrêmement sucré est également connu localement sous le nom français de « l'oubli » car il est donné parfois aux jeunes enfants, lors du sevrage, pour que son goût leur fasse oublier le sein de leur mère.



La pulpe des fruits du *Pentadiplandra brazzeana* — qui enveloppe les graines de forme réniformes visibles en bas — a un goût extrêmement sucré dû à la présence d'une protéine qui mime le goût d'un sucre sur les papilles gustatives de la bouche des primates qui les consomment.

Un extrait purifié de la pulpe de ces fruits que nous avons collectés pour nos collègues biochimistes a pu être analysé. Sous le nom de brazzéine, il peut être actuellement synthétisé par des levures génétiquement modifiées à l'Institut des Sciences du Goût de Dijon. Il présente un grand intérêt par rapport aux édulcorants utilisés par l'industrie agro-alimentaire car il est plus stable à la chaleur et sans risque de toxicité : en effet, comment une telle plante qui produit ce « faux sucre » aurait-elle pu se maintenir au milieu des compétiteurs pour la dissémination des graines si elle avait présenté la moindre toxicité ?

En ce qui concerne les fruits contenant de vrais sucres des régions tropicales et équatoriales, la plupart de ceux qui sont actuellement importés en Europe sont des espèces originaires d'Asie ou d'Amérique mais très rarement du continent africain pourtant si riche en espèces aux goûts exquis et variés. Bien que le transport à longue distance ne soit pas la meilleure chose à pratiquer pour arriver à une alimentation idéale qui devrait tenir compte de l'impact sur l'environnement, la tendance à introduire des nouveautés ne peut que persister et cela pourrait favoriser certaines régions d'Afrique.



Le safoutier, *Dacryodes edulis* est un arbre des forêts denses humides dont le fruit — le safou, également nommé la « prune » au Cameroun — possède une pulpe grasse particulièrement épaisse sur les formes cultivées. Après cuisson il est généralement consommé avec un peu de sel.

Par exemple le safou, *Dacryodes edulis*, est une espèce que l'on ne trouve que rarement sur les étals de nos supermarchés. C'est encore l'un de ces fruits des forêts denses humides dont la pulpe, particulièrement riche en matières grasses, a favorisé la dissémination par les consommateurs. Après une courte cuisson ce fruit a une saveur de térébenthine qui surprend d'abord mais dont on devient très amateur après les premiers essais, pour le déguster en apéritif salé. Une autre espèce du même genre est un grand arbre qui ne produit que des fruits de taille modeste mais qui sont très appréciés des populations forestières, tandis que les formes de *Dacryodes edulis* cultivées en région forestière produisent des fruits gros et charnus qui se vendent fort bien sur les marchés africains.

De nombreuses autres espèces de lianes ou de grands arbres des forêts équatoriales d'Afrique produisent des fruits particulièrement sucrés et au parfum suave que nous avons eu l'occasion de déguster lors des collectes des échantillons alimentaires des chimpanzés du Gabon. Curieusement, mais comme dans le cas de beaucoup de plantes alimentaires, ce sont des espèces venues d'ailleurs qui produisent l'essentiel des fruits consommés en Afrique et exportés en Europe. C'est notamment le cas de la papaye, *Carica papaya*, originaire d'Amérique et cultivée dans toutes les régions tropicales, ainsi que la mangue, *Mangifera indica*, arrivée d'Asie alors que l'on trouve l'ombre fraîche des manguiers dans presque tous les villages d'Afrique tropicale. Ces fruits tropicaux sont devenus très courants dans nos supermarchés au cours des dernières décennies alors qu'ils étaient totalement inconnus il y a un demi-siècle et je ne pourrais m'empêcher d'évoquer ici ma première réaction lorsque j'ai découvert la papaye au cours de mon premier voyage dans cette lointaine contrée que l'on appelait alors Ceylan, dans la cafétéria de l'auberge de jeunesse de Colombo. En observant les différents mets que consommaient mes voisins de table, j'ai vu une sorte de portion de gâteau de couleur orangée qui me semblait particulièrement appétissante car elle était couverte de sortes de petits grains de raisins brillants et translucides. Mon voisin que je regardais a approché de lui cette sorte de gâteau et a commencé à râcler à la cuillère tous ces petits grains qui me semblaient si bons et — ô surprise ! — à les poser et à les laisser sur le côté de son assiette pour entamer la pulpe du fruit. J'ai rapidement compris qu'il s'agissait des graines qui ne sont pas très agréables à avaler mais qui ont joué un rôle clé dans la dissémination des premières formes de papayers avant leur mise en culture par les humains.

Toutes ces espèces introduites font actuellement partie d'un patrimoine local, même pour les Pygmées qui adoptent peu à peu les pratiques agricoles et les variétés cultivées par les ethnies avec lesquelles ils sont en contact. Bien que cela se développe auprès des campements forestiers, sur des parcelles de dimensions modestes, on peut y voir une émergence de l'agriculture telle qu'elle a été presque toujours réalisée — sauf la première fois, bien sûr — par des contacts et des échanges entre des populations humaines.



Des plantes alimentaires, principalement bananes plantains et taros (en haut), se trouvaient dans une petite partie de forêt récemment défrichée, en 1983, juste derrière le campement des Pygmées Aka (en bas). Ce sont les variétés des plantes cultivées par les Ngbaka du sud de la Centrafrique dans un village situé à une journée de marche, au contact desquels vivent ces Pygmées. On peut y voir un nouveau début de l'agriculture par des échanges entre populations, tel qu'il fut nécessairement pratiqué au cours des derniers millénaires...



Dans le village Inuit de Tiilerilaaq, au Groenland, nos études sur l'alimentation et la perception des aliments incluant une grande proportion de protéines animales peuvent être mises en parallèle avec celle qui ont été menées au sein des populations Pygmées de Centrafrique et du Cameroun. L'opposition drastique entre leurs environnements porte sur les ressources en eau douce que constituent, pour les Inuit, les icebergs pris dans la banquise (en haut) ainsi que la « banquette », cette brisure côtière de la banquise proche du village (en bas) qui permet l'accès aux bancs de moules en hiver.

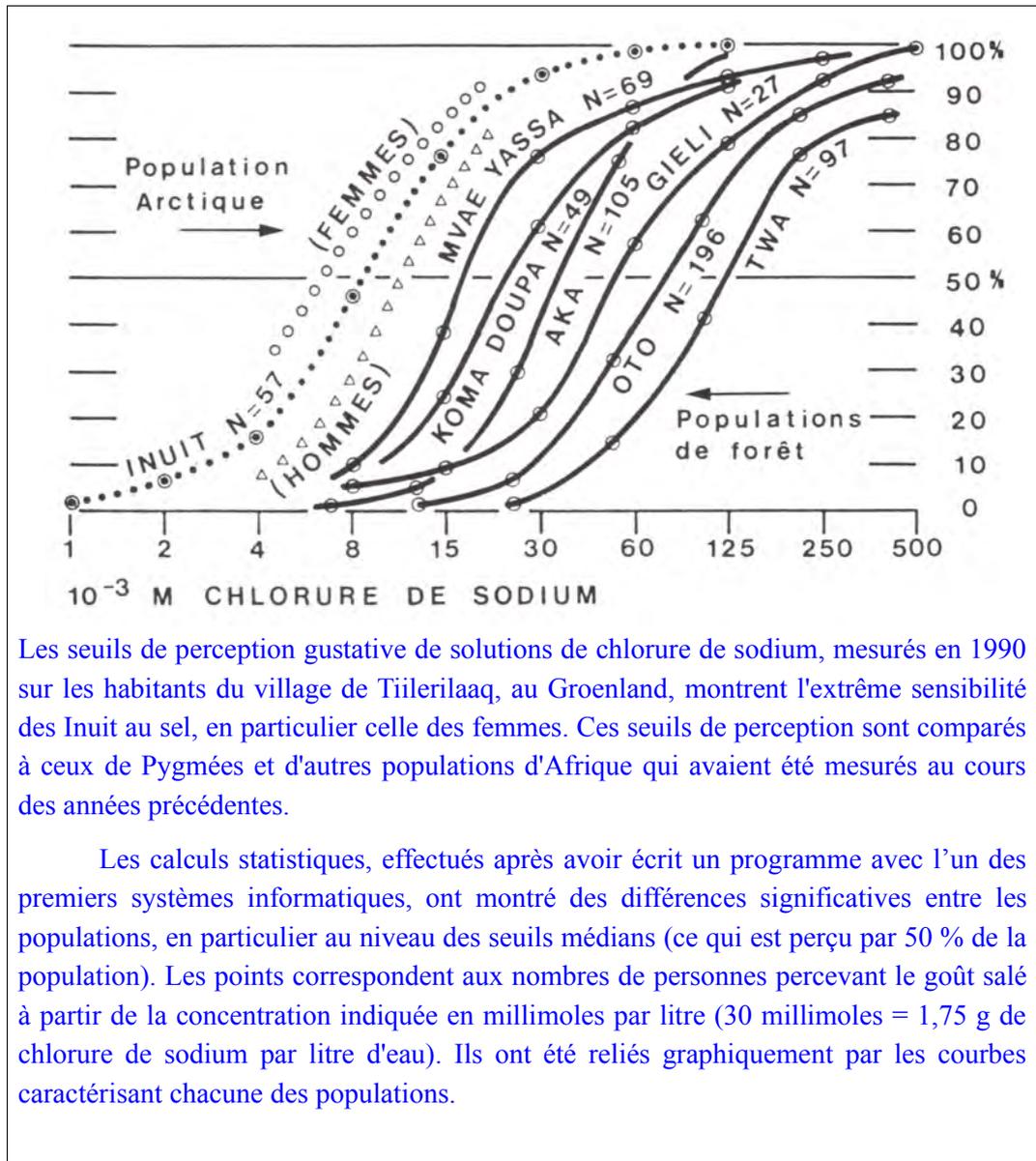
Au Groenland, l'alimentation hyperprotéique et si peu salée des Inuit

Après avoir étudié la composition du régime alimentaire des Pygmées en Afrique équatoriale, il nous fallait mesurer précisément si les populations Inuit — pluriel de *inuk*, anciennement eskimo — consommaient également une alimentation plus diversifiée que ce que leur réputation de « mangeurs de viande crue » impliquait.

Parmi les chercheurs en ethnologie de notre équipe du Muséum, il y a des personnes que j'ai connues bien avant que ne se constituent nos formations de recherche pluridisciplinaires associant des ethnologues et des biologistes. C'est le cas de Pierre Robbe et de son épouse, Bernadette, tous deux partis vivre au Groenland avec les Inuit dès qu'ils ont pu obtenir un minimum de financement, et cela, bien avant d'avoir les postes officiels au Musée de l'Homme qu'il occupent actuellement. Pierre était parmi les étudiants en sciences avec lesquels nous discutons — il y a plus d'un demi-siècle — des possibilités des humains de s'adapter à différentes sortes de régimes alimentaires. Lorsqu'il a obtenu une bourse Zelligja pour un premier voyage au Groenland, il l'entreprit sans hésitation et je fus particulièrement intéressé par les observations directes qu'il en rapporta.

L'alimentation des populations Inuit est devenue, après de multiples missions au Groenland, l'un des thèmes majeurs de la Thèse d'Etat que Pierre Robbe a soutenue après plusieurs dizaines d'années, comme c'était alors la tradition universitaire pour ces grandes thèses. J'ai eu le privilège d'en suivre l'élaboration et d'apprendre avec Pierre tout ce qui a trait à l'environnement si particulier des populations Inuit et aux caractéristiques socioculturelles qui leur ont permis de s'y adapter depuis environ 4.000 ans. Bernadette, l'épouse de Pierre, qui passait souvent de longs mois en hivernage avec lui et les membres de sa famille adoptive inuit, a porté un éclairage nouveau sur les techniques de préparation des peaux et sur bien d'autres aspects — dont la consommation alimentaire — concernant la vie quotidienne inuit ; et les objets qu'elle a rapportés ont enrichi les collections du Musée de l'Homme, certains ayant été récemment transférés au Musée du Quai Branly.

J'ai également eu le privilège de visiter avec Pierre Robbe, en hiver, le village de Tiilerilaaq, sur la côte orientale du Groenland, où la plupart des observations qu'il a publiées avaient été effectuées. Nous étions tous les deux en mission, sur des crédits de notre formation CNRS-Muséum, avec pour objectif de mesurer la perception gustative d'une population Inuit. J'avais préparé au laboratoire, avant notre départ, les doses nécessaires des produits incluant du chlorure de sodium à l'état pur (car le sel de cuisine ne l'est pas), des sucres et de la quinine, afin de pouvoir effectuer rapidement sur place les dilutions successives de chacun d'eux pour la réalisation de nos tests.



Les seuils de perception gustative de solutions de chlorure de sodium, mesurés en 1990 sur les habitants du village de Tiilerilaaq, au Groenland, montrent l'extrême sensibilité des Inuit au sel, en particulier celle des femmes. Ces seuils de perception sont comparés à ceux de Pygmées et d'autres populations d'Afrique qui avaient été mesurés au cours des années précédentes.

Les calculs statistiques, effectués après avoir écrit un programme avec l'un des premiers systèmes informatiques, ont montré des différences significatives entre les populations, en particulier au niveau des seuils médians (ce qui est perçu par 50 % de la population). Les points correspondent aux nombres de personnes percevant le goût salé à partir de la concentration indiquée en millimoles par litre (30 millimoles = 1,75 g de chlorure de sodium par litre d'eau). Ils ont été reliés graphiquement par les courbes caractérisant chacune des populations.

Nous avons procédé aux tests sur des volontaires dûment mis au courant que ces produits, qu'ils devaient recracher après en avoir goûté le contenu d'une petite cuillère, n'étaient pas des médicaments. Toutes nos fioles étaient étalées sur le seul plan hors sol dont nous disposions dans une maison : le congélateur. En effet bien que l'expression souvent répétée « vendre un congélateur à des esquimaux » soit devenue une plaisanterie classique, rien n'est aussi évident pour un Inuit que l'usage du congélateur qui fut adopté dès son apparition parmi les premiers produits importés du Danemark. Car le passage d'un très bref été au Groenland était redouté : il pouvait être catastrophique pour les viandes congelées initialement stockées sous la neige.

Les résultats des tests de gustation nous ont surpris par l'acuité des réponses de la plupart des Inuit, en particulier de celles des femmes vis-à-vis des solutions de chlorure de sodium. Les solutions les plus diluées — dix à cent fois

moins concentrées que celles dont nous percevons à peine la salinité — étaient parfaitement détectées. D'ailleurs un goût salé prononcé provoque le dégoût chez tous les Inuit ; et l'on cite encore cette anecdote d'un explorateur des régions polaires qui a voulu offrir de la morue salée séchée : cette denrée dont il ne disposait que d'une réserve très limitée fut recrachée avec surprise par celui à qui elle était généreusement offerte !

De fait, l'essentiel de l'alimentation Inuit est dépourvue de sel ou faiblement salée, la préparation consistant à bouillir longuement, dans une eau douce à peine salée, la viande des phoques annelés, *Pusa hispida*, que les chasseurs vont capturer sur la banquise. Traditionnellement, ce sont les femmes qui se procurent des blocs de glace d'eau douce en allant les casser sur des icebergs qui se sont détachés des énormes glaciers continentaux et sont restés coincés dans la banquise pendant le long hiver, donc accessibles à pied depuis le village <http://www.persee.fr/doc/jatba_0183-5173_1988_num_35_1_6677>. Les femmes doivent sélectionner, en la goûtant, la glace d'eau douce qui n'a pas été au contact direct avec la glace de mer de la banquise, avant de la ramener au village et de la faire fondre pour obtenir une eau de boisson ou de cuisine.

Notre problème était de savoir comment cette grande sensibilité au goût salé a pu se développer. Car un bon entraînement à goûter la glace avant de la fondre ne suffit pas à expliquer l'extrême sensibilité, un phénomène biologique qui, de fait, se combine au contexte culturel. C'est le régime alimentaire des Inuit, encore plus riche en protéines animales que celui des Pygmées, qui en est à la fois la cause et la conséquence. Il leur est nécessaire d'éliminer une grande quantité d'urée, donc de boire une grande quantité d'eau — environ six litres par jour, ce qui a frappé les premiers explorateurs du Grand Nord. Une eau de boisson qui contiendrait du sel, ne serait-ce qu'en faible quantité, apporterait un excès de sodium ce qui entraînerait les risques bien connus des affections cardiovasculaires qui lui sont liés, d'où une pression de sélection vers une meilleure perception du sel dans les populations inuit.

Toute pression de sélection, cependant, se définit par rapport aux chances de survie des générations qui suivent, et cela pose un problème que n'ont pas manqué de nous faire remarquer nos collègues biologistes : les maladies cardiovasculaires ont essentiellement un impact sur des adultes qui, en général, ont déjà eu des enfants. Elles ne peuvent donc pas exercer une pression de sélection favorisant les descendants des sujets percevant au mieux le goût du sel. Ce sont nos collègues ethnologues, Pierre et Bernadette Robbe, qui ont proposé la solution de ce problème. Dans une famille Inuit, si un chasseur décède prématurément d'une maladie cardiovasculaire, ses enfants seront généralement adoptés par la famille d'un autre chasseur ; toutefois ces orphelins ont toujours souffert, d'après les récits qui ont été recueillis, d'une alimentation moins abondante que les autres enfants de la famille adoptive. Il y sont davantage exposés à la malnutrition et aux maladies, ce qui diminue leur probabilité de survie et le pourcentage de chances

qu'ils transmettent leurs gènes à une descendance. Il y a donc bien eu, au niveau de la population, une pression de sélection vers les conformations génétiques favorisant la détection du sel à très faible concentration, par diminution du nombre de descendants des pères ayant une moindre sensibilité gustative au chlorure de sodium. Sur plusieurs milliers d'années, cette pression de sélection a visiblement été efficace, même si, actuellement elle n'est plus réellement observable dans les populations Inuit modernes.

Dans ce milieu arctique les ressources alimentaires les plus riches se trouvent sous la banquise et dans le fjord où les chasseurs vont traquer les phoques annelés. Les histoires de chasse sont des sujets qui passionnent énormément et ma réputation d'avoir pratiqué la chasse dans des forêts équatoriales a rapidement attiré l'attention des chasseurs Inuit. Lorsqu'on me demandait : « Marcel, c'est comment la forêt avec du gibier, en Afrique ? », je faisais traduire par Pierre une comparaison de la forêt tropicale avec un fjord, mais totalement inversé, sens dessus dessous, avec au sommet, dans la voûte forestière, toute une faune aussi riche que celle qui se trouve en profondeur sous la banquise où l'abondance du plancton des eaux froides favorise les poissons que l'on y pêche par plusieurs centaines de mètres de fond, à travers un trou percé dans la glace de mer.

Cette abondance d'aliments protéiques et très riches en matières grasses fut certainement à l'origine des premières populations fixées à ces hautes latitudes, il y a environ 4000 ans. Car le phoque annelé qui migre depuis des lieux situés plus au nord où il se reproduit, constitue une sorte de flux animal constamment renouvelé qui arrive sur les côtes du Groenland et dans les fjords. Ce gibier est donc presque toujours disponible en grande quantité, avec quelques autres mammifères dont l'ours polaire. Nous disons « presque toujours » car il y a eu des périodes de disette lorsque les conditions météorologiques ne permettaient aucune sortie de chasse et que les réserves s'épuisaient.

Les récits concernant ces périodes de disette qui ont laissé de très mauvais souvenirs nous éclairent sur une importante partie du régime alimentaire Inuit qui, comme chez les Pygmées, n'est pas seulement composé de la viande des gibiers. Car ce sont des algues qui peuvent alors constituer l'essentiel de la nourriture inuit. Différentes sortes d'algues sont toujours accessibles le long des côtes — donc tout près des villages — là où la banquise est brisée par le battement des marées et laisse une large ouverture béante.

