

# DOSSIER

POUR LA

# SCIENCE

Le cri du cœur de Jane GOODALL

La plus célèbre  
spécialiste des  
chimpanzés ne veut  
pas baisser les bras



Leur avenir est entre nos mains

## Nos cousins les grands singes

**LE YÉTI A EXISTÉ !**

Nos ancêtres l'ont  
rencontré il y a  
2 millions d'années

**LES GORILLES**

Des preuves  
surprenantes  
de leur culture

M 01930 - 86 - F : 6,95 € - RD



Belgique : 8,20 € - Canada : 11,50 CAD - Guadeloupe : 8,25 € - Guyane : 8,25 € - Luxembourg : 7,00 € - Maroc : 90,00 DH - Martinique : 8,25 € - Nlle Calédonie : 8,25 € - Nlle Calédonie : 8,25 € - Polynésie Française : 8,25 € - Portugal : 7,90 € - Réunion : 8,25 € - Suisse : 15 CHF

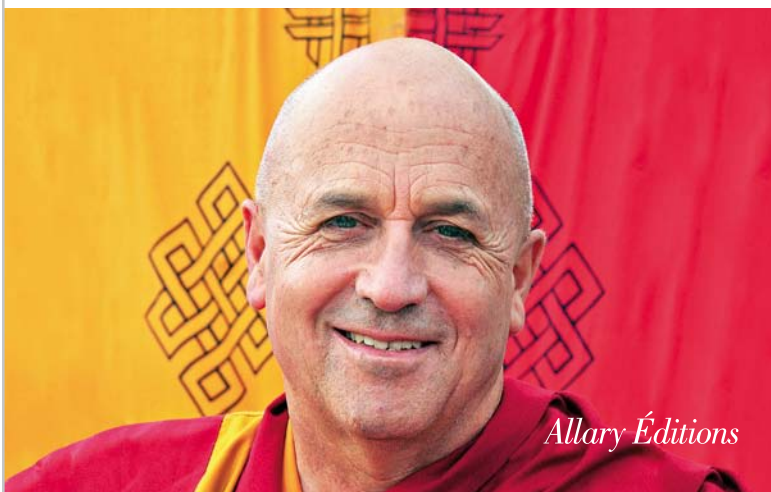
# LE LIVRE QUI FAIT DU BIEN AUX HOMMES ET AUX ANIMAUX

MATTHIEU RICARD

## PLAIDOYER POUR LES ANIMAUX

Vers une bienveillance pour tous

SUR  
TOUTES LES  
LISTES DES  
MEILLEURES  
VENTES



Allary Éditions

« Un document magistral, un appel  
spectaculaire à changer de civilisation. »

*Patrice Van Eersel - CLES*

« Un livre qui m'a beaucoup impressionné. »

*Michel Drucker – Vivement dimanche, France 2*

« Un merveilleux plaidoyer pour les animaux ! »

*Frans-Olivier Giesbert – Les grandes questions, France 5*

« Hyper documenté et implacable. »

*Dorothée Werner et Patrick Williams – Elle*

« Matthieu Ricard alerte nos consciences :  
cela fait forcément écho. »

*Valérie Josselin - Version Femina*

« Un infatigable militant de la compassion  
et de l'altruisme pour tous les êtres sensibles. »

*Anne Sinclair – L'interview, Europe 1*

Æ

Allary Éditions



[www.allary-editions.fr](http://www.allary-editions.fr)

#### POUR LA SCIENCE

Directrice des rédactions : Cécile Lestienne

##### Dossier Pour la Science

Rédacteur en chef adjoint : Loïc Mangin  
Maquettiste : Pauline Bilbault

##### Pour la Science

Rédacteur en chef : Maurice Mashaal  
Rédactrice en chef adjointe : Marie-Neige Cordonnier  
Rédacteurs : François Savatier, Philippe Ribeau-Gésippe,  
Guillaume Jacquemont et Sean Bailly

##### Cerveau & Psycho

##### L'Essentiel Cerveau & Psycho

Rédacteur en chef adjoint : Sébastien Bohler  
Rédactrice en chef adjointe : Bénédicte Salthun-Lassalle

Directrice artistique : Céline Lapert  
Secrétariat de rédaction/Maquette :  
Sylvie Sobelman, Pauline Bilbault,  
Raphaël Queruel, Ingrid Leroy

Développement numérique : Philippe Ribeau-Gesippe

Marketing : Élise Abib et Ophélie Maillet

Directrice de la publication et Gérante : Sylvie Marcé

Direction financière et direction du personnel : Marc Laumet

Fabrication : Marianne Sigogne assistée d'Olivier Lacam

Presse et communication : Susan Mackie

Anciens directeurs de la rédaction :