Ces algues, notamment des laminaires qui poussent près des côtes, ont une saveur agréable et elles sont actuellement appréciées comme une nourriture traditionnelle, maintenant qu'elles ne sont plus les seuls aliments consommés pendant des périodes de disette. Elles sont même en vente dans les rayons du supermarché de la ville d'Ammassalik accessible en une journée de traîneau.



Les algues sont récoltées sous une faible épaisseur de banquise, près de la côte, à travers un trou percé dans la glace de mer. C'est le cas des Kipilatsat, *Alaria pylaii*, qui peuvent être consommées crues après avoir été frottées dans la neige pour les débarrasser de l'eau salée.

Quelques autres végétaux incluant les baies de la camarine noire (*Empetrum nigrum*), récoltées au cours de l'été et mises en réserve dans de l'huile de phoque, font également partie de l'alimentation inuit traditionnelle ; toutefois, l'essentiel reste encore actuellement la viande des mammifères marins dont l'importante couche de graisse constitue un apport calorique remarquable. L'évaluation de la consommation par Pierre Robbe correspond à environ 1/3 de graisse pour 2/3 de viande dans les portions cuites — et très peu salées — généralement consommées.



La consommation des viandes crues — ici le foie d'un phoque, débité en fines lamelles à l'aide du couteau traditionnel inuit — est un plaisir partagé au cours de repas collectifs pris au niveau du sol.

La consommation de viandes crues est également une des caractéristiques du régime inuit. C'est un plaisir partagé en famille ou entre amis, assis dans la chaleur qui règne au niveau du sol des habitations, que de déguster ensemble les pièces les plus tendres, notamment le foie, tranchées en petits morceaux. Les apports caloriques d'une viande crue sont bien moindres que ceux des viandes dont la cuisson améliore la digestibilité ; mais des nutritionnistes ont souligné les apports en vitamines — notamment la vitamine D que l'on nous donnait jadis sous forme d'huile de foie de morue — que les habitudes de consommation du cru procurent aux Inuit.

La grande proportion des matières grasses — notamment des acides gras polyinsaturés, les oméga-3 — dans l'alimentation a fait l'objet de recherches sur les adaptations des populations Inuit récemment publiées dans la revue scientifique *Science* <<http://www.sciencemag.org/content/349/6254/1343.full>>. Ces recherches portent sur certaines caractéristiques génétiques des Inuit qui leur donnent la possibilité d'un métabolisme des graisses dont les effets sont mieux répartis que chez la plupart des autres populations. La sélection génétique dans ce sens qui favorise la consommation des viandes grasses aurait d'ailleurs précédé le peuplement des régions arctiques et, éventuellement, l'aurait rendue possible. De ce point de vue, il existe une différence marquée entre les différents régimes hyperprotéiques, ceux des Pygmées, plutôt maigres et ces des Inuit, particulièrement riches en graisses.

Les produits fermentés constituent également de délicieux mets inuit qui peuvent surprendre les visiteurs étrangers par une odeur jugée repoussante. C'est le cas notamment du sang de phoque laissé à fermenter à la température du sol d'une habitation. Mais il ne faut pas ignorer que les microorganismes des régions arctiques ne provoquent pas la formation des produits toxiques comme ceux que nous connaissons des viandes avariées sous nos climats.

Ces préférences alimentaires restent ancrées dans la culture inuit, comme le montraient encore en 2015 les images du festival photo de La Gacilly illustrant les variations mondiales de l'alimentation. Par ailleurs, même si les techniques de prise de vue restent toujours basées sur un système optique qu'au Groenland nous devons protéger dans nos poches contre le froid et les condensations, l'électronique et l'informatique ont introduit de nouvelles possibilités dans l'illustration. Le film a été remplacé par des enregistrements d'images dont la qualité, au cours des dernières décennies, a peu à peu rejoint celle du film argentique qu'elles supplantent désormais. Il en va de même du règne de l'informatique dans tous les domaines techniques de la recherche scientifique où nous sommes immergés.

III. — L'ALIMENTATION ACTUELLE ET FUTURE

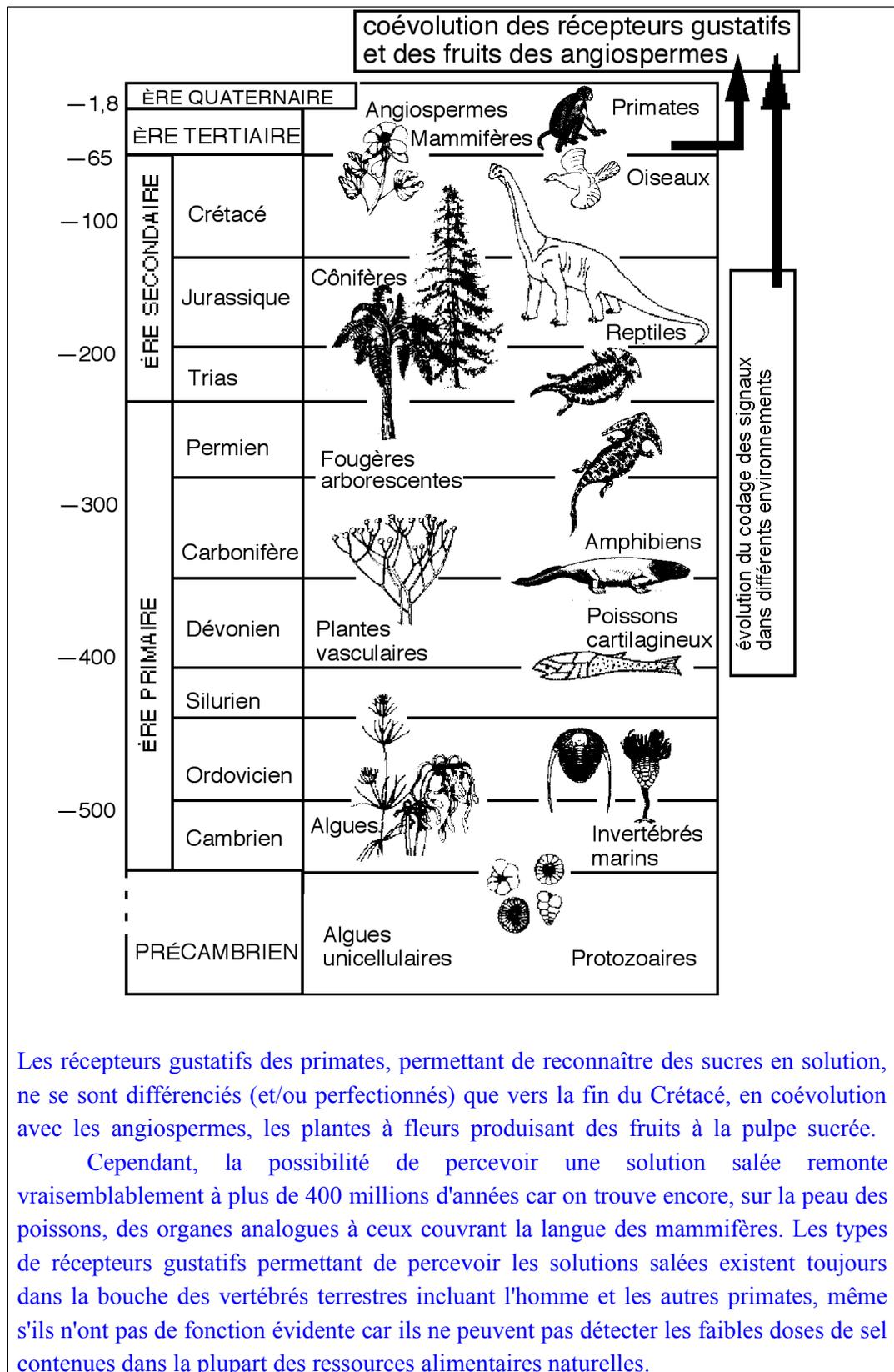
Mais pourquoi consomme-t-on tant de sel ?

Bien que je le répète tous les ans aux étudiants de Master qui suivent les cours de notre unité de recherche, il semble qu'une information majeure n'arrive pas à se répandre au sein des communautés scientifiques des anthropologues et des nutritionnistes... Notre perception des produits salés qui diffère beaucoup de celles d'un Inuit en fonction de notre culture n'est cependant pas physiologiquement différente. Mais elle est influencée par la croyance en un important besoin en chlorure de sodium que les traités de physiologie mentionnent encore.

Bien entendu, tous les éléments minéraux indispensables doivent être présents dans une alimentation équilibrée, en respectant autant que possible les normes conseillées par la FAO. Mais qu'est-ce que nos observations sur les primates non humains nous montrent ? Tous les aliments des milieux naturels où vivent ces primates — dont les analyses figurent dans ma Thèse d'Etat — contiennent, en moyenne, une quantité de sodium sensiblement supérieure à la norme de consommation conseillée pour les humains. Il n'y a pas de carence possible. Mais, en fait, ces singes ne perçoivent jamais — ou très rarement — un goût salé car la concentration en sel dans les pulpes des fruits ou dans les tendres feuillages si appréciés de nos cousins les grands singes est nettement inférieure au seuil de perception de tous les primates incluant les humains.

Cette faible concentration en sel, qui se situe en dessous du seuil — la limite des concentrations perçues —, implique qu'il ne peut pas y avoir de pression de sélection qui aurait poussé les primates vers la recherche de nourritures salées, car il faudrait qu'ils en perçoivent le goût, comme dans le cas des fruits sucrés, pour les sucres. La coévolution, dans le cas des sucres des fruits est un phénomène clairement identifié dont résultent nos perceptions gustatives. Dans le cas des produits salés, il ne peut pas s'agir d'une coévolution en fonction d'une soi-disant nécessité de couvrir nos besoins en sodium puisque les concentrations de sodium sont trop faibles pour être perçues dans les aliments naturels. Alors, pourquoi percevons-nous le goût du sel et pourquoi est-il si apprécié — sauf par les Inuit — à tel point que nous prenons souvent le risque de consommer en excès des produits très salés ?

Pour comprendre l'origine de nos perceptions gustatives, il nous faut remonter à l'origine de tous les vertébrés, c'est-à-dire aux premiers poissons qui, il y a plus de 400 millions d'années, sont passés du milieu marin aux eaux douces avant que des formes adaptées à la vie terrestre ne fasse leur apparition.



Sur la peau des poissons il y a des corpuscules très semblables à ceux que nous avons sur notre langue, les « bourgeons du goût », formés de quelques cellules chimio-sensibles et reliées au système nerveux, dont on comprend l'utilité

pour des poissons qui peuvent se déplacer dans des eaux douces. La grande sensibilité des poissons actuels, par cette immense langue qui recouvre tout leur corps, est d'ailleurs mise à profit pour la détection des faibles concentrations de produits polluants dans les centres de traitement des eaux.

Chez les premiers poissons dont les fossiles ne permettent pas d'observer les détails de la peau à une échelle microscopique il n'y a aucune raison de penser que ces structures n'existaient pas car elles ont persisté chez tous les vertébrés terrestres où nous les retrouvons actuellement, mais uniquement à l'intérieur de la bouche. C'est ainsi que nous percevons le goût des sels minéraux http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/54/57/49/PDF/Hladik_Pasquet-Evol-gust.pdf et pas seulement celui du chlorure de sodium à l'état pur ou dilué dans nos préparations alimentaires.

Il faut tenter d'imaginer ce que fut la découverte du sel par les premiers humains au moment où l'utilisation du feu permettait d'améliorer non seulement la digestibilité des viandes et des tubercules, mais également à leur communiquer une nouvelle saveur. Quelle n'a pu être leur surprise en y ajoutant un peu de ces efflorescences blanches que l'on pouvait ramasser dans les creux des rochers battus par la mer ! Le sel fut très certainement le premier additif dans notre alimentation et il le reste encore par les quantités que nous utilisons.

On avait tendance à parler d'un « goût salé » et la plupart des physiologistes considèrent encore que c'est l'un de nos « goût de base » — incluant le sucré, le salé, l'acide et l'amer — des expressions verbales qui ne traduisent pas la diversité des goûts que nous percevons. Car même entre deux sucres comme le fructose et le saccharose dont les goûts nous semblent si proches, il y a une petite différence que certaines personnes sont capables de détecter. Quant aux sels, toutes les nuances existent dans la nature et les travaux sur les primates non humains — réalisés à l'époque où l'expérimentation animale n'était pas réglementée avec rigueur — ont montré que les goûts des chlorures ou des sulfates en solution sur la langue, activaient des neurones différents dans l'aire orbito-frontale du cerveau d'un macaque où des micro-électrodes avaient été implantées.

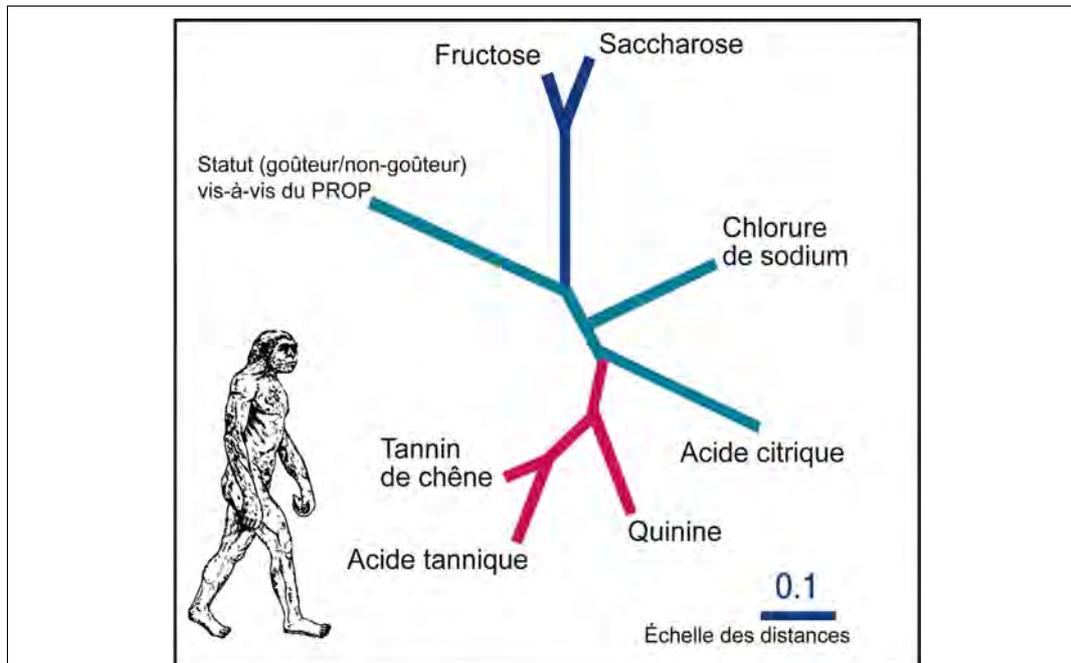
Nous avons étudié chez les humains — en respectant les règles de l'éthique — ces perceptions de nuances gustatives de divers produits. Notre unité de recherche participait alors à un programme de l'Union Européenne concernant les régimes alimentaires et certaines pathologies qui leur sont liées, par exemple une augmentation de la fréquence des cancers du côlon associée à un régime manquant de fibres végétales. Parallèlement aux enquêtes concernant la consommation alimentaire dans divers pays de l'Union Européenne, j'avais proposé d'ajouter nos tests de détermination de l'acuité gustative. Dans ce cadre et sans dépenser beaucoup de crédits de recherche pour financer les étudiants qui ont participé à ces travaux, nous avons obtenus des centaines de réponses individuelles permettant des comparaisons statistiques .



La détermination des seuils de perception gustative a été réalisée dans plusieurs pays de l'Union Européenne (en Espagne, sur cette photo), au cours d'un programme visant à établir les corrélations avec les régimes alimentaires. En fait, les résultats de ces travaux ont permis de mieux comprendre les mécanismes des perceptions gustatives (photo : Françoise Aubaile).

La recherche scientifique ne mène pas toujours vers les objectifs fixés au départ et ce fut le cas. Nous n'avons observé pratiquement aucune corrélation entre la perception gustative des personnes testées et les pratiques alimentaires régionales. En revanche, sur les listings qui sortaient des ordinateurs, des corrélations hautement significatives apparaissaient entre les seuils de perception de différents produits, pour un même individu. Eurêka ! Nous avons trouvé le moyen de montrer en quoi les signaux gustatifs déclenchés par différentes substances (sel, sucres, etc.) pouvaient se ressembler entre eux ou différer.

Ce fut précisément l'objet des communications qui suivirent, présentées au CNRS comme une percée majeure dans le domaine de la perception gustative. Les ressemblances entre les signaux, illustrées par un « arbre des corrélations » montre dans quelle mesure les signaux — une série de décharges dans les fibres nerveuses — sont analogues. Mais il fallait ne plus tenir compte de la théorie vieille d'un siècle concernant des « goûts de base » qui impliquait une différence fondamentale entre ces perceptions. Ainsi les programmes de l'Union Européenne nous ont permis de découvrir des mécanismes de perception gustative par une approche dont personne ne pouvait prévoir les résultats.



Ce graphique arborescent, établi à partir des corrélations entre les perceptions des humains vis à vis de substances solubles, traduit leurs différences par les distances qui les séparent. Ainsi la perception des sucres (en bleu) et celles des tannins (en rouge), présentent le maximum de différence, ce qui s'explique par la stimulation de fibres différentes du nerf gustatif. Au contraire, la proximité des perceptions de deux substances, qui s'explique par la participation d'une partie des mêmes fibres du nerf gustatif, correspond à la meilleure corrélation entre les perceptions de ces produits : si l'on perçoit bien l'un on perçoit également bien l'autre.

La théorie rejoignant la pratique, il nous faut apprendre à gérer nos tendances à consommer trop de sucre ou trop de sel dans un monde où ces substances sont devenues si abondantes qu'on en trouve des quantités excessives dans les produits des industries agro-alimentaires. Les annonces qui accompagnent la publicité pour ces produits nous incitent à en limiter l'usage mais cela ne semble pas assez efficace. Nous savons que les maladies cardiovasculaires sont particulièrement fréquentes dans une région du Japon où la consommation du sel dépasse 10 grammes par personne et par jour. Il est généralement possible d'éviter un tel excès ; cependant ce qui est ignoré de tous (ou presque) c'est qu'un ajout de sel dans l'alimentation n'est pas une nécessité biologique. Nous pourrions nous passer totalement de sel sans souffrir d'aucune carence, ainsi que le font tous les primates non humains... Mais cela serait certainement un peu triste, comme si l'on se passait du poivre ou du piment qui donnent la touche inoubliable à des compositions alimentaires créées en cuisine par de véritables artistes. Un usage modéré du sel n'est certainement pas à déconseiller car la modération permet de retrouver et d'apprécier la subtilité des saveurs que l'excès de sel pourrait masquer.

Il faut se soigner en mangeant

Cette modération indispensable qui n'exclut pas de se faire plaisir, nous la retrouvons dans le livre de Giulia Enders, qui a été récemment traduit de l'allemand sous le titre « Le charme discret de l'intestin » (Editions Actes Sud, 2015). Il est écrit dans un style humoristique et bon enfant qui fait agréablement passer les considérations physiologiques et biomédicales que la jeune auteure nous présente sur des bases scientifiques particulièrement bien documentées, faisant suite à une thèse en médecine focalisée sur les maladies liées à des problèmes intestinaux. Parmi ses commentaires à propos des nombreuses recommandations qui envahissent les réseaux sociaux sur des aliments que nous devrions éviter, elle nous fait remarquer que ce sont surtout les excès de consommation qui, le plus souvent, entraînent les problèmes digestifs, même dans les cas les plus connus d'intolérance au gluten ou au lactose.

Les excès posent toujours des problèmes, et, parmi les primates non humains dont j'ai suivi l'alimentation dans un environnement naturel, je n'ai jamais observé ni d'animal obèse, ni aucun qui présenterait des carences en minéraux ou en vitamines dans son régime alimentaire. Cela n'arrive que pour des animaux en élevage placés dans de mauvaises conditions.

Les maladies ne sont pourtant pas le propre de l'homme qui est, lui aussi, placé dans des conditions bien éloignées de celles des milieux naturels. Car nos collègues primatologues qui suivent les grands singes — notamment Sabrina Krief qui a accompagné une population de chimpanzés sur plusieurs dizaines d'années —, ont pu observer, en dehors des blessures inhérentes à une vie arboricole et aux pièges dressés par les humains, certaines affections microbiennes courantes traduites par de la toux ou des écoulement du nez. C'est à ces occasions que Sabrina a remarqué que certains végétaux pouvaient être ingérés de façon exceptionnelle, alors qu'ils ne faisaient pas partie de l'alimentation habituelle et qu'ils semblaient favoriser leur guérison.

Au début de ce type de recherche sur ce que nous appelons la zoopharmacognosie — autrement dit l'identification d'un remède par un animal — je n'y croyais pas vraiment car le comportement alimentaire des mammifères, notamment celui des souris dans les labos, leur permet de choisir une alimentation équilibrée lorsque le choix leur est laissé par rapport à une alimentation carencée en un élément mais de composition identique, qui, au cours de la période qui précédait l'expérience, était la seule mise à leur disposition. Il se produit, très rapidement — en quelques heures ou quelques jours au maximum —, un conditionnement vers le bon choix dont la récompense est le mieux-être qui suit cette ingestion.

Pour aller plus loin dans ce type de raisonnement, parmi les maladies qui se manifestent par une souffrance physique plus ou moins intense, la faim et la soif sont, sans aucun doute, celles qui se manifestent le plus souvent... Et elles sont généralement facile à guérir en ingérant de la nourriture ou en buvant. Sans vouloir plaisanter sur le délicat sujet de la faim dans le Monde qui concerne, hélas encore, des millions d'habitants de notre planète, il s'agit bien d'une pathologie qui échappe aux définitions proposées par les médecins. Les symptômes d'une faim intense peuvent se comparer à ceux de dérangements physiologiques que l'ingestion d'une substance médicamenteuse peut soulager. Ainsi les aliments seraient des « médicaments contre la faim » consommés instinctivement — nous dirions plus précisément de manière génétiquement programmée — aussi bien chez l'homme que chez les autres primates et tous les autres animaux, jusqu'à la plus petite amibe.

Cependant, dans le cas des chimpanzés observés par Sabrina, je suis désormais convaincu que le phénomène observé va au-delà du simple conditionnement par la récompense du bien-être qui suit l'ingestion comme chez tous les autres mammifères. Car il y a une certaine transmission de l'information qui s'opère dans un groupe de grands singes, par l'observation directe entre les individus. Et ce sont les adultes expérimentés qui sont les plus observés par les jeunes lorsqu'ils choisissent les feuilles ou les écorces de certains arbres au cours des périodes où leur état pathologique ne peut guère échapper à un observateur avisé.

Parmi les végétaux dont les effets curatifs ont été observés par des primatologues, le tout premier, décrit par Huffman et Seifu en 1989, est une plante au goût très amer, *Vernonia amygdalina*, qui est d'ailleurs utilisée dans les villages des régions forestières en tant que légume-épinard — mais en la cuisant dans trois eaux successives pour la débarrasser de son amertume. C'est le Ndolé, très apprécié à l'état cuit. Huffman a observé un chimpanzé qui s'efforçait de croquer la tige de cette plante à l'amertume extrême, alors qu'il souffrait visiblement de maux de ventre et qu'il se traînait péniblement pour suivre le groupe. Les jours suivants, ce chimpanzé se portait de nouveau fort bien.

De nombreuses autres plantes ont été répertoriées depuis lors, par Sabrina Krief, comme ayant une activité pharmacologique. Elle a réalisé par la suite, au laboratoire, les analyses des extraits fractionnés par chromatographie, afin de mettre en évidence les composés actifs dont certains pourraient être utilisés par les humains contre la malaria. Il était intéressant de comparer cette pharmacopée à celle pratiquée traditionnellement dans les villages proches des forêts où se poursuivent les observations sur les chimpanzés. La collaboration avec des ethnologues et la lecture des publications sur les pratiques locales nous ont permis de mettre en évidence que beaucoup de ces plantes utilisées exceptionnellement par les chimpanzés l'étaient aussi par les tradipraticiens locaux <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00548149v2/document>> .

Le cas le plus extraordinaire concerne la consommation de terre accompagnant les plantes ingérées. En fait la géophagie — manger de la terre — n'a rien d'exceptionnel chez les primates incluant les humains et, avec L. Gueguen en 1974 <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/56/17/19/PDF/Mineraux_pour_primates.pdf>, nous en avons montré l'intérêt à propos de l'alimentation des chimpanzés que j'avais suivis au Gabon. Les minéraux contenus dans les morceaux de terre ingérés ne sont absolument pas assimilables ; en revanche cette terre argileuse, généralement remaniée par des insectes comme les termites ou des larves de cigales, a la propriété d'éliminer les tannins des plantes consommées en même temps, par un phénomène d'adsorption, c'est-à-dire de fixation des molécules entre les feuillets d'argile de taille microscopique, sans aucune réaction chimique. On mettait à profit un tel phénomène au début du siècle dernier, en Italie, pour rendre consommables des galettes faites avec des glands de chêne en mélange avec un peu d'argile. Sans cela elles seraient quasi immangeable non seulement à cause du goût épouvantable que donnent les tannins des glands, mais également en raison de l'effet des composés tanniques qui se lient aux protéines et peuvent rendre l'aliment totalement indigeste.

Au cours des observations sur les chimpanzés réalisées par Sabrina, une petite quantité de terre était systématiquement consommée en même temps (ou presque) que des feuilles de *Trichilia rubescens* dont elle avait montré l'efficacité pharmacologique des extraits contre la malaria. Mais seule une petite fraction de ces extraits était efficace. C'est alors que Sabrina, avec Noémie Klein qui était en stage dans notre laboratoire, décida d'analyser un mélange de terre avec les feuilles de *Trichilia rubescens*. Une grande partie des produits qui avaient été mis en évidence mais qui n'avaient aucune activité furent éliminés par l'effet de leurs liaisons sur les argiles du mélange, mais la fraction active restait intacte. Donc le mélange avec la terre confère une plus grande efficacité à cet extrait en éliminant les composés sans efficacité <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00114-007-0333-0>>. Le plus surprenant fut d'apprendre par le praticien de la médecine traditionnelle d'un village localisé non loin de la forêt abritant les chimpanzés — auquel nos collègues rendirent visite — qu'il prescrivait aux malades victimes de diarrhées de consommer, en même temps que des plantes comme *Trichilia rubescens*, un peu de la terre qui provenait du même site !

Les compléments alimentaires

Les résultats des recherches de terrain sur les primates non humains et chez l'homme ne sont pas toujours aussi spectaculaires et démonstratifs que ce que l'on observe chez les chimpanzés. C'est ainsi que j'ai eu l'occasion d'expérimenter, à Madagascar, une particularité de l'alimentation de l'un des prosimiens récemment décrits, *Hapalemur aureus*, grand consommateur de tiges et de feuillages et surtout d'une espèce de bambou toxique, *Cephalostachium viguieri* qu'aucun autre animal ne pourrait consommer sans être empoisonné. Ce prosimien avait été vu en train de consommer de la terre par les surveillants du Parc National de Ranomafana, et je leur ai demandé de collecter un peu de cette terre, exactement sur le site où elle avait été consommée. Je leur ai demandé également de me procurer quelques pousses du bambou toxique, afin de les emmener à l'Université d'Antananarivo où notre collègue et ami Victor Jeannoda est le principal responsable d'un laboratoire où se pratiquent des analyses de composés toxiques et des tests de toxicité sur des animaux de laboratoire.

Dans une première phase de notre expérimentation, nous avons mélangé le jus du bambou toxique, d'aspect glauque et opaque, avec la terre collectée sur le site où vivent les hapalémurs. Nous avons obtenu, après centrifugation, une solution verte d'une grande limpidité : les argiles avaient effectivement capturé la plupart des tannins, et éventuellement, le pensions-nous, les produits toxiques dont l'hapalémur ne subit jamais les conséquences.

La suite de cette expérience pourrait sembler décevante car ce beau liquide vert purifié avait conservé toute sa toxicité (mortelle !) lorsqu'il fut donné à des souris. Autrement dit la consommation de terre pratiquée par le hapalémur n'est pas ce qui lui permet de résister à la toxicité du bambou. C'est ici l'un de ces résultats négatifs qui ne sont généralement pas publiés dans les journaux scientifiques. Nous avons cependant décidé de publier ces résultats <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00556252/document>>, car cette expérience implique d'autres mécanismes permettant au hapalémur de résister à certaines substances toxiques ; et ce sont des mécanismes qui restent à découvrir...

Mais il ne faut pas confondre l'ignorance avec la conscience des limites de nos connaissances, en particulier sur les activités des produits proposés comme compléments à l'alimentation des humains. Ces produits, incluant des argiles parfois ingérées, ou certains extraits de plantes, ou même des produits synthétisés dans les laboratoires des grandes entreprises, ont le plus souvent des conséquences sur la santé de la personne qui les avale, mais pas nécessairement bénéfiques.

On retrouve dans l'ouvrage de Giulia Enders dont nous parlions plus haut, un point de vue bien documenté — incluant au total la lecture critique de plusieurs centaines de travaux publiés entre 2010 et 2013 — en particulier dans ce

domaine des produits complémentaires de l'alimentation. Elle nous précise la façon dont ces compléments interagissent avec la flore intestinale des humains et elle montre tout l'intérêt de ceux définis comme « probiotiques » qui correspondent le plus souvent à l'introduction de nouvelles bactéries. C'est une démarche connue de longue date avec la consommation des yaourts et même l'utilisation de pastilles enrichies en bacilles lactiques dont on se doutait bien que les effets bénéfiques étaient dus à une modification de la flore intestinale — le remplacement des mauvaises bactéries par des bonnes. Mais les travaux récents sur la flore intestinale des humains, réalisés grâce au développement des dernières techniques de séquençage du génome, permettent d'en savoir davantage en détectant rapidement et en identifiant des milliers d'espèces de bactéries, ainsi que des levures, champignons et virus peuplant nos intestins.

Ainsi Giulia Enders qui poursuit sa carrière scientifique à l'Institut de Microbiologie médicale de Francfort a montré tout l'intérêt qu'il y avait à comprendre les équilibres entre cette flore intestinale — désormais désignée sous le terme de « microbiote » et presque considérée comme un véritable organe comportant davantage de cellules que tout le reste de notre corps — non seulement avec notre appareil digestif, mais également avec les autres systèmes reliés par les nerfs sympathiques et parasympathiques et impliqués dans les équilibres physiologiques. Dans ce domaine, l'une des expériences les plus spectaculaires réalisée par l'équipe de Jeffrey Gordon, à l'université de Washington, a porté sur un échange du microbiote — en fait, de tout le contenu intestinal — entre des souris dont un groupe était obèse et l'autre peu enclin à prendre du surpoids. Il en est résulté, pour le résumer rapidement, une inversion des tendances, les souris obèses retrouvant leur taille de jeunes souris sveltes, ou presque, alors que dans l'autre groupe, toutes les souris sont devenues obèses. On ne semble pas encore avoir décidé d'une expérimentation sur l'homme qui permettrait à tous les obèses du monde de se sentir rapidement beaucoup mieux ; mais l'idée, lancée par J. Gordon, reste dans l'air !

On explique cette activité spectaculaire du microbiote par une meilleure utilisation des fibres des aliments les moins digestes grâce à des bactéries qui peuplent, chez certains sujets, la dernière partie de notre intestin grêle (l'iléon) et notre gros intestin. L'évolution des humains, dans un monde où jadis la nourriture n'était pas abondante, aurait favorisé cette association avec les micro-organismes favorisant une digestion poussée mais qui, dans le monde actuel, sont responsables d'une trop forte assimilation d'une nourriture devenue beaucoup plus riche et abondante, ce qui conduit à l'obésité.

Je remarque que cela s'applique à tous les primates non humains consommateurs de fruits et de feuillages présentés dans la première partie de ce volume. Chez eux la grande capacité du gros intestin et du caecum, proportionnelle à la quantité de fibres végétales dans leur alimentation, permet le développement de cette flore intestinale indispensable à la digestion ; et dans

certains cas, comme chez un lépilémur — ce petit primate dont la physiologie digestive est proche de celle d'un lapin —, toute la digestion s'opère grâce aux micro-organismes avant que le contenu de l'intestin puisse être directement ré-ingéré.

En dehors des probiotiques favorisant la présence de bactéries bénéfiques dans nos intestins, on trouve d'innombrables produits proposés à la vente en tant que compléments pour l'alimentation, incluant même des argiles identiques à celles qui sont consommées en petites quantités par la plupart des singes et des anthropoïdes dont l'alimentation a été étudiée en milieu naturel. Ces argiles restent encore aujourd'hui, parmi tous ces produits, ceux qui présentent le moindre risque pour les humains. Elles peuvent soulager un estomac irrité et leur seul risque serait une addiction, observée autrefois chez des enfants insuffisamment nourris, qui remplissaient leur estomac avec une argile molle et en avalaient de plus en plus, car cela ne pouvait pas satisfaire leur faim et accentuait leur état de dénutrition.

Avec une alimentation équilibrée, il semble bien inutile de consommer les plus classiques des compléments en vitamines et en minéraux dont on risque un surdosage. Je fus parfois étonné par la démarche de collègues qui pouvaient avaler, au cours du petit-déjeuner, une vingtaine de pilules de toutes les couleurs afin d'éviter toute carence possible. Cette pratique permet d'obtenir, en termes de composition globale du régime alimentaire, l'équivalent de ce que nous donnons aux primates en captivité dans les zoos et les centres de recherche. Mais il est quand même plus agréable de consommer quelques fruits au petit-déjeuner, par exemple un kiwi qui apporte autant de vitamine C qu'une gélule affichant une teneur identique.

Un autre complément de l'alimentation a été expérimenté dans notre laboratoire du Muséum, à Brunoy, sur les microcèbes (*Microcebus murinus*), ces petits primates que Jean-Jacques et Arlette Petter avait jadis ramenés de Madagascar et dont l'élevage se poursuit dans des conditions particulièrement rigoureuses, pour permettre des expérimentations qui pourraient un jour aboutir à de nouveaux traitements des problèmes liés à l'obésité ou au vieillissement. Il s'agit du resvératrol qui n'est autre chose qu'un extrait de la peau des raisins et qui, parmi les composants du vin rouge, contribue, avec d'autres polyphénols (les tannins), à lui communiquer les notes astringentes de sa saveur.

L'utilisation de ces composés tanniques remonte à quelques décennies, lorsque des chercheurs ont mis en évidence ce qui fut baptisé « *French paradox* ». C'est un paradoxe français étonnant, du fait que, dans certaines régions du sud de la France, on consomme en moyenne autant de mauvaises graisses en excès que dans beaucoup de régions des USA où la population souffre de maladies cardiovasculaires généralement dues à l'obésité... Alors qu'en France, avec une alimentation aussi riche (et savoureuse !) la fréquence des affections

cardiovasculaires n'est pas significativement différente de celle du reste de la population. Et la différence essentielle entre la France et les USA, c'est la consommation du vin rouge qui accompagne, en France, ces agapes culinaires.



Le microcèbe, *Microcebus murinus*, ce minuscule primate à activité nocturne ne pesant guère plus de 100 grammes, est utilisé pour tester des régimes alimentaires dans le cadre de programmes réalisés au Laboratoire d'écologie du Muséum, à Brunoy. L'une des caractéristiques physiologiques de ce primate consiste, au cours d'une saison de grande abondance des aliments, à accumuler beaucoup de graisses sous-cutanées — notamment dans sa queue qui prend l'allure d'une grosse saucisse — comme on peut l'observer en conditions d'élevage (à gauche, dans l'élevage de Brunoy en 1987). Dans la nature, il reste alors caché dans un tronc d'arbre creux et met à profit cette réserve accumulée sous forme de graisse pour passer la saison sèche en bougeant très peu. Lorsqu'il reprend son activité (à droite, dans la forêt de l'ouest de Madagascar en 1973), nous l'avons suivi sur le terrain afin de déterminer son régime alimentaire de type frugivore incluant beaucoup d'insectes et autres petites proies animales.

Existe-t-il un aliment-miracle ?

L'idée d'un aliment-miracle a fait florès depuis longtemps et j'ai pu voir, dans les années 1980, des annonces publicitaires, dans un périodique américain, proposant des extraits de vin rouge sous forme de gélules, afin que tout le monde puisse bénéficier de l'effet protecteur du « *French paradox* ». Il ne semble pas que l'usage de ce type de complément alimentaire se soit généralisé. Car pourquoi ne pas profiter directement de la boisson originelle plutôt que de son extrait ?

L'idée a cependant été reprise lorsqu'on a constaté que l'utilisation de l'extrait purifié du vin rouge, le resvératrol, provoquait globalement l'équivalent d'une réduction de l'alimentation en contenu calorique, sur des sujets qui conservaient leur régime alimentaire habituel, sans aucune restriction. Auparavant, on avait constaté qu'une réduction du contenu énergétique — de l'ordre de 30 % de calories en moins par rapport à un régime standard parfaitement équilibré en nutriments — pouvait non seulement éviter les inconvénients de l'obésité et des maux qui lui sont liés, mais également aboutir à une extension de la durée de vie en bonne santé. Tout cela avait été déduit d'une longue expérimentation sur des macaques en élevage par des chercheurs américains du Wisconsin. Ils avaient constaté que des macaques soumis au régime avec réduction calorique vivaient plus longtemps et en meilleure santé que ceux qui avaient profité, pendant les trente années de cette expérimentation, du régime dit « cafétéria » bien équilibré en nutriments et que les animaux peuvent consommer jusqu'à satiété — et même davantage.

Le resvératrol serait-il cet aliment-miracle qui permettrait de reproduire les effets bénéfiques d'un régime « basses calories » sans en subir les inconvénients ? Ce fut la problématique des recherches entreprises sur les microcèbes du laboratoire de Brunoy ; et j'ai suivi avec beaucoup d'intérêt les travaux de mes collègues et des jeunes thésard(e)s qui ont expérimenté d'une part la réduction calorique et d'autre part, l'introduction du resvératrol dans l'alimentation des microcèbes. Il faut dire que ce petit primate non humain est le meilleur sujet d'expérience dont un chercheur puisse rêver, d'abord par sa très petite taille — proche de 100 grammes, ce qui ne coûte pas trop cher pour le nourrir et pour en loger une petite colonie dans un élevage de taille modeste —; mais surtout par sa longévité qui ne dépasse pas 10 années dans un élevage. Il est alors un « vieillard », tandis qu'il faut 30 ans à un macaque pour atteindre ce stade ultime du vieillissement qui permet d'évaluer les bénéfices que les différents régimes alimentaires peuvent apporter.

Les deux types de régimes — avec réduction calorique ou avec resvératrol — ont apporté, dès les trois premières années d'expérimentation sur les microcèbes, une nette amélioration des paramètres physiologiques liés à l'état de

santé, comparés à ceux d'un lot de témoins au régime « cafétéria ». Cela constituait déjà un résultat très intéressant, présenté dans une thèse et donnant lieu à plusieurs publications dans des revues scientifiques de haut niveau. Sur un plus long terme, il est apparu que les microcèbes soumis aux régimes expérimentaux avaient une durée de vie sensiblement plus longue, allant jusqu'à plusieurs années de bénéfice.