Françoise Pétry et Philippe Boulanger

Conseiller scientifique : Hervé This

Ont également participé à ce numéro :

Pascale Thiollier-Dumartin

#### PUBLICITÉ FRANCE

Directeur de la publicité : Jean-François Guillotin  
(jf.guillotin@pourlascience.fr)  
Tél.: 01 55 42 84 28 ou 01 55 42 84 97 • Fax: 01 43 25 18 29

#### SERVICE ABONNEMENTS

Ginette Bouffaré/ Nada Mellouk-Raja Tél. : 01 55 42 84 04  
Espace abonnements:

<http://tinyurl.com/abonnements-pourlascience>

Adresse e-mail : [abonnements@pourlascience.fr](mailto:abonnements@pourlascience.fr)

Adresse postale : Service des abonnements  
8, rue Férou - 75278 Paris cedex 06

Commande de dossiers ou de magazines :  
Pour la Science 628 Avenue du Grain d'Or 41350 Vineuil

#### DIFFUSION POUR LA SCIENCE

Contact kiosques : À Juste Titres Benjamin Boutonnet  
Tél : 04.88.15.12.41

Canada : Edipresse : 945, avenue Beaumont, Montréal,  
Québec, H3N 1W3 Canada.

Suisse : Servidis : Chemin des Châlets,  
1979 Chavannes - 2 - Bogis

Belgique : La Caravelle : 303, rue du Pré-aux-oies  
- 1130 Bruxelles.

Autres pays : Éditions Belin : 8, rue Férou - 75278 Paris Cedex 06.

#### SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in chief : Mariette DiChristina.

Editors : Fred Guterl, Ricky Rusting, Philip Yam, Robin Lloyd,  
Mark Fischetti, Seth Fletcher, Christine Gorman,  
Michael Moyer, Gary Stix, Kate Wong.

President : Steven Inchcoombe.

Executive Vice President : Michael Florek.

Toutes demandes d'autorisation de reproduire, pour le public  
français ou francophone, les textes, les photos, les dessins  
ou les documents contenus dans la revue « Pour la Science »,  
dans la revue « Scientific American », dans les livres édités par  
« Pour la Science » doivent être adressées par écrit à « Pour la  
Science S.A.R.L. », 8, rue Férou, 75278 Paris Cedex 06.

© Pour la Science S.A.R.L. Tous droits de reproduction, de tra-  
duction, d'adaptation et de représentation réservés pour tous  
les pays. La marque et le nom commercial « Scientific American »  
sont la propriété de Scientific American, Inc. Licence  
accordée à « Pour la Science S.A.R.L. ».

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de repro-  
duire intégralement ou partiellement la présente revue sans  
autorisation de l'éditeur ou du Centre français de l'exploitation  
du droit de copie (20, rue des Grands-Augustins - 75006 Paris).

La couverture : Shutterstock.com/Steve Wilson  
et Fondation Jane Goodall.

Un encart offre d'abonnement - « Les éditions de la salamandre » posé  
sur la 4ème de CV des N° destinés aux abonnés.

Ce numéro comporte un encart d'abonnement Pour la Science  
broché page 96 sur la totalité du tirage.



Loïc MANGIN,  
rédacteur en chef adjoint

Il était une fois, trois dames, une Américaine, une Britannique et une Canadienne. Elles ont en commun d'avoir eu pour mentor et protecteur le primatologue Louis Leakey qui a orienté le destin de chacune. Ces femmes ont consacré leur vie à l'observation en milieu naturel des grands singes et à leur protection : toutes sont ou ont été des spécialistes de référence. Elles sont devenues les « Anges de Leakey » !

Dian Fossey, assassinée dans sa hutte le 27 décembre 1985, a dédié sa vie aux gorilles des montagnes dans le massif des Virunga, au Rwanda. Jane Goodall a passé plus de 50 ans en compagnie des chimpanzés du parc de Gombe, en Tanzanie. Enfin, Birutė Galdikas étudie le comportement des orangs-outans, notamment à Bornéo, depuis les années 1970.

## Les anges des grands singes

Grâce à elles, les préjugés et les images caricaturales qui prévalaient sur les grands singes (rustres, stupides, cruels...) sont tombés. En d'autres termes, elles ont transformé notre vision des grands singes. Depuis, d'autres anges ont pris la relève et enrichissent nos connaissances sur ces primates. De plus, ils défendent ardemment la cause de ces grands singes et s'investissent sans compter dans leur protection. Beaucoup de ces bienfaiteurs livrent leurs plus récents résultats dans ce numéro !

Mais c'est encore insuffisant, puisque les grands singes n'ont jamais été autant menacés ! Nous les voyons certes comme nos plus proches cousins, mais le braconnage, la déforestation et le trafic continuent de plus belle. Sans mesure concrète, les grands singes auront disparu en 2050. Nous sommes tous concernés, du simple citoyen aux gouvernants. C'est peut-être à notre tour de devenir des anges...





# Nos cousins les grands singes

- 1 ÉDITO de Loïc Mangin  
**Une tour de Babel moderne**
- 4 AVANT-PROPOS d'Étienne Klein  
**Les leçons de l'infiniment petit**

## Album de famille

- 28 **Le boson de Higgs, et après**  
John Ellis  
La découverte d'une nouvelle particule a été annoncée en juillet 2012 au cern. Iles disparu quelques instant
- 34 **Entretien avec FRANÇOIS ENGLERT**  
**Comment les particules acquièrent-elles une masse ?**
- 38 **Les secrets de l'antimatière**  
Patrick Nedelec  
Particules et antiparticules sont symétriques. Dès lors, pourquoi les secondes ont-elles disparu
- 46 **Entretien avec NICOLAS ARNAUD**  
**Comment transmettre la physique des particules ?**
- 48 **Plongée dans un fluide parfait**  
Raphaël Granier de Cassagnac  
À ses débuts, l'Univers a brièvement été un plasma de quarks et de gluons. Cet état extrême de la matière et bla bla lba lba lb ala.

- 54 **Particules et champs sont-ils réels ?**  
Meinard Kuhlmann  
Les physiciens nous présentent un monde constitué de particules et de champs de force.

## Le singe, un homme me les

- 62 **La supersymétrie, une théorie en crise ?**  
Joseph Lykken et Maria Spiropulu  
Les théories supersymétriques promettent une meilleure compréhension du monde des particules élémentaires. omettent
- 70 **Les neutrinos, une porte vers l'inconnu**  
M. Hirsch, H. Päs et W. Prod  
Les neutrinos sont des particules si étranges qu'ils devraient bientôt nous conduire.
- 78 **La physique à l'épreuve des symétries**  
Marie-Hélène Schune  
L'expérience lhcb a poussé le Modèle standard dans ses retranchements. En traquant la violation de la symétrie
- 84 **Entretien avec NICOLAS ARNAUD**  
**Quel est l'avenir du LHC ?**



# Dossier Pour la Science

## N° 86 Janvier-Mars 2015



### Avant-propos Jane GOODALL

#### La planète des singes

- 94 Les paris des grands accélérateurs**  
Philippe Lebrun  
Les performances des accélérateurs de particules ont notablement augmenté en un siècle.

- 102 EN IMAGES**  
Du CERN à l'hôpital

- 104 L'avenir incertain d'Internet**  
Nigel Shadbolt et Tim Berners-lee  
Le Web est né au cern il y a 25 ans. Il a depuis conquis le monde, et son essor oblige désormais et bla lba lba lba lba lba lba.

- 110 Le boson de Higgs sur la grille**  
David Rousseau  
Les grands détecteurs du LHC produisent des quantités faramineuses

- 116 Collisions créatrices**  
Ariane Koek  
Au CERN, de multiples programmes associent artistes et scientifiques.

- 120 À LIRE EN PLUS**



Constituez votre collection  
*Dossier Pour la Science*

**Tous les numéros depuis 1996**

sur [www.pourlascience.fr](http://www.pourlascience.fr)

### Rendez-vous par Loïc Mangin

#### 104 Rebondissements

Sur Mars des fleuves tardifs ? • Un traumatisme héréditaire • Troublants trous blancs • L'histoire des langues sans un mot • Du sexe des crevettes

#### 108 Données à voir

Une corrélation n'est pas un lien de cause à effet : plusieurs exemples incongrus le montrent

#### 110 Les incontournables

L'expo du moment mais aussi des podcasts, des sites...

#### 112 Spécimen

Coquillages, boule à facettes et lèvres scintillantes

#### 116 Art et science

Quand a été peint le chef d'œuvre de Monet  
*Impression soleil levant* ?

# Plaidoyer pour les grands singes

À mesure que les études s'accumulent, la frontière qui sépare les grands singes, et particulièrement les chimpanzés, des humains s'évapore. Pour autant, ces primates n'ont jamais été autant menacés. En se mobilisant, on peut encore les sauver.