Bien évidemment, si l'on ne peut douter des résultats de ces expérimentations conduites avec beaucoup de rigueur, nous pouvons en discuter la signification, surtout en fonction de ce que représente le régime dit « cafétéria » des animaux-témoins utilisés pour les comparaisons. J'avais moi-même contribué à définir ce régime de base des primates en élevage à Brunoy, après un stage au zoo de Bâle où, dès les années 1970, les soigneurs réussissaient à maintenir des espèces réputées pour leur difficulté de conservation en zoo. La partie principale du régime dont j'ai rapporté la formule consiste en un « gâteau des singes » fait d'un mélange de céréales cuites, bien équilibrées avec des apports de protéines et de graisses, auquel on ajoute après cuisson, une solution contenant tous les oligo-éléments indispensables, minéraux et vitamines — une démarche comparable à celle de nos semblables qui complètent leur alimentation avec des gélules afin d'être certains qu'aucun élément ne manquera. J'avais quand même ajouté à ce mélange plusieurs sucres, notamment du fructose, en fonction de ce que l'on avait appris de la composition des fruits et des nectars de plantes de Madagascar dont j'avais observé, sur le terrain, la consommation par des microcèbes <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00561767/document>>. Nous étions alors loin de nous douter que le fructose allait devenir, en raison de son faible prix, si abondant dans les aliments préparés industriellement qu'il peut *devenir* nocif, comme tout ce qui est consommé en excès.

Ce régime offert aux primates en élevage est évidemment bien loin de correspondre à la variété d'un régime naturel, même si les responsables des animaleries s'efforcent toujours d'y ajouter quelques compléments, feuillages, fruits ou insectes momentanément disponibles, mais évidemment pas au cours des expériences. L'addition du resvératrol dans l'alimentation des microcèbes, pourrait être vue sous l'angle d'un rapprochement de l'alimentation avec celle que les microcèbes consomment dans la nature où la grande majorité des espèces végétales renferment des tannins. Ainsi ce serait cette alimentation supplémentée en resvératrol, plutôt que le régime standard, qui correspondrait davantage à la physiologie digestive du microcèbe, ce que j'avais suggéré lorsque nous avons analysé ces résultats, dans un ouvrage de 2011 (en français) sur les dépenses énergétiques <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00601628/document>>.



Un nectar pour les microcèbes : chacun des uniques pétales de chaque fleur du grand arbre *Delonix floribunda*, est rempli d'un demi-gramme d'un nectar très sucré que les petits prosimiens de l'est de Madagascar peuvent venir lécher. Un microcèbe, observé en décembre 1973, a passé une nuit entière d'activité dans un seul arbre pour aller de fleur en fleur consommer ce nectar.

Cette remarque ne met aucunement en doute les résultats publiés par nos collègues du Laboratoire du Muséum à Brunoy. Elle met en perspective une interprétation qui prend en compte tout ce que nous savons ou que nous pressentons du rôle des tannins et d'autres composés secondaires dans les aliments des milieux naturels qui permettent aux populations de chimpanzés et autres anthropoïdes de se maintenir en bonne santé. Ce serait une alimentation contenant des tannins qui serait la meilleure pour des primates, homme compris, alors que nous avons éliminé de nos assiettes, depuis bien longtemps, les variétés de pommes et de poires qui présentent ces goût particuliers que l'on peut apprécier à faible dose, — comme dans les vins rouges — mais qui sont suivis d'un effet râpeux sur la langue, provoqué par la réaction chimique des tannins qui se combinent avec les protéines de notre salive.

En ce qui concerne les primates, macaques ou microcèbes, dont l'alimentation a été notoirement réduite à titre expérimental — environ 30 % de moins en valeur calorique par rapport au régime « cafétéria » — nous devons également reconsidérer les résultats de l'expérimentation en tenant compte de ce que représente une alimentation très abondante ou trop abondante, par exemple celle d'un américain moyen de notre siècle, avec la prévalence de l'obésité et des maladies cardiovasculaires qui lui sont liées. Ce serait ce type de régime excédentaire qui servirait de référence pour le comparer à un régime allégé de

microcèbe. Ce point de vue n'a pas échappé à Fabien Pifferi qui, au laboratoire de Brunoy, a dirigé une partie des expériences sur l'alimentation des microcèbes ; et je fus très agréablement surpris de lire dans son dernier mémoire de 2015 — une Habilitation à Diriger les Recherches (HDR) qui justifie, de fait, tous les travaux qu'il a déjà dirigés — qu'il pourrait s'agir surtout, dans les comparaisons entre les régimes alimentaires des microcèbes, d'une optimisation calorique. Ainsi la réduction calorique serait équivalente à une modération de la prise alimentaire, ce qui, de fait, va exactement dans le sens des actuelles recommandations de l'OMS pour l'alimentation humaine.

Les recherches sur les primates non humains continuent cependant à ouvrir de nouvelles perspectives, en particulier sur des aliments dont la consommation nous serait bénéfique. On peut trouver dans ce domaine une grande variété d'annonces sur Internet ou dans des publicités affichées, parfois totalement fantaisistes mais parfois également basées sur des études sérieuses. Il en résulte en général une certaine vogue temporaire pour un type d'aliment bien défini — même pour du chocolat, on a vu cela récemment —, avec une vague sur laquelle surfent les agences publicitaires de tout poil lorsqu'un scientifique a mis en évidence une corrélation entre l'utilisation fréquente de cet aliment et la meilleure santé d'une petite population. Ces modes ne durent généralement qu'un temps mais il n'en est rien à propos des aliments riches en oméga-3, ces corps gras polyinsaturés que l'on trouve en grande quantité chez plusieurs espèces de poissons.

Il y a quelques années, j'avais vu passer cette vogue pour les oméga-3, reprise par les agences de publicité, sans y prêter plus d'attention qu'aux nombreuses autres annonces. Les récents travaux, notamment ceux de Fabien Pifferi, effectués dans notre laboratoire du Muséum à Brunoy et résumés dans son mémoire d'HDR, nous apportent des explications sur les mécanismes impliqués dans le rôle de ces corps gras indispensables dans notre alimentation ainsi que sur les stratégies possibles pour en tirer le meilleur bénéfice.

Ce sont encore les microcèbes du laboratoire du Muséum à Brunoy qui ont servi pour les dernières recherches visant à améliorer l'état de santé au cours des phases de vieillissement et, éventuellement, à réduire l'incidence de la maladie d'Alzheimer. Un régime enrichi en lipides polyinsaturés (les oméga-3), s'il est donné à ces animaux avant leur phase de vieillissement, améliore sensiblement leurs performances cognitives mesurées plus tard — mais avant qu'ils n'approchent l'âge-limite de dix ans —, par rapport à celles d'autres vieux microcèbes soumis au régime « standard ». Les expériences ont montré notamment, que leur mémoire visuelle leur permet de mieux s'orienter dans un labyrinthe.

D'un point de vue physiologique l'apport en oméga-3, en favorisant le développement des gaines de myéline autour des fibres nerveuses, aboutit à une meilleure utilisation du glucose, le carburant indispensable du cerveau, grand

consommateur d'énergie. Cependant, les suppléments en oméga-3 réalisées chez les humains, sur des petits groupes de volontaires, n'ont pas été aussi concluantes que les expérimentations sur les primates non humains ; et l'on considère surtout que c'est le manque de ces graisses particulières — lorsque trop peu de poissons gras sont consommés par exemple — qui augmente le risque d'un vieillissement précoce.

De telles observations relatives aux pratiques alimentaires ont dû se répéter à de nombreuses occasions au cours de l'histoire de l'humanité car la grande majorité des régimes actuellement en pratique, aussi variés soient-ils, semblent parfaitement équilibrés. La découverte des vitamines en tant qu'éléments indispensables dans l'alimentation ne date que de l'époque des longs voyages à la voile, au cours des siècles passés, où l'on s'est aperçu qu'il fallait embarquer des fruits frais en quantité suffisante pour éviter que l'équipage ne soit atteint du scorbut ; et cela bien avant d'avoir identifié l'acide ascorbique (la vitamine C) comme une sorte de médicament préventif du scorbut.

Il en fut de même pour d'autres vitamines ainsi que pour des oligo-éléments, généralement présents en très faible quantité — mais indispensables —, dont on ne constate les effets que lorsqu'on en manque. C'est le cas de l'iode dont le manque ou la trop faible quantité dans l'alimentation se manifeste par une excroissance de la glande thyroïde et par le goître qui était encore observé, au siècle dernier, dans certaines régions montagneuses d'Europe. En Afrique continentale, lorsque la végétation se développe sur un socle ancien granitique, très pauvre en iode, nous avons observé la quasi totalité d'une population Ngbaka vivant avec un goître endémique. C'était impressionnant et cela faisait partie du quotidien de voir toutes ces personnes avec un cou très enflé. Toutefois cette insuffisance de l'iode dans l'alimentation n'existait probablement pas au cours des siècles qui ont précédé les échanges commerciaux à longue distance, avec l'importation du sel de mer à faible teneur en iode ainsi que la culture du manioc dont une détoxification insuffisante de l'acide cyanhydrique contribue à la genèse du goître endémique. Au contraire, aucun cas de goître n'était signalé dans les publications du début du siècle dernier, lorsque les aliments étaient cuits avec un sel végétal fabriqué localement en solubilisant des cendres de plusieurs végétaux, ce qui lui donnait une teneur en iode tout à fait suffisante.

Cet équilibre global dans la composition des régimes alimentaires traditionnels n'a rien de réellement surprenant, même pour des populations qui ignorent les rôles spécifiques des oligo-éléments ou des vitamines. D'une part en raison de la perception de l'effet bénéfique de l'ingestion d'une nourriture bien adaptée, dont on a montré l'efficacité chez les primates non humains et les autres espèces animales ; d'autre part en raison du temps long, au cours duquel nos ancêtres les plus lointains ont ajusté les stratégies d'utilisation de leur milieu, ce qui implique nécessairement des essais et des erreurs qui ont pu avoir des conséquences fatales dont on ne retrouve généralement pas la trace.

Produits toxiques et drogues

Parmi les populations forestières dont quelques exemples des régimes alimentaires sont présentés dans les pages qui précèdent, on cite souvent des cas d'empoisonnements mortels accidentels — je ne parlerai pas ici des empoisonnements de nature criminelle. Mais je ne connais qu'un seul cas qui soit parfaitement vérifié, décrit par notre collègue Alain Epelboin, concernant l'utilisation d'une igname, *Dioscorea dumetorum*, dont la forme sauvage renferme de la dioscine, un poison mortel que la cuisson ne détruit pas. Ses effets semblent aussi ravageurs que ceux de l'amanite phalloïde, le champignon le plus dangereux de nos régions septentrionales.

Cet accident dramatique résulte de la confusion entre cette igname sauvage et la forme cultivée de cette même espèce qui, à la suite d'une sélection par l'homme, ne contient plus de dioscine <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00387588/document>>. On la trouve dans les plantations mixtes des Ngbaka, parmi d'autres ignames cultivées, les taros et les bananiers. Sous cette forme se développe un tubercule délicieux, non seulement riche en amidon mais qui contient aussi des protéines végétales dans des proportions non négligeables, ce qui lui confère une qualité nutritionnelle bien supérieure à celle du manioc ou des taros. La forme sauvage — non domestiquée et très toxique — de cette espèce se développe à la lisière de la forêt et dans des espaces ouverts, mais jamais en pleine forêt où il ne pousse aucune espèce toxique d'igname.

Des enfants Pygmées dont les parents s'étaient absentés du campement avaient collecté, sur une lisière, les magnifiques tubercules de cette igname. Ils l'avaient cuite et consommée, sans en avoir réellement la nécessité car leur mère avait pris soin de leur laisser des taros cuits en quantité suffisante. C'était un peu une façon de jouer aux adultes... Deux garçons en ont mangé en grande quantité sans qu'aucun adulte n'ait eu l'occasion de voir précisément ce qui se passait dans ce groupe d'enfants. La fillette qui avait préparé l'igname en a consommé nettement moins et c'est certainement ce qui l'a sauvée. Lorsque les parents sont rentrés au campement, ils ont compris le malheur qui s'abattait dès qu'ils ont pu identifier l'igname qui rendait les enfants affreusement malades. Ils les ont transportés à l'hôpital de la ville de Zomia où les deux garçons sont décédés.

La présence de ces produits toxiques chez certaines espèces végétales s'explique par la résistance aux animaux consommateurs qu'elle confèrent aux plantes dont les formes toxiques se maintiennent durablement. Cependant nous avons appris avec les Pygmées que toutes les formes de forêt des ignames étaient comestibles et certaines de leurs racines tubérisées pouvaient même se consommer à l'état cru. Qu'en est-il de toutes les autres espèces si diversifiées des forêts denses humides des régions tropicales et équatoriales ? Pour répondre à cette question, nous avons profité de l'un de nos séjours au Gabon pour tester la fréquence des

alcaloïdes parmi 382 espèces collectées et identifiées par Annette Hladik — et formant un échantillon jugé représentatif de la variabilité de la forêt — sur lesquelles les réactifs de Mayer et de Dragendorff permettaient de déceler la présence des alcaloïdes. Car les alcaloïdes sont des formes chimiques variées qui incluent une grande partie des produits toxiques des végétaux. Cette étude <<https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/561735/filename/Ecol-Gabon-alcal.PDF>> nous a permis de montrer que les réactifs traduisaient la présence très probable des alcaloïdes chez 12 % des plantes de pleine forêt et de 17 % des végétaux incluant ceux des lisières et des berges du fleuve.

Cependant la toxicité effective de ces alcaloïdes n'est pas du tout évidente lorsqu'on sait que la caféine d'une tasse de café ainsi que beaucoup d'autres substances habituellement utilisées par les humains peuvent avoir une activité stimulante et non toxique aux doses habituellement consommées. De fait, si nous considérons séparément, dans notre échantillon de plantes de la forêt du Gabon, toutes celles qui sont habituellement consommées par les chimpanzés, nous trouvons parmi ces dernières, le même pourcentage d'espèces contenant des alcaloïdes que dans le reste de l'échantillon. Autrement dit, les chimpanzés ne sélectionnent pas leur nourriture en fonction d'une possible toxicité qui pourrait être détectée par le goût amer que possèdent la plupart des alcaloïdes — il s'avère donc que tous les végétaux qu'ils consomment dans la forêt ne sont jamais plus toxiques que le café de notre petit-déjeuner...

Même parmi les champignons qui poussent dans ces forêts sempervirentes où nous avons eu la surprise de trouver la chanterelle ou girole — la même que chez nous, *Cantharellus cibarius* — que nous avons consommée au Gabon bien plus qu'au cours de nos séjours en Auvergne ! Les formes toxiques semblent inconnues dans les forêts sempervirentes, en particulier parmi les grands champignons qui poussent sur les termitières et les nombreuses autres espèces consommées par les Pygmées. Car une grande partie des produits toxiques présents dans les végétaux sont effectivement des alcaloïdes. Qu'ils soient toxiques ou non, ils ont généralement un goût amer très prononcé tel que perçu par l'homme, et aussi, d'après leurs réponses comportementales, perçu par les autres primates. Cette perception du goût amer résulterait d'une pression de sélection sur les consommateurs potentiels dont nous avons constaté la grande acuité gustative, avec la perception de très faibles doses d'alcaloïdes comme la quinine que nous utilisons pour ce type de test. Bien évidemment, en ce qui concerne la toxicité, tout est une question de quantité ingérée mais ces doses et/ou la toxicité des substances sont beaucoup plus fortes chez les végétaux vivant hors du milieu forestier, là où la compétition entre un nombre réduit d'espèces végétales — même si elles restent nombreuses — a vraisemblablement favorisé les formes toxiques incluant l'igname toxique, *Dioscorea dumetorum*. En revanche, la grande forêt sempervirente reste une sorte de paradis terrestre diversifié à l'extrême, où tout ou presque semble consommable.



Sur une piste forestière, au sud de la Centrafrique, en 1983, cette jeune mère rapportait au campement des Pygmées suffisamment de champignons pour un repas familial. Dans la forêt on ne connaît pas d'espèce toxique ; toutefois, sur les lisières et hors de la forêt, la toxicité est une forme de résistance de nombreuses plantes qu'il faut savoir reconnaître.

Dans ce cadre de la reconnaissance des produits toxiques, il nous est arrivé récemment, au Muséum, la proposition d'un étudiant qui, en fonction de la théorie publiée par un soit-disant médecin que je ne citerai pas — pas même pour une publicité négative —, voulait présenter une thèse sur les perceptions relatives à un régime dit « crudivore » pour lequel la seule odeur agréable d'un aliment suffirait à déterminer ce qui est comestible. Avec tous mes collègues qui ont été sollicités, nous avons systématiquement refusé ce projet de travail et laissons à d'autres la responsabilité d'une publication de pseudo-science dont l'approbation officielle aurait pu convaincre certaines personnes à apprécier l'odeur agréable d'une amanite phalloïde qui ressemble à s'y méprendre à celle d'un champignon comestible !

En fait, certains des composés secondaires des végétaux — ceux qui n'ont pas de fonction évidente dans le métabolisme de la plante — ont souvent à la fois un effet toxique et une activité bénéfique sur le consommateur. On connaît bien, par exemple, les noix de kola que mastiquent les africains ainsi que d'autres habitants de régions tropicales où les kولاتiers ont été introduits. Dans ce cas, l'effet stimulant des alcaloïdes (incluant la caféine) est complété par les propriétés anti-dépressives d'autres composés.



Au cours de la cérémonie du culte Bwiti, pratiquée à Makokou (Gabon) en 1972, les participants ont consommé des extraits de la racine d'iboga (*Tabernanthe iboga*) qui provoque des hallucinations et des trances, dans un contexte parfaitement maîtrisé par les conducteurs de la cérémonie.

La plupart de ces photographies anciennes dont l'auteur a conservé les originaux ont été reprises au scanner pour compléter, sous forme numérisée, les collections du Muséum national d'Histoire naturelle, en particulier s'il s'agit d'échantillons de plantes. Pour la diffusion de ces photos dans les livres et articles publiés en noir-et-blanc, cela nécessitait la confection d'un contretype sur film panchromatique avant d'en faire un nouveau tirage sous l'agrandisseur du labo photo.

Cependant les tirages photographiques en couleurs ont pu être utilisés pendant plusieurs décennies dans des expositions ou dans des petits volumes illustrés, après l'adoption des techniques de tirage et de développement sur papier Cibachrome dont la qualité reste inégalée. C'est le cas de la photo ci-dessus, reprise ici de notre volume publié par l'UNESCO en 1989 <<http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00644954>>.

Une autre plante est bien connue au Gabon pour son activité qui provoque des hallucinations : c'est l'iboga (*Tabernanthe iboga*) dont les extraits des racines sont utilisés avec prudence au cours de cérémonies et de danses du culte Bwiti. Les composés présents dans le feuillage, précurseurs des composés actifs de la racine de cette plante, ont été recherchés à l'Institut de Chimie des

Substances Naturelles de Gif sur Yvette où nous avons apporté plusieurs kilos de feuilles séchées selon la procédure que nous utilisions à la station scientifique de Makokou pour les collections des herbiers. L'intérêt pour ces substances porte sur leur possible utilisation dans les cures de désintoxication de drogues dures.

Mais parmi les produits à faible toxicité dont le consommateur profite d'un effet stimulant, les plus abondants dans nos sociétés occidentales sont évidemment l'alcool et le tabac. Bien que la nicotine du tabac ne soit généralement pas directement ingérée, son absorption agit de façon cumulative sur le long terme, comme celle de l'alcool, ces deux substances provoquant la grande majorité des décès prématurés dans toutes les couches sociales de nos sociétés.

Bien que n'étant pas fumeur, j'ai été personnellement face à un dilemme à propos des effets délétères du tabac, longtemps masqués — comme ceux des alcools — par une publicité incluant des déclarations volontairement truquées de certains collègues scientifiques. J'ai effectivement reçu une importante somme — plusieurs dizaines de milliers d'euros — de la Fondation Scientifique Phillip Morris dont le prix m'a été attribué alors que je venais d'être nommé professeur au Muséum national d'Histoire naturelle, en 1996, après avoir présenté les résultats de mes recherches devant un Comité Scientifique réuni dans un amphithéâtre au décor suranné.