## Jane GOODALL

Présidente d'honneur  
de l'Institut Jane Goodall France,  
Messager de la paix  
des Nations unies.  
[www.janegoodall.fr](http://www.janegoodall.fr)

Louis Leakey (1903-1972) qui m'a proposé d'étudier les chimpanzés dans le parc national de Gombe, dans ce qui est aujourd'hui la Tanzanie. Par la suite, Leakey m'a obtenu une place à l'Université de Cambridge pour y préparer un doctorat, alors même que je n'avais pas de diplôme de fin d'études secondaires (l'équivalent du baccalauréat en France) !

À cette époque, au début des années 1960, la plupart des éthologues soutenaient que le comportement de tous les animaux – à l'exception de l'« animal humain » – n'était guère plus qu'un ensemble de réactions, codées génétiquement, aux stimulus sensoriels. Toute personne qui attribuait un comportement humain à des animaux était coupable d'anthropomorphisme. Il était impossible d'évoquer une personnalité, un esprit ou des émotions pour des animaux, puisque ces caractéristiques étaient, m'affirmait-on, l'apanage de l'être humain.

J'étais convaincue du contraire grâce à l'enseignement de mon maître d'école, à celui de mon chien *Rusty*, et je refusais donc d'accepter les explications réductionnistes des comportements complexes. Heureusement, mon directeur de thèse (le professeur Robert Hinde), un sage, m'a appris à exprimer mes idées révolutionnaires, (par exemple, je fus la première à donner des noms aux chimpanzés plutôt que des numéros) : j'étais armée pour faire face aux nombreuses critiques scientifiques hostiles à ma façon de faire et à mes travaux. Néanmoins, j'obtins mon diplôme et, une fois mon doctorat en poche, je partis mettre en place un centre de recherche à Gombe.

À l'âge de 23 ans, j'ai économisé suffisamment d'argent pour pouvoir embarquer, en bateau, depuis la Grande-Bretagne vers l'Afrique. Là, j'y ai rencontré le paléo-primatologue

Ces travaux en sont aujourd'hui dans leur 55<sup>e</sup> année et constituent la plus longue étude jamais menée sur un animal vivant ! Les chimpanzés pouvant vivre plus de 60 ans, des observations sur le long terme sont indispensables. Nous avons ainsi recueilli des histoires de vie, des histoires de famille et suivi au long cours les relations entre des groupes sociaux voisins. Nous avons notamment assisté à une sorte de guerre primitive entre deux clans.

## Des cousins très proches

La conséquence de cette persévérance est que nous avons beaucoup appris sur nos plus proches cousins (voir *Une histoire de grands singes*, par J.-J. Jaeger, page 8). Les chimpanzés partagent plus de 98 pour cent de notre ADN et présentent des similitudes frappantes dans la composition du sang, le fonctionnement du système immunitaire et l'anatomie du cerveau (voir *Pour quelques gènes de différence*, par K. Pollard, page 38). Ils disposent d'un répertoire complexe d'appels, de postures et de gestes, avec lesquels ils communiquent des informations sur ce qui se passe en leur for intérieur et autour d'eux. Ils s'embrassent, s'enlacent, se tiennent la main, se chatouillent, rient... comme les humains et, le plus souvent, dans des contextes comparables. Ils élaborent et utilisent des outils – une capacité qu'on a longtemps cru être une exclusivité des êtres humains. Réagissant à cette nouvelle vision des chimpanzés, Leakey en a conclu que : « Nous devons dorénavant redéfinir l'homme, redéfinir l'idée d'outil, ou bien accepter que les chimpanzés soient des êtres humains. »

Plus encore, selon les régions, les chimpanzés exhibent des comportements et des usages qu'ils transmettent de génération en génération *via* un processus d'observation, d'imitation et de mise en pratique. N'est-ce pas ce que nous nommons culture (voir *Les chimpanzés : des grands singes pétris de culture*,





JANE GOODALL dans le parc de Gombe, en Tanzanie.

par Ch. Boesch, page 50) ? En outre, les chimpanzés font preuve de compassion et d'altruisme, mais aussi, parfois, de violence envers leurs congénères. Ils peuvent également comprendre et utiliser des symboles abstraits pour communiquer, et même percevoir les humeurs et les besoins des autres (voir *Un animal doué de raison ?*, par B. Thierry, page 44).

Nous devons garder à l'esprit que l'homme a développé un langage très sophistiqué. De leur côté, les chimpanzés peuvent apprendre la langue des signes et mémoriser quelque 400 mots et phrases. Bien sûr, ils ne développent pas le même type de communication à l'état sauvage. Si tel était le cas, ils pourraient nous parler de leur passé, planifier l'avenir, apprendre, imaginer et avoir des discussions. Ils pourraient même être en mesure d'élaborer des plans d'action et résoudre les problèmes. Je pense qu'ils diraient : « J'ai des sentiments tout comme vous, considérez-nous avec amour et respect. Ne faites pas de nous un divertissement. Ne nous enfermez pas dans des petites cages. Ne vous servez pas de nous pour des expérimentations. Protégez notre espèce à l'état sauvage et ne détruisez pas la forêt. » Malheureusement, notre arrogance nous conduit à mettre l'homme au-dessus de tout, d'en faire une espèce à part. Pourtant les chimpanzés nous apprendraient vite que nous, humains, sommes seulement une partie du règne animal.

Aujourd'hui encore, après toutes ces années, nous découvrons de nouvelles choses sur ces êtres incroyables ! Depuis les années 1960, diverses études ont été engagées sur les différentes populations de chimpanzés dans d'autres régions de l'Afrique, et également sur les gorilles et les bonobos (voir *Un pouvoir au féminin*, par B. Fruth, page 64), ainsi que sur les orangs-outans en Asie (voir *Au secours*

*des orangs-outans*, par M. Ancrenaz, page 102). Il est devenu de plus en plus clair que nous ne sommes pas seuls dans l'Univers : d'autres êtres sont capables d'amour et de haine, de joie et de tristesse, de peur et de désespoir. Nous ne sommes pas non plus

Il n'y a pas de démarcation bien établie entre les humains et le reste du règne animal : c'est plutôt une frontière floue.

les seules créatures dotées d'un esprit apte à résoudre les problèmes. Et, enfin, nous ne sommes pas les seuls animaux à ressentir de la douleur et de la souffrance. En d'autres termes, il n'y a pas de démarcation bien établie entre nous et le reste du règne animal. Il y a plutôt une frontière floue, et qui tend à le devenir de plus en plus avec le temps.

De nouveaux outils sont venus compléter la panoplie des biologistes de terrain. Par exemple, l'ADN d'un chimpanzé (ou d'un autre animal) peut être analysé à partir d'un simple échantillon de déjections. Nous avons désormais le profil génétique de tous les chimpanzés de Gombe, et nous savons donc qui sont les pères des différents jeunes. Toute la généalogie du groupe est disponible. Des programmes informatiques sans cesse améliorés autorisent des analyses quotidiennes toujours plus fines. Les pièges photographiques sont devenus de précieux auxiliaires pour les écologistes qui suivent des animaux timides, ou qui souhaitent recueillir des informations sans perturber le groupe d'étude.

### Menacés de toutes parts

Malheureusement, bien que la science nous en apprenne toujours davantage sur le comportement des grands singes, ils sont de plus en plus menacés de disparition. La population de chimpanzés, qui comptait plus de un million d'individus quand j'ai commencé mes recherches en 1960, est probablement inférieure à 300 000 aujourd'hui. L'une des principales

menaces pour les chimpanzés et les autres grands singes est la destruction galopante de la forêt tropicale, leur habitat, à mesure que les populations humaines se développent, à mesure que les compagnies forestières pénètrent plus profondément dans les forêts, à mesure que l'exploitation minière du coltan, indispensable à nos équipements électroniques, progresse, à mesure que l'industrie de l'huile de palme se répand à travers les tropiques (voir l'entretien avec E. Grundmann, page 98).

## L'importance des populations locales

Parmi les dangers figurent aussi le commerce de viande de brousse et la chasse commerciale d'animaux sauvages pour en faire de la nourriture (cette pratique, distincte de la chasse traditionnelle de subsistance, alimente des circuits internationaux). Les maladies représentent un autre danger important. Les grands singes sont sensibles à bon nombre de maladies infectieuses qui touchent les humains et sont parfois dépourvus de résistance pour y faire face. On sait aujourd'hui que, par exemple, le virus Ebola est entré en contact avec l'humain *via* les chimpanzés. Ce virus décime également les populations de gorilles (voir *Gorilles dans la tempête*, par N. Ménard, page 90).

Puisque nous avons tant à attendre des études scientifiques sur les grands singes, il est très important que nous collaborions pour réduire ces menaces. Pour contrer le braconnage, nous devons éduquer les populations locales, et surtout leur proposer d'autres moyens de se procurer des aliments ou de gagner leur vie. Je crois qu'aucun effort de conservation ne pourra porter ses fruits sans que les populations vivant autour des sanctuaires de protection ne soient impliquées et en profitent (voir *Pouvons-nous vivre ensemble ?*, par S. Krief, page 82).