J'avais alors quitté le CNRS pour rejoindre le corps des professeurs du Muséum afin de pouvoir maintenir notre équipe pluridisciplinaire au milieu de la tourmente des restructurations administratives. Nous manquions cruellement de crédits pour poursuivre les travaux de terrain et j'ai pu faire transiter, par l'intermédiaire d'une association, la somme offerte par les producteurs de tabac, en la convertissant en frais de missions et de gestion de notre unité de recherche dont j'avais alors la direction.

Par la suite, personne ne nous a jamais demandé la moindre communication en faveur du tabac car le comité d'attribution des prix scientifiques est totalement indépendant ; et je fus fort heureux de la continuation de nos activités scientifiques, avec la reprise de la direction de l'unité de recherche « Eco-Anthropologie et Ethnobiologie » par Serge Bahuchet, une équipe qui est toujours particulièrement active dans des recherches de pointe, notamment au Musée de l'Homme, au moment où j'écris ces lignes.

À propos et de la perception du vin et des autres boissons

Depuis la nuit des temps — c'est-à-dire, au minimum, depuis que cela fut écrit en caractères cunéiformes sur les tablettes d'argile trouvées à Sumer — les hommes ont consommé des boissons fermentées plus ou moins riches en alcool. Dans presque toutes les ethnies avec lesquelles des ethnologues ont eu des contacts, on a observé des traditions de fabrication de boissons fermentées et/ou une technique d'enrichissement en alcool de certains de ces breuvages.

En France, offrir du vin à ses visiteurs fut même, pendant très longtemps, une quasi-obligation à laquelle il était difficile d'échapper. Cela était difficile pour moi, lorsque nous rendions visite à nos cousins d'Auvergne, de refuser un verre de vin ; toutefois, peu à peu, je fus considéré comme une exception et admis comme « non buveur ». Et ce statut semble être passé dans les mœurs contemporaines — comme je l'ai constaté tout récemment lorsque de nouveaux voisins nous ont invités pour un « apéritif » — le choix étant d'emblée offert entre boissons alcoolisées ou non.

Car je ne supporte pas du tout le goût de l'alcool, et surtout son action brûlante sur l'oesophage, même s'il est combiné à celui des tannins des divers vins, généralement agréables, ou à celui des esters évoquant la fragrance des fruits mûrs dans de délicieuses boissons distillées. Cela correspond encore à l'un de mes plus lointains souvenirs, au temps de la Seconde Guerre Mondiale où nous restions chez nos grands-parents, en Auvergne, pour éviter les alertes au cours desquelles, à Paris, nous devions quitter la classe en rang par deux au son de la sirène, pour aller nous réfugier dans une des caves des immeubles voisins.

En Auvergne, ma grand-mère avait un jour préparé un dessert très alléchant avec les fraises fraîchement cueillies dans son jardin ; et comme j'étais le plus jeune à la table familiale, j'avais droit à une grosse part de ces fruits délicieusement parfumés et bien sucrés. Et puis, lorsque les fraises furent terminées, il restait dans le grand saladier un jus rouge particulièrement appétissant... On m'a offert tout ce bon jus...la quintessence de la fraise ? Ce fut la surprise de ma vie et je m'en souviens encore. C'était épouvantable car il était fait avec le vin de mon grand-père, une piquette, comme il le disait lui-même, qui venait d'une petite vigne située plus bas dans la vallée de l'Allier. J'ai recraché ce jus horrible car il était très acide et astringent et il avait aussi probablement aussi ce goût et cet effet très particulier de l'alcool que j'ai toujours évité depuis.

En fait, j'ai certainement absorbé, beaucoup plus tard dans ma jeunesse, d'énormes quantités d'alcool, directement par mes poumons, sous forme de vapeurs. Lorsque je préparais ma première thèse dans les anciens bâtiments — pas encore rénovés —, du Muséum à Brunoy, je disposais d'autant de place que nécessaire pour la préparation des lames sur lesquelles étaient fixées les coupes des intestins des primates sauvages rapportées du Gabon. J'en profitais pour faire

de grandes séries en étalant, sur plusieurs tables, les boîtes à lames remplies des alcools de plus en plus concentrés, jusqu'à l'alcool absolu, permettant de déshydrater les préparations avant de les plonger dans le toluène et de les monter sous une lamelle de verre fin. C'est toujours la technique utilisée en histologie ; mais actuellement toutes ces manipulations se font nécessairement sous une hotte aspirante qui évite au manipulateur d'inhaler les vapeurs plus ou moins toxiques. Il n'y avait rien de cela dans cet ancien bâtiment dont je profitais de l'espace libre sans gêner personne ; et ce type de manipulation sans protection est désormais strictement interdit. Il m'en reste probablement un conditionnement aversif qui a contribué à me faire éviter l'alcool éthylique, ce qui me permet d'ailleurs aujourd'hui de rester un conducteur sobre pour ramener en soirée les amis ou la famille.

En ce qui concerne les centaines d'autres composants des boissons alcoolisées, ceux qui donnent cette fragrance aux eaux-de-vie de prunes ou au kirsch, cela étonne souvent nos invités que je les apprécie dans les salades de fruits ou d'autres mélanges où le goût de l'alcool reste imperceptible car en faible concentration — il a même pu être brûlé au cours d'un flambage spectaculaire.



La vigne, *Vitis vinifera*, cultivée depuis des siècles en Europe — ici en Allemagne, près de Flein en 2014 — couvre de vastes étendues et contribue à leur prospérité. Les traditions viticoles contribuent au succès de boissons alcoolisée dont les consommateurs tendent heureusement, actuellement, à préférer la qualité à la quantité.

J'ai également beaucoup apprécié la bière dite « sans alcool », en fait avec très peu d'alcool, dès qu'elle est apparue dans le commerce. Sa légère amertume due au houblon reste aussi appréciable que dans les bières les plus alcoolisées. En fait je prépare moi-même une sorte de bière très peu alcoolisée

mais pétillante et agréable de goût lorsque j'arrive à bien en diriger la fermentation. Il s'agit d'un kéfir qui diffère de la boisson connue sous ce nom, faite à partir de lait, et traditionnelle au Moyen-Orient. Ce kéfir fabriqué chez soi est une pratique qui se transmet entre les familles ou les amis, en leur donnant une partie des ferments qui se reproduisent au cours de la préparation. Ces ferments se présentent comme des grains de gelée transparente, formés par une agglutination de monocellulaires analogues à ceux des levures de bière ; et la recette — qui, avec du sucre, inclut presque toujours une figue sèche et un morceau de citron — est disponible sur de nombreux sites Internet.

Quid des vins sans alcool ou à très faible teneur ? Ils restent rares dans les circuits commerciaux car ils sont généralement peu appréciés. En fait on ne trouve que des vins de seconde catégorie dont la fermentation a été stoppée avant que l'alcool ne se forme. C'est bien dommage car les dégustations de bons vins sont des événements conviviaux qu'il est agréable de partager — même si l'on ne boit pas, d'ailleurs. Il eut été agréable d'avoir l'un de ces très bons vins débarrassé de la plus grande partie de son alcool pour accompagner les autres buveurs. J'avais, dans cette optique, une idée technique que je souhaitais développer avec les techniciens de la bière sans alcool, ceux que je pouvais rencontrer au cours de colloques internationaux sur la perception gustative. On sait qu'il y a au moins deux procédés pour éviter ou éliminer l'alcool : le plus simple est de stopper la fermentation, tandis que la procédure la plus délicate à mettre en œuvre consiste à passer le liquide sous pression sur une membrane semi-perméable qui ne laisse passer que certaines molécules, dont celles d'alcool. Le second procédé est coûteux car il nécessite une installation industrielle analogue à celle des usines où l'eau de mer est débarrassée de la plus grande partie de ses sels pour produire de l'eau douce. La mise au point d'un appareil de table qui effectuerait cette fonction rapidement en débarrassant de son alcool un seul verre de ces excellents vins prestigieux à partager avec ses amis nécessiterait, sans aucun doute, des capitaux importants. Je garde cependant cette idée en tête car il y a toujours dans un groupe d'amis la personne qui les reconduit en voiture et qui ne boit pas d'alcool. Cela constitue un énorme potentiel commercial de millions d'appareils à fabriquer et à vendre. A quand l'apparition de ce gadget dont je n'ai pas réussi à faire passer l'idée ?

On constate heureusement, dans les tendances actuelles, avec cette nouvelle reconnaissance du statut de « non buveur », une diminution globale et une recherche d'une meilleure qualité des vins et autres boissons alcoolisées chez la plus grande partie des consommateurs. Mais un autre problème, plus difficile à résoudre, se pose actuellement dans nos sociétés d'abondance, à propos des boissons non alcoolisées mais très chargées en sucres comme les sodas et autres boissons gazeuses.

Comment modifier les perceptions gustatives ?

Je suis parfois effaré de découvrir, sortant d'un supermarché, un(e) client(e) poussant un lourd chariot totalement rempli par des bouteilles de sodas fortement sucrés. Il s'agit vraisemblablement du ravitaillement de familles chez lesquelles l'eau n'est certainement pas considérée comme une boisson. D'ailleurs les menus pour les enfants proposés par les enseignes de restauration rapide incluent presque toujours ces boissons sucrées qui sont une des causes de l'obésité observée de plus en plus fréquemment. Il s'y ajoute le plus souvent des aliments trop gras, trop salés et trop sucrés, pour reprendre les bonnes paroles diffusées avec les annonces mais qui échappent trop souvent à leur objectif.

Dans ce domaine, nous avons participé à une étude concernant des cas d'obésité extrême chez des adolescents pris en charge dans un centre de la Croix-Rouge où il était question de « guérir » les mauvaises habitudes alimentaires par une éducation et un régime bien adapté, riche en fruits et en légumes. Les résultats très variés de cette « cure » s'expliquent par le système de perception et ses variations d'un individu à un autre, dont nous avons montré l'essentiel dans le e-book en libre accès internet <<http://ebook.ecog-obesity.eu/chapter-nutrition-food-choices-eating-behavior/taste-obesity/>>. Notre texte en anglais, originellement destiné au corps médical, porte sur les mécanismes à la fois physiologiques et psychologiques qui modulent les préférences alimentaires. Il s'est avéré que, parmi les adolescents en surpoids dont nous avons mesuré l'acuité des perceptions gustatives, ce sont les plus fins goûteurs dont les préférences alimentaires varient le moins et ne s'améliorent hélas que très peu — ou pas du tout — en dépit d'un bon suivi du programme éducatif pendant une dizaine de mois.

Car l'extrême sensibilité de ces adolescents ne porte pas uniquement sur la perception gustative mais sur l'ensemble des systèmes perceptifs. On détecte chez eux une capacité de « super-goûteurs » en leur proposant de tester une série de dilutions d'un produit très amer, le PROP (propylthiouracile) auquel ils réagissent à des concentrations si faibles qu'elles ne sont pas perçues par la plupart des gens. C'est une sensibilité gustative extrême qu'ils éprouvent aussi vis-à-vis des autres substances sapides, sucres, sels et acides. Mais ils sont également très sensibles à la musique et réceptifs aux autres événements artistiques. Cette hypersensibilité globale constitue un obstacle à l'introduction de nouveaux fruits et légumes dans une alimentation beaucoup trop limitée en diversité. Nous n'avons pu que le constater sans pouvoir proposer une solution permettant d'échapper à l'obésité lorsqu'elle est liée à cette particularité psychophysiologique.

Heureusement, dans la plupart des cas, les habitudes alimentaires peuvent être améliorées en modifiant la néophobie, c'est à dire la réaction négative face à tout aliment nouveau, notamment vis-à-vis de légumes un peu amers comme par exemple les endives. Cette caractéristique de base du comportement

alimentaire — dont on comprend l'importance dans les milieux où il faut éviter les substances toxiques — ne peut changer que très progressivement ; et c'était le but de ce stage au long cours où des légumes très variés étaient proposés à ces enfants obèses chez lesquels on a mesuré la variation d'un indice de néophobie entre le début et la fin du stage.

Car l'image mentale que nous avons de nos aliments ne dépend pas des seules stimulations plus ou moins intenses des bourgeons du goût de notre langue, c'est-à-dire les signaux qui vont aboutir dans un petit noyau de l'aire orbito-frontale de notre cortex cérébral. Beaucoup d'autres signaux convergent dans cette aire de notre encéphale que Tom Scott avait réussi à explorer chez un macaque en lui implantant des micro-électrodes. Les autres signaux qui aboutissent sur ce petit ensemble de neurones incluent notamment ceux de l'olfaction — on sait bien que le goût d'une orange semble totalement différent lorsqu'on a le nez bouché — mais également des signaux visuels — avec un goût qui semble meilleur pour des fruits bien rouges ou une disposition artistique des aliments dans son assiette —, ainsi que les signaux en provenance de notre système circulatoire, en fonction du taux de glucose dans notre sang, qui traduit la faim lorsqu'il baisse et correspond alors à des goûts plus agréablement perçus lorsque nous sommes affamés !

Ce qui est moins bien connu parmi cet ensemble de signaux qui convergent sur l'aire de la gustation de notre encéphale, ce sont les signaux tactiles qui se combinent avec ceux qui indiquent la température de l'aliment que nous avons en bouche. Ce sont non seulement ceux du craquement de la croûte du pain, mais également le glissement des corps gras (ou de celui d'une huître) dont la nature est précisée par d'autres signaux. Cette composante du goût correspond au sens du toucher ; et l'on peut en prolonger l'origine jusqu'à l'extrémité de nos doigts.

En effet, manger « avec sa main », comme on le dit en Inde — et non « avec ses doigts », c'est plus vulgaire —, est un spectacle des plus élégants auquel j'ai eu l'occasion d'assister. Cette façon de saisir la nourriture après avoir mélangé plusieurs ingrédients disposés sur une feuille de bananier, et de l'amener en bouche d'un geste élégant, permet, en premier lieu, de ne jamais se brûler la bouche avec un aliment trop chaud ; mais ce n'est pas tout. Le sens du toucher s'intègre d'autant mieux dans la perception gustative qu'il permet de mieux percevoir la structure, lisse ou granuleuse par exemple, en même temps que la couleur, et de commencer ainsi la dégustation avant la mise en bouche.

Il est regrettable que cette manière de table — la plus répandue sur la Terre il y a quelques années — soit actuellement très mal considérée et que le conditionnement et la structure de la plupart des aliments cuits nécessite, pour les porter en bouche, la fourchette ou la cuillère. Une étude scientifique de cette partie des perceptions gustatives ne semble pas avoir été réalisée jusqu'à présent ; et je n'ai pas réussi à convaincre une indienne en stage dans notre équipe du Musée de

l'Homme, d'entreprendre une recherche sérieuse sur un sujet relatif aux perceptions des humains qui ont un contact tactile direct avec la nourriture. Le sujet reste à explorer.

Toutes ces perceptions physiques ne constituent cependant que la partie émergée de l'iceberg de nos appréciations des goûts des aliments. Nous, les être humains — et probablement aussi, dans une certaine mesure, certains primates non humains — avons conscience du contexte socioculturel où se situent les différentes formes de notre nourriture. Il s'agit notamment du prestige de certains aliments dont les ethnologues, en particulier Igor de Garine — avant et après la constitution de notre unité de recherche —, ont démontré la prégnance, avec souvent une inversion totale des goûts perçus et des préférences, d'une ethnie à l'autre, selon les systèmes de représentation.

C'est essentiellement sur ces systèmes de représentation, en partie inconscients, que se joue notre avenir individuel et collectif. Car pour les adolescents obèses dont nous voulions améliorer le sort par une éducation appropriée, il s'agit surtout de valoriser une image mentale des fruits et légumes afin de déplacer le curseur de leur néophobie. Et il en est de même à l'échelle des sociétés actuelles qui, plutôt que d'aller vers les excès que l'abondance permet d'atteindre, pourraient développer le prestige de la modération.

Cet aspect inconscient de nos représentations mentales des aliments correspond, de fait, à un lien physique bien identifié, complétant toutes les afférences des fibres nerveuses issues de notre langue, de notre nez et des organes du toucher qui convergent dans l'aire de la gustation de notre encéphale. C'est ainsi qu'avec un test « en aveugle » — en voyant les aliments sans leur étiquette de provenance — on détermine le goût des aliments les plus prestigieux, par exemple celui d'un saucisson habituellement très apprécié, comme étant moins bon que celui d'un même type d'aliment vendu à bas prix dans un supermarché. Mais l'évaluation gustative est totalement inversée lorsqu'on connaît la provenance de ces aliments et le prestige dont ils jouissent dans nos sociétés. Et tout cela n'est pas du seul domaine de la psychologie, car les fibres nerveuses issues des aires de la mémoire consciente sont des réalités matérielles qui influencent nos perceptions.

Ainsi, nous pouvons dire, à propos des aliments « bio » qui n'ont pas nécessairement une composition différente des mêmes variétés issues de grandes cultures, qu'ils ont réellement un meilleur goût lorsque que nous avons conscience de leur provenance. Et il s'agit là d'une perception gustative tout à fait réelle, c'est-à-dire résultant évidemment de notre connaissance d'un effet bénéfique sur notre environnement du mode de culture sans pesticides, mais aussi du goût meilleur réel que les neurones de notre centre de la gustation nous font parvenir comme réponse intégrée.

Aliments et paysages, de Los Angeles à Kyoto

En dépit d'une mondialisation qui tend à en estomper les différences, les traditions alimentaires pourraient être les derniers marqueurs des cultures régionales et des paysages qui leur sont associés. Aux âges de nos retraites, lorsque nos activités scientifiques dans les régions tropicales n'occupaient plus l'essentiel de nos vies, nous avons eu l'occasion de découvrir les paysages diversifiés des hautes latitudes — en particulier ceux du Japon et des USA que tout oppose dans le domaine de l'alimentation.

Ces récents voyages correspondent à une période où les responsables politiques se préoccupent de préserver la santé de la population en tentant d'éviter cette véritable « épidémie de l'obésité » qui gagne toutes les régions du Monde. Mais aux USA, Barack Obama doit faire face aux lobbies des producteurs de sodas et de fast food dans le contexte d'une réforme des assurances contre les maladies où l'on ne peut pas ignorer les relations entre l'obésité et les maladies cardiovasculaires ou le diabète. De l'autre côté de la planète, dans un Japon où il est difficile de trouver une seule personne obèse au milieu d'une foule prise au hasard, on s'inquiète pourtant des tendances d'une jeunesse qui a déjà adopté certains menus occidentaux — accompagnés de sodas très sucrés comme celui qu'un pharmacien américain a inventé à la fin du XIX^e siècle et dont il avait proposé les premières formules comme des médicaments revigorants.



Cherchez un(e) obèse sur cette photo prise au hasard dans une ville japonaise... vous n'en trouverez pas car ils y sont encore exceptionnels ; et les responsables de la santé cherchent à maintenir le statut nutritionnel de cette population qui demeure privilégiée dans ce domaine par rapport au reste du Monde.

Du côté américain, nous avons pu observer une sorte d'obésité généralisée : lorsque les restaurants ou les cafés sont fréquentés par la population d'une petite ville, il est généralement difficile d'y trouver une personne qui ne soit pas obèse ou, pour le moins, en surpoids. Nous y étions partis à la découverte des grandes étendues du sud de la Californie et du Nevada, accompagné uniquement par mon fils, car il fallait les parcourir en moto afin d'en percevoir pleinement l'immensité qui défie tout ce qu'on peut voir en Europe.

Cependant, les aliments classiques des petits restaurants américains sont très goûteux et je garde un excellent souvenir de quelques repas choisis selon les normes locales et particulièrement riches en graisses mais tout à fait délicieux. On comprend que l'on puisse dépasser facilement, avec cette alimentation, la quantité de calories que nos modes de vie de plus en plus sédentaires ne permettent pas de dépenser !