Au début des années 1990, j'ai survolé le parc national de Gombe et je me suis rendu compte qu'autour de la zone protégée, la déforestation était presque totale. Les chimpanzés étaient pris au piège dans une île de forêt entourée par un paysage aride où les gens s'échinaient à cultiver des pentes érodées. Ces territoires abritaient plus de personnes qu'ils ne pouvaient en supporter. Comment pouvions-nous tenter de sauver les chimpanzés quand les humains avaient tant de mal à survivre ? Il était évident que, pour protéger les chimpanzés et leur habitat forestier, nous devions aider les populations humaines voisines. C'est ainsi qu'en 1994 l'Institut Jane Goodall a initié le programme TACARE (ou *Take Care*), un projet global d'amélioration des conditions de vie des villageois tout en respectant l'environnement. Les populations furent pleinement associées à son développement.

Les villageois ont saisi l'importance de la protection de la forêt pour lutter contre l'érosion des sols sur les pentes raides, et donc pour protéger le bassin-versant sur lequel ils sont installés. Certains villages ont réservé jusqu'à 20 pour cent de leurs terres pour constituer une zone tampon autour du minuscule parc national de Gombe. Le résultat est spectaculaire : les chimpanzés

disposent de trois fois plus de forêts qu'ils n'en avaient il y a dix ans ! D'autres villages ont mis en place des corridors pour relier les quelque 100 chimpanzés de Gombe aux autres groupes éparpillés en dehors du parc. Des programmes similaires sont maintenant conduits par des Instituts Jane Goodall en Ouganda, en République démocratique du Congo (la RDC), en République du Congo et au Sénégal.

Les Instituts Jane Goodall collaborent avec divers partenaires (ESRI, *Google Earth*, *Digital Globe*, la NASA...) afin de disposer d'outils cartographiques de pointe. Dès lors, nous pouvons démontrer, avec précision, comment la protection d'un bassin-versant peut bénéficier aussi bien aux villageois qui l'occupent qu'à la faune sauvage. *Google Earth* a offert des tablettes fonctionnant à l'énergie solaire aux gardes forestiers et à des bénévoles des villages et nous nous sommes chargés de les former à l'utilisation de ces outils. Ainsi équipés, ils enregistrent scrupuleusement chaque activité illégale qu'ils repèrent. Toujours plus nombreux, les gardes forestiers impliqués alimentent la plate-forme *Global Forest Watch*, une initiative internationale de surveillance en direct de l'état

des forêts. Nous aurons bientôt une image plus claire de ce qui se passe dans les forêts à travers le monde.

Les drones seraient utiles pour des missions de surveillance et de lutte contre le braconnage. Dans un autre registre, l'écotourisme est bénéfique quand il est bien organisé et qu'il limite le nombre de visiteurs. Lorsqu'ils sont trop nombreux, ces derniers, surtout s'ils ne respectent

pas les règles, perturbent les singes. Parmi ces règles, l'une des plus importantes est de ne pas trop s'approcher des animaux de crainte de les contaminer par des agents pathogènes humains. Néanmoins, tous les visiteurs gardent en mémoire leur « safari » et leurs rencontres avec les animaux : ils sont alors plus enclins à devenir des ambassadeurs de la cause.

## Un problème d'héritage...

Enfin, mentionnons le programme *Roots & Shoots* (soit, *Racines et jeunes pousses*) que j'ai mis en place avec 12 étudiants tanzaniens en 1991, et qui existe désormais dans plus de 130 pays. Il encourage les jeunes, de l'école maternelle à l'université, à respecter tous les êtres vivants. Chaque groupe (on en compte aujourd'hui 150 000, dont 40 en France) choisit des projets qui feront du monde un endroit meilleur pour les humains, les autres animaux et l'environnement. Il leur appartient d'abord d'identifier les problèmes et ensuite de réfléchir aux solutions pour les résoudre et de les mettre en œuvre. De plus en plus d'adultes sont impliqués, pour un impact collectif majeur.

Pour toutes ces actions, Kofi Annan, l'ancien secrétaire général des Nations unies (de 1997 à 2006), m'a proposé de devenir un des Messagers de la paix en 2002, ces personnalités reconnues par les Nations unies pour leurs importantes actions humanitaires. Selon un ancien et désormais célèbre proverbe indien : « Nous n'avons pas hérité la Terre de nos ancêtres, mais nous l'empruntons à nos enfants. » À regarder ce que nous avons fait de cette Terre, je dirais plutôt que nous l'avons volée... ■

Autour de Gombe,  
les chimpanzés disposent  
de trois fois plus de forêts  
qu'ils n'en avaient  
il y a 10 ans !