Dans un restaurant de Los Angeles, cette nourriture abondante et riche en graisses est dans la norme de ce qui est consommé. Son goût délicieux est certainement une des causes de la prévalence de l'obésité !

Du côté Japonais — où notre fille, connaissant bien la langue et la culture, nous a introduits à la sobriété de l'habitat et aux pratiques alimentaires très formalisées —, nous avons d'abord été invités, mon épouse et moi-même, par un collègue de l'Université de Kyoto. Chacun de nous a présenté aux étudiants japonais travaillant sur le continent africain, ses résultats portant à la fois sur les structures des forêts et la production des aliments consommés par les primates. Cela a permis des échanges informels, souvent plus efficaces que dans les colloques scientifiques, en particulier à propos des ignames sauvages comme apport principal d'énergie pour des populations humaines, ainsi que cela est présenté dans les chapitres qui précèdent.

Ce fut aussi pour nous la découverte des parcs et jardins à la saison où les feuilles rougissantes des érables produisent ces couleurs si somptueuses, autour des palais des empereurs et des temples. Mais le Japon doit également se visiter au printemps, à la saison où fleurissent les cerisiers — ces arbres cultivés uniquement pour leur qualité florale, plantés dans tous les parcs et les allées des villes —. C'est une période où chacun revient s'émerveiller devant les fleurs et au cours de laquelle des pique-niques sous les cerisiers s'organisent en famille ou entre amis. Un second séjour à Kyoto nous a permis de participer à ces festivités collectives, alors qu'on étale au sol, sur une bâche, toute la diversité des aliments traditionnels incluant beaucoup de crudités.



Sous les cerisiers en pleine floraison, dans le jardin botanique de Kyoto, les pique-niques sont particulièrement appréciés, entre amis ou en famille.

Par opposition avec la consommation d'aliments crus, depuis la publication de l'ouvrage de Claude Levi-Strauss « Le cru et le cuit » en 1964, les aliments cuits peuvent être considérés par des ethnologues comme les marqueurs culturels et symboliques des civilisations humaines. Je n'irai pas jusqu'à dire que la cuisson est davantage un fait biologique que culturel ; toutefois nous avons remarqué que la transformation par la chaleur des tubercules et des graminées — qui double leur apport calorique — a vraisemblablement permis la transformation du crâne des premiers humains avec une denture qui aurait été insuffisante <http://www.mediachimie.org/sites/default/files/chimie_alimentation_185.pdf> pour se nourrir d'aliments crus. Ainsi l'utilisation actuelle de crudités, fruits, légumes, viandes ou poissons, outre les apports en vitamines non détruites par la chaleur offre aussi l'avantage d'un apport calorique limité.

L'une des caractéristiques de l'alimentation au Japon est, en effet, l'utilisation d'aliments crus, notamment le poisson très frais qui, mêlé au riz cuit des sushis, leur confère un goût très apprécié avec un apport calorique tout à fait modéré. Les algues, souvent utilisées en cuisine après leur séchage, peuvent communiquer des saveurs encore peu connues en Europe. Toutefois leur bonne digestion nécessite certaines adaptations digestives — notamment de la flore intestinale — propres aux populations de l'extrême-orient et que l'on suppose être aussi celles des populations Inuit qui ont jadis migré jusqu'au détroit de Béring.

Au Japon certainement plus qu'ailleurs, on déguste des yeux la variété et la beauté des préparations dont on est surpris par le grand nombre servi au cours d'un repas. Toutefois le nombre de ces petits chefs-d'œuvres culinaires et artistiques, qui peut dépasser la dizaine en un seul repas, correspond à un apport calorique nettement inférieur à ceux des repas occidentaux pris dans des circonstances comparables. Car c'est toujours la cuisson des aliments qui en augmente la valeur calorique depuis que les humains ont su maîtriser le feu. Ainsi l'abondance des crudités explique en grande partie la légèreté calorique de l'alimentation des japonais, avec un régime qui satisfait cependant le besoin d'une apaisante réplétion.

La sensation de réplétion, après un repas, correspond aux signaux reçus dans notre hypothalamus — le centre de la faim et de la satiété de notre encéphale — en fonction de la distension de l'estomac et du taux de glucose dans notre sang. Il s'y ajoute, comme cela fut récemment démontré, des signaux émis sous forme de protéines larguées dans le flux de notre circulation sanguine par les bactéries de notre microbiome (notre flore intestinale) qui expriment de cette façon que la quantité de nourriture ingérée est arrivée à un optimum.

Cependant le phénomène dit « satiété orale » anticipe cette réponse physiologique par une réponse précoce des neurones de notre hypothalamus. Cette réponse, spécifique à chaque aliment, correspond à une mesure cumulative de l'ingestion et aboutit à une sensation de réplétion dès que la quantité

habituellement convenable est atteinte. Ce mécanisme d'anticipation rapide peut éviter, par exemple, de boire trop rapidement une grande quantité d'eau avant que les signaux physiologiques de la dilution de notre milieu interne n'aient eu le temps de se manifester, ce qui, à la limite serait extrêmement dommageable pour nos reins. Mais cette réponse anticipée dépend de chaque catégorie d'aliment ou de boissons ; et les repas variés permettent de remettre le compteur à zéro à chaque nouveau plat. Cela pourrait entraîner l'ingestion d'énormes quantités au cours d'un grand festin, sauf si chacun des mets est à la fois léger et satisfaisant pour le plaisir de tous nos sens.



Dans un restaurant de Kyoto, cette nourriture qui comprend de nombreux aliments crus, riches en éléments nutritifs mais très peu caloriques, lui confèrent un charme discret. Elle est adaptée à notre appétit lorsque la satiété orale joue pleinement son rôle de régulateur.

Les restaurants japonais se sont développés dans le monde occidental au cours des dernières décennies, sans toutefois devenir un modèle d'alimentation légère. Comme de nombreuses cuisines importées de contrées lointaines, il ont été accompagnés par l'introduction de plusieurs spécialités, dont le tofu, cet aliment protéique d'origine végétale (lait de soja caillé) que l'on trouve même actuellement en vente sur les marchés des petites villes.

L'Europe qui se situe ainsi à mi-chemin entre le Japon et les USA, aussi bien d'un point de vue géographique que diététique, présente des fréquences de l'obésité quasiment intermédiaires entre les deux. Le problème qui reste le même dans tous les cas — et même dans celui des pays émergents d'Afrique et d'Asie — est d'éviter son augmentation en préconisant une alimentation adaptée aux modes de vie actuels. Il s'agit même, chez beaucoup de nos contemporains, de perdre quelques kilos d'une adiposité jugée disgracieuse alors qu'elle n'a plus sa fonction d'origine de mise en réserve permettant de passer les mauvaises saisons, lorsque les apports alimentaires pouvaient temporairement s'amoinrir.

C'est dans ces environnements modernes favorisant l'obésité que les aliments dits « allégés » et les boissons sans sucre — mais au goût partiellement comparable à celui des sodas les plus sucrés — sont apparus comme des alternatives aux excès que produisent une alimentation apportant davantage de calories que celles qui sont dépensées au cours des activités quotidiennes. Ce ne sont pas les plus délicieux des aliments car les édulcorants — incluant des « faux sucres » comme ceux que nous avons découverts à l'état naturel dans les forêts africaines — qui prennent la place des sucres véritables, ont souvent un goût persistant avec un arrière-goût désagréable. Quant aux corps gras, remplacés par des substances neutres ayant la même consistance que les graisses, ils peuvent effectivement provoquer une perception assez analogue à celle d'un fromage blanc gras avec un mélange à 0 % de graisses.

Mais ces leurres de nos perceptions gustatives n'ont malheureusement pas une efficacité qui persiste pour la réduction des apports caloriques des personnes en excès de poids. L'effet ne dure que quelques semaines car le consommateur d'une alimentation ainsi artificiellement allégée ne perçoit ensuite une sensation de satiété qu'à condition de consommer de plus grandes quantités correspondant, en valeur calorique, à ce qu'il ingérait précédemment. C'est ce qu'avaient montré Patrick Pasquet et le célèbre nutritionniste Marian Apfelbaum, en mesurant les repas pris spontanément avant et après l'adoption des aliments allégés. Tout se passe comme si l'organisme mesurait la quantité d'énergie apportée par la nourriture et en attendait un apport équivalent à ce qu'il avait l'habitude de recevoir. C'est encore ici un système de régulation parfaitement adapté aux environnements du passé mais qui n'est plus adapté à nos sociétés d'abondance.

De nombreux autres types de régimes alimentaires — permettant à une personne obèse ou en surpoids de perdre plusieurs kilos — sont proposés sur les sites Internet. Dans la mesure où ces régimes sont équilibrés en éléments essentiels, ils tiennent leur promesses dès que leur valeur calorique est inférieure aux dépenses énergétiques de l'individu qui s'y soumet. Mais ce qui semble le plus sympathique, dans le contexte actuel, ce sont les programmes d'alimentation individualisés qui conservent le goût agréable des préparations culinaires et se pratiquent donc avec le plaisir de la satiété orale tout en diminuant les apports caloriques.

On pourrait presque dire, dans le meilleur des cas, qu'il s'agit de l'échange d'un régime alimentaire copié sur le plus mauvais exemple venu des USA contre une alimentation allégée telle qu'elle se pratique au Japon ! Bien entendu, le contexte culturel reste primordial et c'est pourquoi les régimes qui fonctionnent bien restent basés sur la cuisine locale. Et des exercices physiques sont toujours préconisés en fonction de chaque régime, visant ainsi à ajuster les dépenses énergétiques aux apports caloriques.

Manger/bouger : la dépense énergétique adaptée à ce que nous ingérons

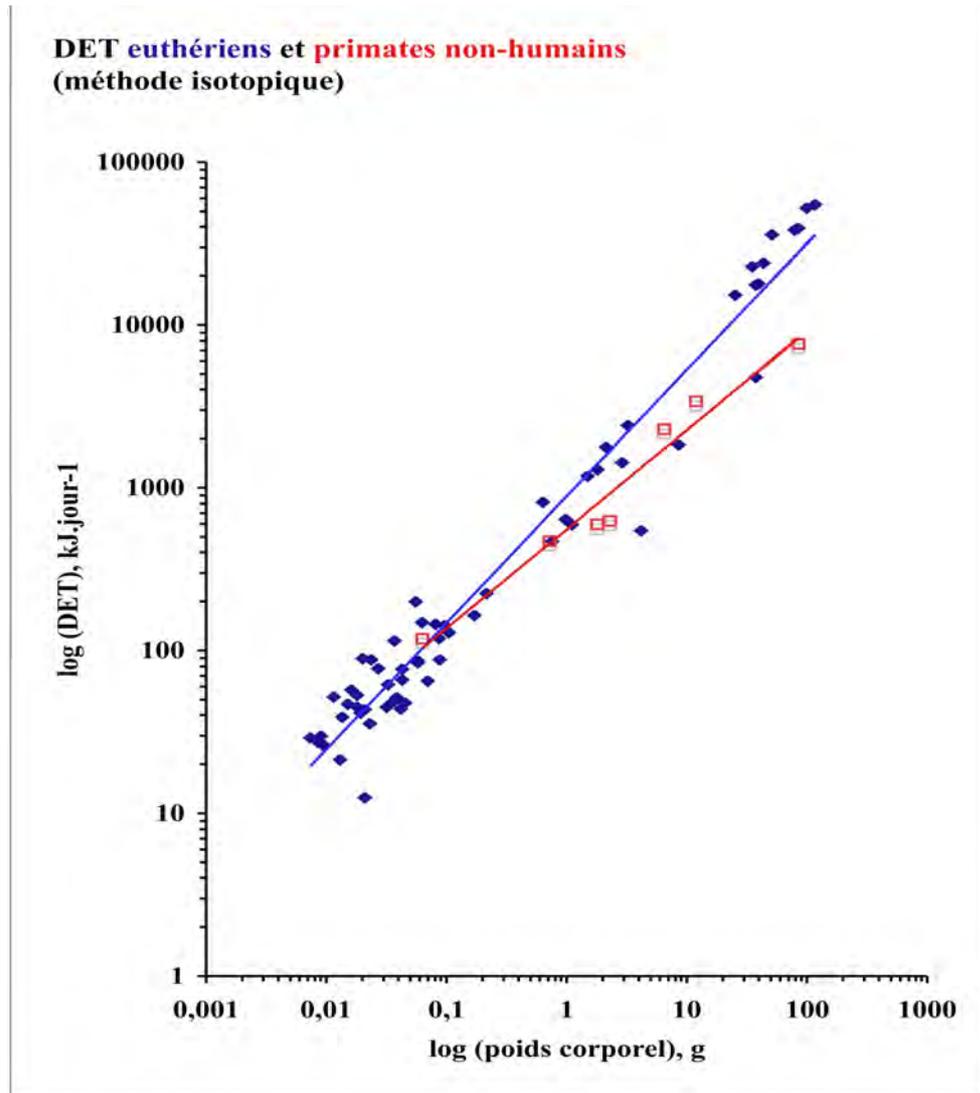
L'observation des primates non humains continue d'alimenter notre réflexion dans le domaine de la dépense énergétique où chaque espèce, y compris l'homme, doit atteindre un équilibre, dès la fin de sa croissance, entre l'énergie acquise par son alimentation et celle dépensée pour l'entretien de son organisme et ses activités.

Au cours de ces dernières années, j'ai eu l'occasion d'accompagner des chercheurs de notre équipe qui, à Madagascar s'efforcent de préciser le budget énergétique de plusieurs espèces de primates non humains et de participer avec eux à la mise en perspective de ces travaux. Dans tous les cas, l'alimentation de chaque espèce dans son milieu naturel et ses variations saisonnières doivent être étudiées selon les méthodes permettant de mesurer les quantités ingérées. Les exemples présentés dans la première partie de ce livre, concernant l'alimentation des primates non humains, constituent donc le point de départ. Mais la mesure de la dépense énergétique quotidienne est un travail techniquement plus délicat.

Les résultats les plus récents ont permis de montrer que nous avons tous, en tant que primates, un budget énergétique qui nous différencie des autres mammifères, ceux qui étaient, jusqu'à présent, utilisés comme des modèles pour ce type de recherches. En fait un être humain, comme tout primate non humain, fonctionne avec économie dans le domaine de l'énergétique. Même les prosimiens, — incluant des primates des lignées les plus primitives comme les microcèbes, ainsi que tous ceux qui peuplent les forêts de Madagascar —, se différencient de ce point de vue des rats utilisés dans les labos et de tous les autres mammifères non primates, éléphants, vaches, lions, chiens et chats...

Ces recherches, qui se poursuivent sous la direction de Bruno Simmen, nécessitent de mesurer la dépense énergétique journalière d'un primate, dans son environnement naturel, avec une précision suffisante pour pouvoir effectuer des comparaisons entre les espèces.

Nous en avons présenté les premiers résultats en 2013, à la Société d'Anthropologie de Paris [<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00819775/document>](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00819775/document) ; toutefois le faible nombre données concernant la Dépense Énergétique Totale (DET) — par rapport au poids de chaque espèce — ne permettait pas d'utiliser une bonne méthode statistique pour comparer quelques primates non humains aux autres euthériens (tous les autres mammifères, à l'exception des ornithorynques). La différence semblait pourtant évidente sur le graphique ci-dessous, où les primates (en rouge) se séparent de tous les autres...



Mais la technique la plus précise pour cette mesure de dépense énergétique implique l'utilisation d'eau doublement marquée par des isotopes non radioactifs. Il s'agit d'une eau H_2O dont certains atomes d'hydrogène sont remplacés, dans des proportions bien définies, par du deutérium (hydrogène lourd, avec un neutron dans le noyau), de même que certains des atomes d'oxygène sont remplacés par de l'oxygène 18, également plus lourd que l'oxygène 16.

Cette eau doublement marquée qui n'est absolument pas radioactive — mais qui coûte très cher — a exactement le même goût et les mêmes propriétés que toutes les autres eaux buvables car sa différence de densité est imperceptible. Il s'agit d'en introduire une quantité parfaitement bien mesurée chez un primate, ce qui fut relativement simple lorsque la technique fut appliquée à des humains : ils boivent simplement dans un verre le précieux liquide, sans en perdre une seule goutte. Mais il est impossible de faire boire de la sorte un primate non humain

vivant dans son milieu naturel. Il faut alors l'endormir avec une fléchette, envoyée à l'aide d'une sarbacane et lui injecter, pendant qu'il est endormi, sa dose d'eau doublement marquée, avant de le relâcher sur le lieu de sa capture. Et il faudra le re-capturer quatre jours plus tard afin de faire une prise de sang dans lequel seront retrouvés une partie des atomes qui constituaient le liquide injecté.



Le début de la sieste d'un groupe de makis, *Lemur catta*, dans le bush du sud de Madagascar. Ce primate est certainement le mieux connu parmi les lémuriens et il a été récemment l'objet d'études sur le métabolisme énergétique à l'aide de la technique à l'eau doublement marquée.

Pour ne pas entrer dans le détail des calculs qui permettent, en fonction des isotopes retrouvés dans le sang de l'animal prélevé au début et à la fin de cette expérience, de déterminer le nombre de calories dépensées — qui s'exprime généralement en Kilojoules —, on peut se référer à un long document en français,

que nos collègues ont déposé sur le site de la Société Francophone de Primatologie <<http://primatologie.revues.org/558>>. Il montre comment les isotopes d'hydrogène se retrouvent dans la circulation sanguine et comment l'oxygène participe aux transformations des aliments qui sont « brûlés » par l'organisme, ce qui permet d'en déduire l'énergie que cela implique.

Les autres méthodes permettant de mesurer les dépenses énergétiques sont moins précises mais beaucoup plus simples et elles sont encore utilisées dans les travaux de thèse par des chercheurs observant des primates non humains ou pour évaluer l'activité des humains. Il s'agit de chronométrer chacune des activités (marcher, courir, faire la sieste, etc.) et de constituer ainsi un budget-temps à partir duquel on calculera l'énergie dépensée par rapport à des échantillons de référence de chaque activité, obtenus en mesurant la consommation d'oxygène avec les méthodes classiques décrites également sur le site de la Société Francophone de Primatologie

Parmi les lémuriens de Madagascar qui ont été suivis par ces différentes méthodes au cours des dernières décennies, le maki, *Lemur catta*, celui que l'on voit souvent dans les zoos, bien visible avec sa queue annelée de noir et de blanc, est un animal emblématique, présent dans beaucoup des régions forestières les plus sèches. Notre collègue Alison Jolly, dont nous avons beaucoup regretté la récente disparition, a consacré sa vie aux études et à la préservation de cette espèce dans son milieu naturel. C'est grâce à ses observations détaillées de ces sociétés de lémuriens qu'ont pu être lancées, à Madagascar, de nombreuses études universitaires, parfois finalisées dans nos labos du Muséum.

Ainsi nous disposons actuellement d'un ensemble de données permettant de valider l'hypothèse d'une différence significative, concernant la dépense énergétique, entre les primates et les autres mammifères. La publication de ce type de résultats se fait actuellement — et de façon quasi obligatoire —, en anglais et dans des journaux scientifiques de réputation internationale, après avoir été évalués par un comité scientifique.

J'ai été surpris lors de la présentation de cette publication sur laquelle plusieurs de mes collègues du Muséum ont beaucoup travaillé, par la réaction de certains scientifiques étrangers. Le manuscrit a été refusé par un des comités d'évaluation où siègent des scientifiques spécialisés dans le domaine de la dépense énergétique. Certains des évaluateurs avaient eux-mêmes des textes publiés sur le même sujet, ce qui n'a rien de surprenant car les idées circulent librement... Mais ils avaient ajouté au peu de données dont nous disposons sur les primates sauvages, des mesures effectuées sur des primates en captivité dans des zoos ou des labos. Or comment comparer les dépenses énergétiques d'un animal en cage avec celles que nous mesurons sur le terrain, si ce n'est pour obtenir un nombre d'échantillons artificiellement gonflé qui pourrait sembler significativement représentatif à un comité d'évaluation ?