# Album de famille

**8** **Une histoire  
de grands singes**  
Jean-Jacques Jaeger

**14** **Des géants  
et des hommes**  
Anne-Marie Bacon

**20** **Le dernier grand  
singé d'Europe**  
Clément Zanolli

**26** **En voir de toutes  
les couleurs**  
Gerald Jacobs  
et Jeremy Nathans

**32** **Tous bipèdes !**  
François Druelle  
et Gilles Berillon



© Shutterstock.com/Protasov AN

Les grands singes sont aujourd'hui cantonnés dans certaines régions d'Afrique et un petit territoire d'Asie. Ils sont pourtant les survivants d'une grande famille autrefois répandue dans le monde entier (à l'exception de l'Amérique). L'Europe elle-même a abrité plusieurs espèces. En Asie, un grand singe de près de trois mètres de hauteur a peut-être donné naissance au mythe du Yéti...

# Une histoire de grands singes

La famille des grands singes a connu un passé florissant avec plus de 40 genres fossiles répertoriés, contre trois aujourd'hui. Malgré quelques lacunes, les fossiles nous aident à reconstituer l'histoire évolutive de cette famille qui est partie plusieurs fois à l'assaut du monde.

Jean-Jacques JAEGER est professeur émérite à l'Institut de paléoprimatologie, paléontologie humaine : évolution et paléoenvironnements, à l'Université de Poitiers.

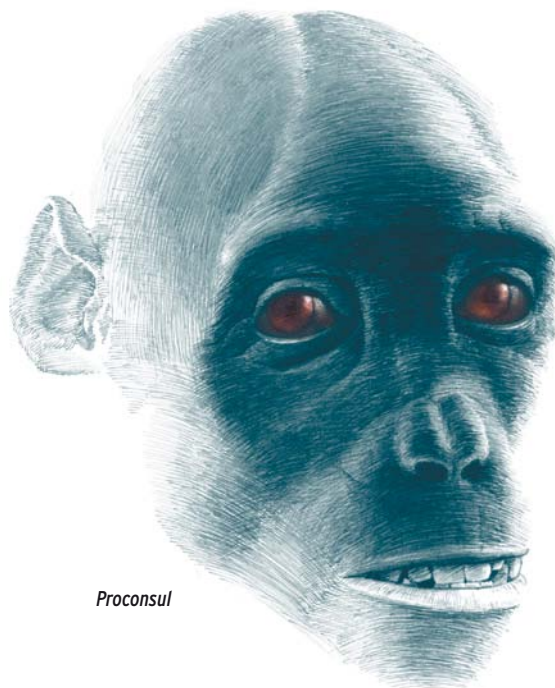
L'épisode est célèbre. Le 30 juin 1860, lors de la séance annuelle de l'Association britannique pour l'Avancement des Sciences, une joute verbale opposa Thomas Henry Huxley, ardent défenseur des théories de Darwin qui venaient d'être exposées à la savante assemblée, et Samuel Wilberforce, évêque d'Oxford. Ce dernier demande : « Est-ce par votre grand-père ou votre grand-mère que vous descendez du singe ? ». Huxley répondit : « Si j'avais à choisir un ancêtre entre le singe et un homme instruit qui utilise sa culture et son éloquence au service du préjugé et du mensonge, alors sans aucun doute je choisirais le singe. » De fait, Darwin fut le premier (dix ans

après la parution de *De l'origine des espèces par voie de sélection naturelle*) à proposer l'existence d'un ancêtre commun à l'homme et au chimpanzé. Quel est cet ancêtre ? Nous apporterons quelques éléments de réponse en parcourant les riches heures de la famille des grands singes.