Néanmoins, le système d'évaluation des publications de scientifiques par d'autres scientifiques reste le meilleur — ou le moins mauvais — et nous n'avons jamais pu proposer mieux au cours des longues discussions passionnées sur ce sujet, lors de plusieurs changements des structures du CNRS que nous avons vécues.

Pour rester dans le domaine d'une recherche scientifique rigoureusement menée, nous avons abouti, dans nos derniers textes publiés en anglais <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031938414004946>>, à la conclusion que nous devons prendre en compte cette particularité des humains en tant que primates, qu'est la tendance vers l'économie des dépenses énergétiques. Cela pourrait être en rapport avec les particularités morphologiques des primates qui ont globalement une moindre musculature que les autres mammifères.

Aucun primate ne semble échapper à cette caractéristique fonctionnelle portant sur un minimum des dépenses énergétiques. C'est le cas des primates non humains dont j'ai présenté, au début de cet ouvrage, des espèces pouvant exploiter un même milieu — la forêt des zones sèches du Sri Lanka — avec un investissement énergétique adapté à l'utilisation des ressources. Les espèces les plus folivores vivent en petits groupes dans de tout petits territoires où ils se déplacent très peu pour utiliser les aliments les plus abondants qui sont aussi les moins riches du point de vue calorique. Au contraire, les espèces frugivores doivent dépenser davantage d'énergie pour se déplacer dans de plus vastes territoires et rechercher les aliments au contenu énergétique plus élevé, notamment les fruits sucrés. Dans tous les cas l'adaptation à la dépense énergétique est optimisée.

Un cas extrême de ces relations avec la valeur énergétique des aliments concerne un groupe humain qui a été observé en région sahélienne. Il s'agit de cultivateurs de sorgho dont les réserves peuvent s'épuiser avant que la prochaine récolte ne soit disponible. Mais, contrairement à ce qui pourrait nous sembler raisonnable, c'est à cette période de soudure entre deux récoltes que la consommation peut devenir extrêmement élevée, accompagnée d'une dépense énergétique réduite, au moins pour quelques individus. Cette pratique exceptionnelle, le Guru Walla, avait été décrite dans les populations Massa du nord Cameroun, par Igor de Garine qui en a présenté le contexte sociétal et la signification dans ses ouvrages ethnologiques. Il s'agit de pouvoir montrer à tous, par la présentation de quelques hommes visiblement bien nourris, en surpoids et même obèses, que la nourriture ne manque pas au village. Mais la pratique d'un véritable gavage de quelques volontaires qui doivent avaler chaque jour une énorme quantité de bouillies de céréales est un traitement particulièrement difficile à supporter. Leur poids augmente de près d'une vingtaine de kilos en quelques semaines. Cette pratique s'effectue en fonction d'une tradition locale qui rend à jamais célèbres les participants à cette pénible cure d'engraissement, même s'ils ont repris un poids normal après quelques mois d'activité. Aucune des

expérimentation sur les humains n'a jamais pu reproduire une telle situation d'excès de prise alimentaire et cela ne serait d'ailleurs pas autorisé par un comité d'éthique.

C'est dans ce contexte que les paramètres biologiques des Massa en cure d'engraissement intensif furent mesurés sur le terrain par Patrick Pasquet et Igor de Garine, en utilisant la technique de l'eau doublement marquée par des isotopes stables. Un échantillon de cette eau était distribuée aux participants du Guru Walla, dans un gobelet avec une paille afin qu'ils puissent avaler complètement le précieux liquide. En fonction des résultats des analyses et en collaborant avec d'autres membres de notre unité de recherche en éco-anthropologie ainsi qu'avec d'autres chercheurs — dont Marian Afelbaum —, Patrick et Igor ont cherché si la dépense énergétique, dans ce cas très particulier, était sensiblement supérieure à ce que l'on pouvait calculer, compte tenu de la prise de poids... Car un théoricien avait envisagé qu'en cas de dépassement d'une limite de la prise alimentaire, une dépense énergétique supplémentaire indépendante de toute activité — nommée *Luxuxconsumption* par un auteur allemand — viendrait s'ajouter au métabolisme basal, en dégageant une quantité de chaleur, ce qui permettrait de « brûler » les excédents apportés par une alimentation excessive. Ce ne fut pas prouvé mais la question reste ouverte.

Il est donc vraisemblable, en conclusion, qu'il faudra revoir sensiblement les indications et les conseils portant sur nos dépenses énergétiques. Il faut, bien évidemment, continuer à équilibrer nos dépenses en calories avec les apports de notre alimentation. Mais nous pouvons certainement, en tant que primates, être un peu plus paresseux qu'il nous est actuellement préconisé ; et il n'est pas certain que les 10.000 pas à effectuer chaque jour, comme cela est conseillé, constituent la dose d'activité humaine indispensable — une dépense énergétique idéale en quelque sorte !

Les meilleurs aliments pour les humains

Une observation très simple à réaliser par chacun d'entre nous permet d'interpréter la plus spectaculaire adaptation des humains à la consommation des graminées (le blé et le riz) qui sont à l'origine de nos civilisations. Si nous mâchons un morceau de pain et que nous le conservons assez longtemps dans notre bouche, son goût se transforme lentement et il devient très légèrement sucré. Ce phénomène, que les enseignants du primaire ne manquaient pas de nous faire remarquer, permettait jadis — maintenant encore ? — de montrer aux enfants l'effet de l'une de nos enzymes contenue dans la salive, la ptyaline, la première à agir au début de la digestion.

Cette enzyme salivaire est une amylase qui, dès la première bouchée, commence à découper les longues chaînes des molécules de l'amidon en unités plus courtes de polysaccharides. Mais elle n'agit que sur de l'amidon cuit et absolument pas sur l'amidon cru qui est présent dans les graines et les tubercules de nombreux végétaux. Cela est surprenant étant donné qu'aucun milieu naturel ne contient de l'amidon sous une forme cuite !

L'amidon est un composé glucidique de mise en réserve, présent dans des cellules de stockage des végétaux sous forme de minuscules grains dont les formes diffèrent selon les espèces. Lorsque l'on cuit de l'amidon dans de l'eau, les grains éclatent (leur enveloppe cellulosique se brise) et il se forme une gelée, l'empois d'amidon, bien connu pour son usage pour rigidifier (empeser) un tissu avec un fer à repasser. Mais c'est avec un objectif bien différent que j'ai utilisé l'amidon sous cette forme d'empois gélatineux qui permet de caractériser l'activité enzymatique de la ptyaline salivaire.

Pour déterminer la présence de ptyaline chez des primates non humains, j'ai mis au point un test applicable aux prosimiens et aux singes qui étaient gardés en cage dans les stations de terrain où j'ai séjourné, au Gabon et en Amérique Centrale. Il était relativement facile de laisser un singe mordre un morceau de tissu et de le lui retirer de la bouche dès qu'il était bien imprégné de salive. Le test consistait alors à mettre sur ce tissu une goutte d'empois d'amidon et de le placer dans une étuve à 37 degrés pendant une dizaine de minutes, — le temps que la ptyaline agisse sur l'amidon cuit —, à côté d'un tissu témoin qui n'avait pas été imprégné de salive. Alors que le tissu imprégné d'amidon se colore en violet au contact d'une solution d'iode iodo-iodurée, il ne se colore pas au contact de ce réactif si l'amidon a été décomposé par la salive.

Les résultats de ces tests m'ont tout d'abord beaucoup déçu car tous les singes testés, aussi bien ceux du continent africain que ceux du Nouveau Monde avaient dans leur salive cette ptyaline qui agit sur l'amidon cuit. Alors que j'espérais trouver des corrélations avec l'alimentation, aucune des spécialisations

vers des régimes plus ou moins riches en fruits ou en graines n'étaient en relation avec la présence de cette enzyme. En revanche, aucun des prosimiens, ces espèces les plus proches des origines des primates, testées au Gabon, ne possédait cette enzyme. Tout cela correspondait à une modification globale des protéines — incluant les enzymes — au cours de l'évolution des primates, tout à fait analogue à celle qui est responsable des différences que j'ai observées plus tard, à propos des perceptions des singes d'Afrique et de ceux d'Amérique vis-à-vis des fruits contenant des « faux sucres ».

Mais en fait, il est absolument extraordinaire que les humains, en tant que primates, possèdent une salive et d'autres équipements enzymatiques permettant d'utiliser au mieux des glucides abondants dans leur environnement et surtout ceux qui ont été légèrement transformés par la cuisson. Nous pouvons de nouveau imaginer les premiers humains découvrant — peut-être en même temps que le sel ajouté aux aliments — la transformation par la chaleur de graines écrasées et cuites ou de tubercules d'ignames dont le goût commence à changer dès la mise en bouche... La présence de certaines enzymes, en particulier de la ptyaline, a donc nécessairement favorisé les premiers chasseurs-cueilleurs qui collectaient les graminées avant de les cultiver. C'était une adaptation qui s'est trouvée là au bon moment de l'histoire de l'humanité, comme beaucoup d'autres d'ailleurs dont la possibilité de percevoir le goût salé du chlorure de sodium alors qu'il n'est pas détectable — car en trop faible concentration, ainsi que je l'ai montré — dans la plupart des aliments disponibles dans les milieux naturels.

J'avais présenté ces particularités remarquables du genre humain au Congrès AAAS (*American Association for the Advancement of Science*) de Chicago centré sur l'alimentation des hominidés <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00587527v2/document>> alors que la génétique moderne avait permis de mettre en évidence les gènes qui gouvernent la possibilité de nos glandes salivaires de sécréter la ptyaline. Ces gènes peuvent être doublés ou davantage multipliés dans certaines populations qui sont précisément celles qui consomment des céréales en grande quantité. En d'autres termes — et en français sur le site de la Société Francophone de Primatologie — <https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/545749/filename/Hladik_Pasquet-Evol-gust.pdf>, on comprend qu'une pression de sélection s'opère dans ces sociétés, en faveur des personnes qui digèrent au mieux une nourriture riche en amidon cuit devenue traditionnelle.

Alors que le blé, avec le riz, constitue depuis bien longtemps l'essentiel des apports alimentaires au niveau mondial, on remarque actuellement les cas d'intolérance au gluten qui se sont multipliés. Ce serait une conséquence indirecte de la mise en culture de plus en plus de variétés de blés sélectionnées en fonction de leur richesse en gluten car ce sont aussi celles dont la farine est la plus facile à panifier.

Il existe bien d'autres substances dont une trop grande quantité dans l'alimentation peut provoquer des troubles chez certains — dont le lactose, pour les adultes qui n'ont plus l'indispensable lactase des buveurs de lait — et, ainsi que nous l'a fait remarquer Julia Enders, les excès en tous genres sont toujours à éviter, et bien évidemment par les personnes devenues trop sensibles à ces substances.

Heureusement, une évaluation rigoureuse des conséquences de l'utilisation de ces divers composants de nos aliments est disponible depuis la publication des résultats d'un vaste programme sur l'alimentation humaine, financé, en France, par le Ministère de la Santé. Il s'agit de l'Étude Nationale Nutrition-Santé (ENNS), mise en place en 2001 et dont les premiers résultats ont été publiés en 2006 <http://opac.invs.sante.fr/doc_num.php?explnum_id=3481>. Les recommandations à l'usage d'un large public <https://www.academia.edu/7748731/Manger_LA_SANTÉ_VIENT_EN_MANGER>, ont été diffusées en 2011 sous une forme simple, claire, sans aucune recommandation impérative, et même avec une agréable présentation.

Globalement, les conclusions de ces études sont ce qu'il y a de plus connu, actuellement en France, en tant qu'informations relatives à notre régime alimentaire et à sa meilleure orientation possible, avec les formules : « mangez au moins cinq fruits ou légumes par jour » ainsi que « ni trop gras, ni trop sucré, ni trop salé ». Autrement dit il ne s'agit pas de rechercher les meilleurs aliments mais de constituer des repas équilibrés incluant, bien entendu, les glucides, lipides et protides, selon les normes recommandées ; mais c'est surtout leur association et leur variété qui constitue l'alimentation idéale, avec les légumes et les fruits qui apportent les indispensables fibres, vitamines et sels minéraux.

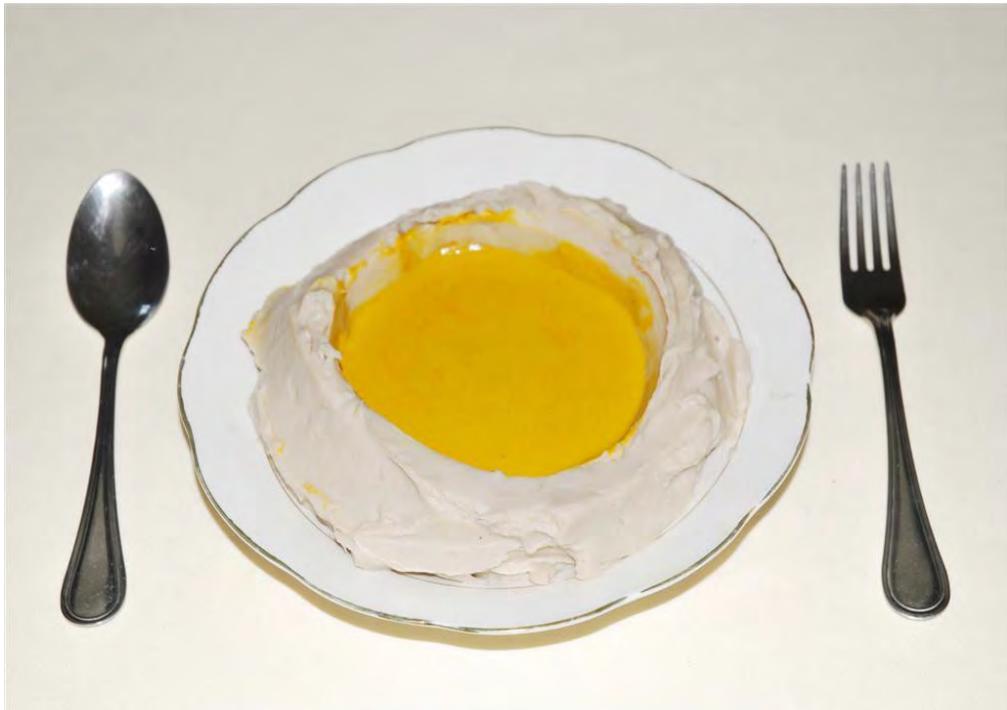
Ces recommandations peuvent sembler d'une extrême banalité, alors que ce sont les principales conclusions d'une analyse statistique que seul le développement récent de l'informatique a permis de réaliser sur les millions de données accumulées dans de grands fichiers informatisés (les *Big Data*). Les annonceurs des publicités pour des denrées alimentaires ont d'ailleurs accepté d'afficher ces recommandations avec leurs annonces télévisées. Toutefois cela constitue un message ambigu lorsque la mention « ni trop sucré » s'affiche sous une image qui vante le goût agréable de l'un de ces sodas particulièrement peu recommandables en tant que boisson ordinaire pour les enfants. Et cela n'exclut même pas un possible détournement par une publicité bête et méchante : bête parce qu'elle ignore le contexte et déforme le contenu du message qu'elle a pris l'engagement d'afficher ; méchante parce qu'elle est souvent diffusée vers un public qui n'est pas suffisamment averti pour distinguer l'origine et la rigueur des informations à caractère scientifique... Ainsi, pour un jus de fruit renfermant un mélange de cinq sortes de fruits, un affichage à grande échelle dans les gares du RER mentionnait qu'en le buvant on obtenait d'emblée les cinq fruits et/ou légumes par jour nécessaires à une bonne santé... Si ce message n'était pas une mauvaise plaisanterie, il pouvait faire croire que la diversification de l'alimentation

— qui aboutit statistiquement à un bon équilibre nutritionnel — n'aurait pas été l'essentiel des conclusions des nutritionnistes.

Un commentaire va dans ce sens : « 85 % de la population connaît le slogan, 5 fruits et légumes par jour. 43 % atteint ce seuil, sauf dans les populations défavorisées où c'est seulement 6 % des gens ». C'est celui de Serge Hercberg, épidémiologiste en nutrition, dont le nom apparaît parmi ceux des nombreux scientifiques qui ont collectivement mis au point le protocole des collectes de données et de leurs analyses portant sur plus de 3000 personnes adultes et sur des enfants des mêmes familles

Les méthodes utilisées dans ces études de l'alimentation ont été conçues en fonction des objectifs visés, incluant de déterminer les fréquences d'utilisation de chaque type d'aliment et s'il peut avoir ou non des conséquences néfastes. Aussi chacun des volontaires ayant accepté de faire mesurer son alimentation était-il soumis à un suivi médical. Pour chacune de ces personnes qui avait accepté de servir de sujet d'étude, après avoir été tirée au sort dans des sous-ensembles de la population aussi représentatifs que possible de sa diversité, l'enquête se faisait le plus souvent par téléphone. L'enquêteur demandait de décrire toute l'alimentation consommée au cours des 24 heures qui précédaient l'interview. Cette méthode qui a longtemps été considérée comme beaucoup trop imprécise — ce qui nous avait amenés à déterminer, avec une balance, le poids réel des aliments consommés dans les populations décrites dans ce livre — est désormais considérée comme parfaitement rigoureuse. En effet, chaque sujet se réfère à un fascicule de photos de la plupart des aliments cuits et présentés selon les modes de préparations habituels, dans une série d'assiettes plus ou moins remplies. Ces séries de photos ont été testées en comparant les résultats des poids évalués à partir de ce fascicule aux résultats obtenus par une pesée directe. Il s'agissait d'une validation de la méthode et c'est cette confirmation qui permet son utilisation à grande échelle.

Cette technique de mesure de l'alimentation pourra désormais s'appliquer à d'autres populations, à condition de préparer et de distribuer des fascicules contenant ces séries de photos très réalistes correspondant aux aliments localement transformés, présentés en différentes quantités. C'est ce que vient de réaliser, avec ses collègues, Patrick Pasquet qui a longtemps suivi les enquêtes par pesée directe des aliments, notamment celles de notre unité de recherche, réalisées au Cameroun. Leur fascicule de photos de plats camerounais qui vient d'être validé — les poids évalués par apport aux photos correspondant avec suffisamment de précision à ceux qui sont mesurés par pesée directe — peut donc être utilisé pour les enquêtes concernant le régime alimentaire.



Amougou N, Cohen E, Mbala LM, Grosdidier B, Bernard JY, Said Mohamed R, Pasquet P (2016). Development and validation of two food portion photograph books to assess dietary intake among adults and children in Central Africa. *British Journal of Nutrition*, doi:10.1017/S0007114515005401.

Ce type de photographie d'une assiette bien remplie par l'un des aliments les plus appréciés au Cameroun, constitue, avec une série d'autres plats diversement garnis, la base validée permettant de futures enquêtes quantitatives sur l'alimentation.

Cette méthode aura certainement tendance à se généraliser pour les recherches sur l'alimentation humaine. Mais on devra nécessairement conserver toutes les données acquises sur les primates non humains pour lesquels on ne saurait imaginer une technique comparable impliquant la participation du sujet de l'étude ! Car tous les résultats acquis sur le terrain — ceux qui sont présentés dans ce livre ou ceux qui seront apportés par la suite avec des méthodes comparables — constitueront toujours une documentation indispensable pour comprendre l'évolution vers l'émergence du genre humain et pour appréhender son futur.

Une éthique de l'alimentation dont dépend notre avenir

La COP 21, cette conférence impliquant la plupart des états de notre planète, s'est terminée à Paris le 12 décembre 2015 par la signature d'un accord sur des pratiques dont on doit d'efforcer de croire que l'éthique en constitue la ligne directrice. Car le réchauffement global et la montée des eaux des océans qui en résultera en quelques décennies peuvent être limités par une utilisation modérée des énergies fossiles afin d'éviter, par des accords sur ce point, la concentration du gaz carbonique dans l'atmosphère terrestre.

Dans ce programme mondial visant une gestion bénéfique à tous, l'alimentation des humains constitue une part des problèmes au moins aussi importante que celle qui concerne les centrales électriques à charbon et les automobiles. Nous avons abordé cette problématique dans un ouvrage sur les dépenses énergétiques <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00601628/document>> et c'est un aspect dont je n'oublie jamais de parler aux étudiants en éco-anthropologie qui seront parmi les mieux informés pour orienter, dans un futur quasi immédiat, les décisions concernant les systèmes de gestion des ressources de notre planète.

En effet, si du point de vue énergétique les aliments semblent ne représenter qu'une petite fraction de la consommation totale en équivalents de millions de tonnes de pétrole — l'unité de mesure utilisée dans ce domaine —, leur production, leur transformation et leur transport dépasse tout ce qui était jusqu'à présent estimé. Mais ce sont surtout les impacts prévus sur les surfaces des terres cultivables et sur les ressources en eau qui sont les plus préoccupants en fonction de l'évolution actuelle des pratiques alimentaires. Ainsi que cela fut clairement mentionné dans les derniers rapports de la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture), la tendance actuelle des pays émergents à adopter les pratiques alimentaires des pays développés (et pas toujours les meilleures !) va vers une expansion des surfaces cultivées qui dépasserait celles qui sont actuellement disponibles. Et cela pourrait être bien pire pour la ressource en eau dont la consommation excéderait largement celle qui est déjà trop limitée pour beaucoup de populations ne disposant pas d'un accès aménagé vers une source. Car l'adoption, par le reste du monde, d'une alimentation aussi riche en viande que celle d'un américain moyen nécessiterait une impossible extension des prairies et/ou des cultures d'aliments pour le bétail... Et il faut surtout voir que la quantité d'eau nécessaire à l'obtention de l'équivalent d'une kilocalorie de viande de bœuf est onze fois plus grande que celle qu'exigent des cultures comme le blé ou le riz pour obtenir la même kilocalorie sous forme d'aliments consommables. Ces évaluations qui montrent la totale impossibilité d'un tel futur ont été largement commentées dans les ouvrages de Bruno Parmentier, notamment « Manger tous et bien » (Seuil, 2011).

Le consensus de plusieurs commentateurs fait apparaître que le point de vue éthique doit nécessairement étayer les projets de gestion durable adaptés à notre futur... Et je voudrais d'abord présenter ici une réflexion sur l'éthique en fonction d'expériences vécues avec des primates non humains. Chez ces primates, en particulier chez les chimpanzés — mais cela s'applique également aux saïous comme le *Cebus capucinus* que j'ai suivi à Panama pendant plus d'une année — des observations ont démontré qu'il existe une perception consciente d'une justice élémentaire. Par exemple, au cours d'expériences en laboratoire où la distribution d'une récompense (une friandise) suit la réussite d'un test, si la récompense distribuée à un voisin est nettement supérieure à la sienne pour effectuer le même test, l'animal va souvent refuser de continuer ce « travail » qui lui procure une récompense ne correspondant pas à ce qui est régulièrement distribué à son voisin de cage.

Mais les observations des chimpanzés en forêt ont mis en évidence beaucoup plus que ce sentiment de « justice » égalitaire dans un groupe. J'ai assisté à une véritable rébellion contre une femelle dominante qui avait tenté de dérober à un jeune un aliment convoité... Car une autre femelle s'étant interposée, cela avait permis au jeune chimpanzé de consommer tranquillement le nid de fourmis écophylles particulièrement apprécié, qu'il avait trouvé dans un arbre... C'était déjà un acte qui pourrait être considéré comme « juste » et « désintéressé » ; mais la suite va beaucoup plus loin, impliquant une notion de valeurs reconnues par l'ensemble du groupe. Car aussitôt après cet événement, la « voleuse » a refusé le contact apaisant des mains en frappant brusquement celle qui était tendue par la femelle qui, en s'interposant, avait évité au jeune de perdre son aliment très apprécié. Pourtant ce contact pacifique entre les individus d'un groupe est quasiment toujours respecté, surtout après une agression — c'est le comportement que Frans De Waal a décrit et qualifié de « réconciliation ». C'est alors que, dans la demi-seconde qui a suivi la frappe brutale par la « voleuse », le non respect de ce qui apparaît comme une des bases des liens entre les individus a provoqué une réaction si forte — en clameurs et en comportements agressifs au sein du groupe — qu'il ont collectivement mis en fuite cette forte femelle, ce qu'aucun d'eux n'a jamais tenté de faire en d'autres circonstances.

De telles séquences de comportement sont des événements exceptionnels que l'on ne trouve généralement pas mentionnés dans les travaux scientifiques à cause de leur rareté. Ils sont pourtant essentiels pour comprendre la façon dont sont perçus les liens entre les individus d'un groupe, puisque la violente réaction émotive — celle qui a suivi le non-respect de la réconciliation — implique, de fait, une prise de conscience de la valeur des actes, perçus comme bons ou mauvais, et surtout de celle des relations entre les individus. Après avoir montré l'importance de cette ancienne observation <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/54/79/51/PDF/Relations_attachement.pdf> dans un livre récent, nous en avons présenté l'essentiel (en co-auteur avec Sabrina Krief) au

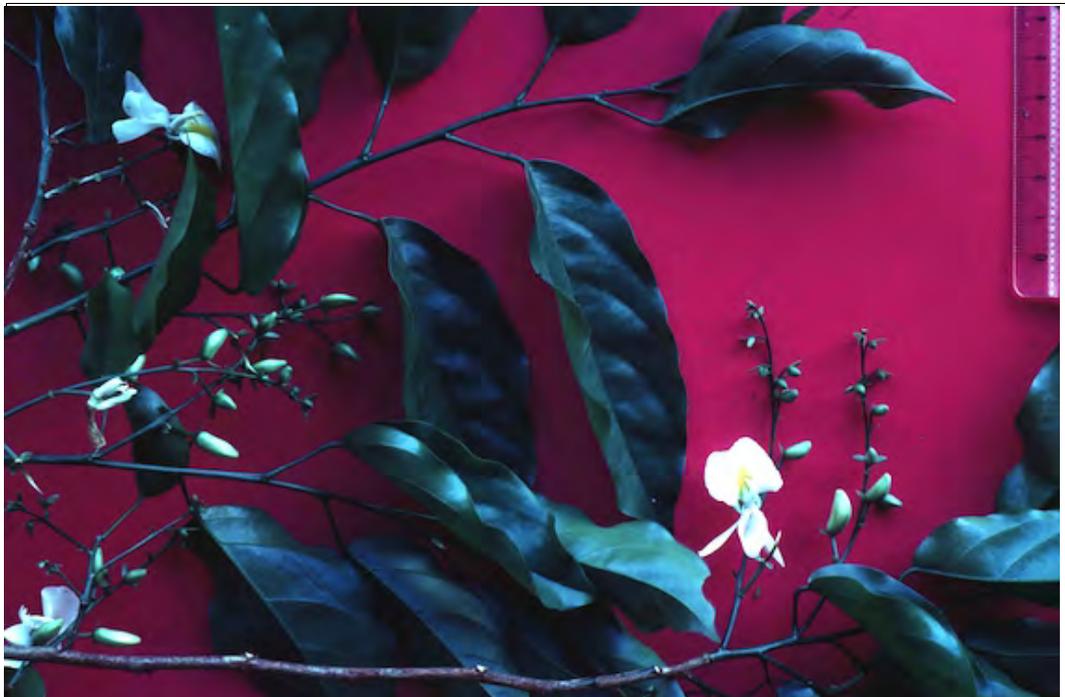
cours d'une réunion du CNRS portant sur les évènements rares ou uniques en biologie et sur ce qu'ils permettent de comprendre des structures d'une société.

Cela nous ramène vers les humains pour lesquels les concepts de justice et d'équité pourraient tout à fait correspondre à ce fond diffus de nos perceptions avec une forme d'éthique qui a accompagné notre évolution en tant que primates <<https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/587230/filename/C-M-Hladik-Conscience.pdf>>. Cette éthique correspond à ce que des philosophes comme Ruwen Ogien, à la suite de John Stuart Mill, définissent comme minimaliste, sans aucunement prendre en compte les origines biologiques de notre humanité. Mais la prise de conscience que notre mort est inévitable a vraisemblablement été à l'origine des nombreuses croyances, religions ou sectes, permettant d'imaginer une vie après la mort. Si ces croyances religieuses sont restées généralement centrées sur la base d'éthique minimaliste provenant de notre passé évolutif, elles furent toujours accompagnées de recommandations aussi arbitraires que celles qui concernent actuellement les régimes alimentaires les plus extrêmes lorsqu'ils sont décidés par des gourous de tous poils. Sans vouloir faire un procès aux religions qui, en tant que faits culturels et symboliques, sont vécus harmonieusement par la majorité des habitants de la Terre, leur interférence dans une éthique de la gestion de notre futur me semble à exclure, contrairement à ce qui est souvent préconisé. Car les violences entre populations qui ont suivi de près les chaleureux contacts que nous avons eu au cours de nos travaux sur le terrain, notamment dans des contextes religieux au Sri Lanka et en Centrafrique, m'ont totalement persuadé de l'inutilité — voire de la nocivité — d'une implication de croyances ou de prescriptions religieuses dans une indispensable éthique à prendre en compte dans les systèmes de gestion des ressources de la Terre.

En fonction de cette éthique minimaliste, un partage équitable des ressources — nécessairement limitées — de notre planète ne peut se réaliser que si ces ressources restent suffisantes pour une population mondiale qui se stabilisera autour d'une dizaine de milliards d'habitants au cours du présent siècle. Cela est possible, sans contrainte — et même en ajoutant du plaisir pour tous —, si nos préférences nous amènent vers une alimentation plus économe en viandes rouges que ne le sont les tendances actuelles. Le plaisir gustatif peut d'ailleurs être amplifié — ainsi que les tests en aveugle l'ont montré — si nous avons conscience que cela correspond à une meilleure gestion de l'environnement.

Toutefois, chez les humains qui choisissent délibérément d'éviter toute nourriture d'origine animale, il peut s'avérer difficile qu'une quantité suffisante de chacun des acides aminés indispensables soit disponible dans les protéines végétales de quelques espèces. De fait, les populations humaines à tradition végétarienne ayant une alimentation équilibrée combinent systématiquement des graminées (blé, riz ou maïs) avec des légumineuses (lentilles, haricots, soja) dont le mélange aboutit à un mélange d'acides aminés indispensables adapté à la constitution et au maintien des protéines du corps humain.

Mais pour rester dans l'optique du présent ouvrage axé sur la connaissance des primates non humains, considérons ceux qui, du point de vue de l'appareil digestif, sont les plus comparables aux humains. Ce sont notamment les chimpanzés pour lesquels l'équilibre d'une alimentation essentiellement frugivore dépend d'apports complémentaires en protéines. Et nous savons que la viande des gibiers qu'ils capturent est un aliment exceptionnel, partagé uniquement entre des chimpanzés adultes. Ces protéines animales ne jouent donc aucun rôle chez les jeunes en cours de croissance qui en auraient le plus besoin. En fait, l'essentiel de leurs apports protéiques est d'origine végétale, notamment avec les jeunes feuilles de *Baphia leptobotrys* (55 % de protéines) ainsi qu'avec les repousses de la liane *Hypselodelphys violacea*, une Marantacée disponible en toute saison pour le chimpanzé du Gabon visible sur la couverture de ce livre.



Les jeunes repousses du feuillage de cet arbre des forêts du Gabon, *Baphia leptobotrys*, renferment des protéines à raison de 55 % du poids sec (après déshydratation). C'est un aliment particulièrement apprécié des chimpanzés dont le goût est, pour un humain, très proche de celui d'un haricot vert consommé cru.

Ces protéines végétales devraient provenir d'espèces suffisamment diversifiées afin que les proportions de leurs composants de base, les acides aminés, constituent un apport nutritionnel équilibré. Cela ne semble pas correspondre à ce que j'ai observé dans l'alimentation des chimpanzés du Gabon <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/56/17/21/PDF/Alimentation_chimp.PDF> dont j'ai mesuré les teneurs en acides aminés essentiels dans les aliments du milieu naturel — en incluant par la suite les échantillons qui m'avaient été envoyés par Richard Wrangham depuis l'Afrique de l'Est. Dans tous les cas étudiés, ce sont des

insectes, surtout des fourmis et des termites, consommés en faibles quantités mais très régulièrement, qui contribuent à leur équilibre nutritionnel avec les protéines des végétaux par un apport suffisant de méthionine et de phénylalanine.

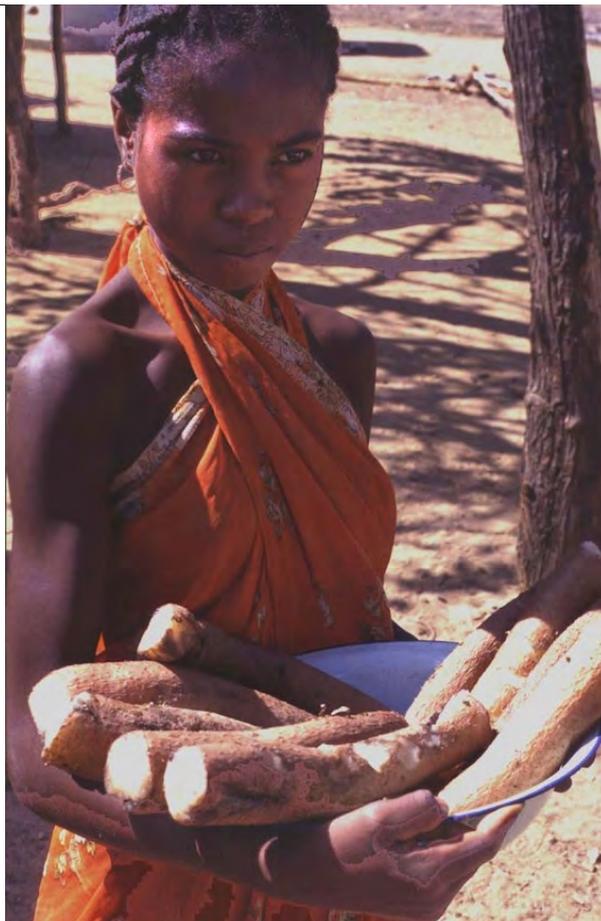
Ces insectes sont très abondants et productifs, comme le sont les sauterelles et les chenilles consommées traditionnellement par certaines populations humaines dont j'ai présenté quelques exemples. Beaucoup de nutritionnistes ont vu tout l'intérêt que peuvent avoir des élevages d'insectes à grande échelle pour leur utilisation en alimentation humaine, notamment sous la forme de farines animales. Ces farines, ajoutées aux farines végétales, peuvent apporter non seulement des compléments protéiques mais également des corps gras de qualité ainsi que des minéraux, vitamines, etc... Ne soyons pas effrayés par cette vision du futur car c'est déjà celle de notre présent. Regardons les compositions sur les paquets des aliments congelés que nous dégustons avec plaisir. Au moins dans le cadre de la législation et des pratiques de l'Union Européenne, la sécurité de ces mélanges est parfaitement assurée. Il pourrait s'y ajouter des extraits d'origine purement végétale à haute teneur en protéines, tels ceux de la luzerne qui sont actuellement parmi les compléments alimentaires facilement assimilables permettant à des enfants dénutris de récupérer rapidement.

Il est donc vraisemblable que notre alimentation future, au niveau mondial, sera plus proche de celles des primates non humains, nettement plus économes, en termes d'énergie consommée et d'occupation de l'espace, que celle de l'humanité actuelle... à condition, toutefois, que les ethnoécologistes de la nouvelle génération arrivent à bien comprendre pourquoi la viande rouge reste toujours un aliment aussi prestigieux et comment modifier cette perception inadaptée qui aboutit à un énorme gaspillage d'énergie et de terres cultivables ! Car le plaisir de consommer les mélanges d'extraits purifiés — que l'on croyait être ceux d'un lointain futur — fait bien partie d'un présent auquel se joint toujours la tradition d'une cuisine régionale, celle que les chefs arrivent à intégrer dans les produits fabriqués en série. Et si la généralisation du congélateur continue de changer nos habitudes alimentaires, cela n'exclut aucunement les traditionnels plaisirs de cuisiner et même de récolter dans son jardin les fruits et légumes dont on nous recommande vivement la consommation.

La gestion de notre environnement reste toutefois intégralement liée aux pratiques agricoles dont on admet que la mécanisation et l'utilisation des fertilisants ont permis, au cours du siècle dernier, d'aboutir à une productivité qui peut couvrir les besoins mondiaux. Cependant les essais d'une gestion par petites unités locales faisant appel aux techniques agro-écologiques (mélanges d'espèces) sont nettement moins gourmandes en énergie. Elles impliquent souvent une philosophie du bien-être, celle que Pierre Rabhi a présentée dans « L'agroécologie une éthique de vie, entretien avec Jacques Caplat » (Actes Sud, 2015) qui répond à la nécessité de modération dans la consommation des ressources, renouvelables ou non, et dans la valorisation d'un environnement que des techniques anciennes

ou récentes permettent d'enrichir. On ne saurait dire dans quelle mesure les deux systèmes qui semblent s'opposer pourront cohabiter ou se combiner dans l'avenir pour nourrir l'humanité.

Car les transformations de nos habitudes alimentaires et de nos systèmes agronomiques prennent nécessairement du temps. Notre destinée n'est-elle pas de comprendre que les liens entre les humains sont formés par le remplacement des générations successives où les écrits ont remplacé les traditions orales. Ainsi le présent volume représente-t-il une dette que je devais régler de la même façon que nous faisons des « restitutions » sur le terrain après y avoir effectué nos recherches sur l'alimentation. Cela consiste à présenter les résultats obtenus aux personnes chez lesquelles — ou pour lesquelles — nous avons effectué les recherches, et à leur suggérer des transformations possibles ainsi que ce fut le cas dernièrement à Madagascar à propos de la culture des ignames <<https://hal.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/546221/filename/ignames-Madagascar-copie.pdf>> dont les formes spontanées diffèrent de celles que nous avons étudiées en Afrique continentale et qui sont vraisemblablement liées aux origines de l'humanité.



Clap de fin sur cette image illustrant nos derniers rapports scientifiques sur les travaux d'éco-anthropologie réalisés à Madagascar : une jeune malgache propose des ignames collectées en forêt dont il existe plus de quarante espèces endémiques qui pourraient constituer des aliments du futur.

Cet ouvrage est destiné à faire connaître à un large public ce que les recherches sur les primates non humains et sur certaines populations humaines en équilibre de subsistance ont permis de comprendre des perceptions que nous avons des aliments et de la façon la plus rationnelle de les choisir dans un proche avenir. Plutôt que de théories, il s'agit essentiellement de présenter les travaux effectués dans les milieux naturels habités par des primates. Certaines des observations décrites et leurs interprétations les plus évidentes — notamment sur la perception du sel — sont trop souvent ignorées.

En quête d'une alimentation idéale considérée comme une sorte de Graal, nous suivons, au cours de la vie d'un chercheur et avec une équipe de recherche, les étapes successives de l'acquisition des connaissances sur les primates dans leur contexte historique et technique. L'illustration comporte une collection unique de clichés de plantes alimentaires peu connues des forêts tropicales. Les commentaires techniques ajoutés aux légendes retracent les transformations de cet art photographique dont l'informatique a permis la généralisation.

Les méthodes d'étude de l'alimentation et de ses conséquences anthropo-biologiques se sont également profondément transformées au cours des dernières décennies, en fonction des possibilités d'analyse des ADN de la flore intestinale, et surtout grâce à l'utilisation des banques de données (les « Big Data ») sur l'alimentation humaine. Les observations de terrain sur le long terme, notamment celles qui concernent les primates non humains, présentées dans ce volume, restent néanmoins des acquis incontournables.