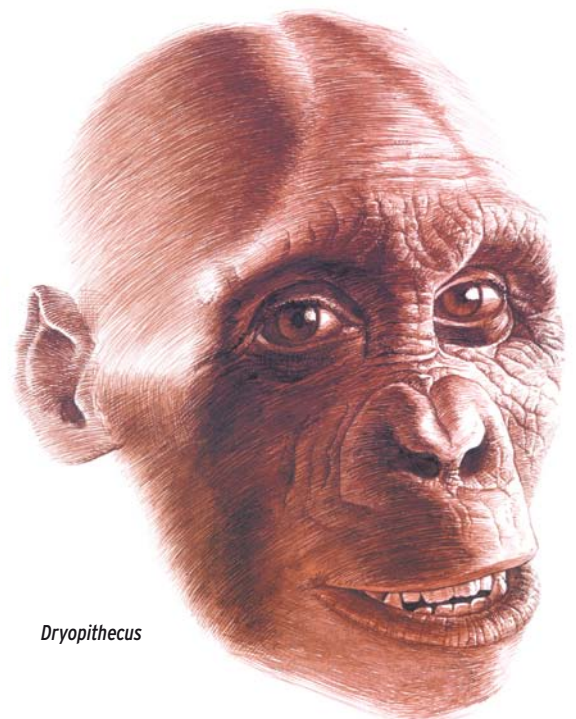
Mais d'abord, retournons à Oxford, pour un autre épisode clef. On connaît moins le débat sur l'hippocampe, qui commença deux jours avant l'altercation entre Wilberforce et Huxley. Richard Owen, le plus célèbre anatomiste britannique, prétendait que l'homme se distingue des autres primates par des particularités morphologiques, notamment la présence d'un *Hippocampus minor*

## L'ESSENTIEL

- L'histoire des grands singes est racontée par les fossiles.
- Ils sont nombreux pour les ancêtres des humains et des orangs-outans, mais rares pour ceux des gorilles et des chimpanzés.
- Les premiers grands singes sont apparus en Afrique il y a 25 à 30 millions d'années.
- Ils ont migré plusieurs fois en Asie et sont même arrivés en Europe.
- Cette histoire évolutive n'est peut-être pas encore finie, tant le potentiel évolutif de ces espèces est grand !

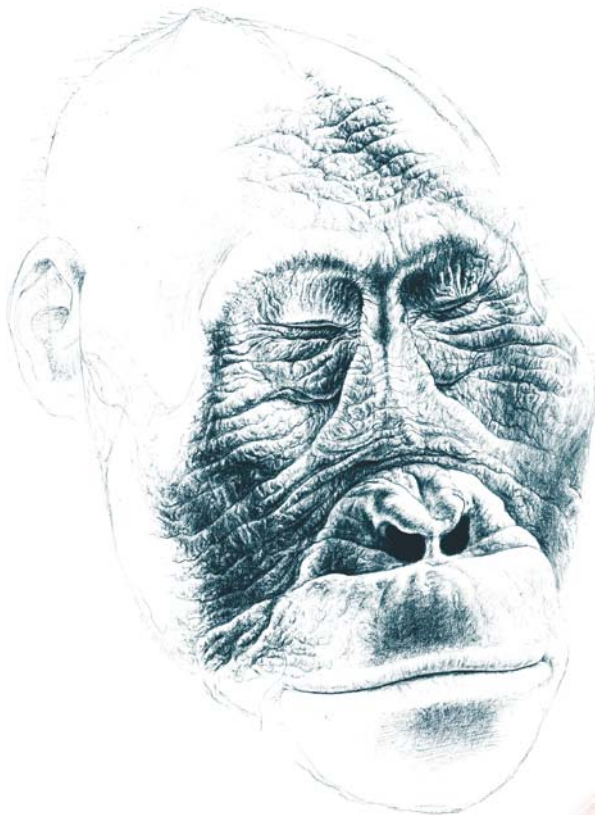


Proconsul



Dryopithecus





*Sivapithecus*



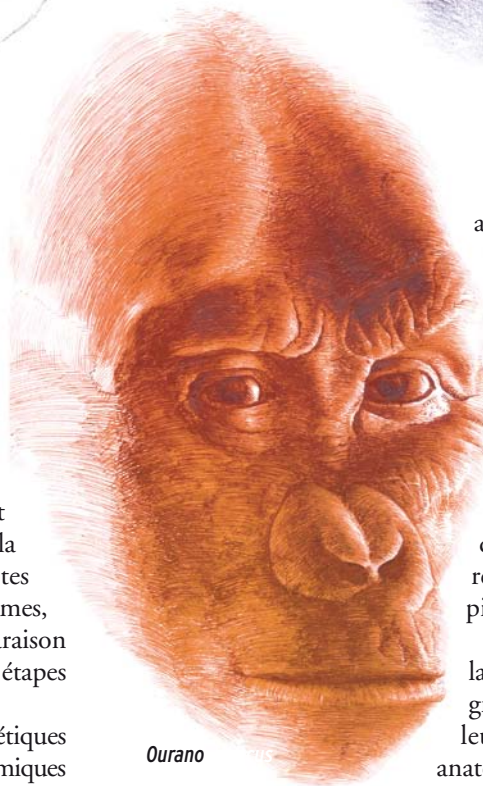
*Oreopithecus*

dans le cerveau : au sein de la classe des mammifères, l'homme serait alors à part. Huxley, encore, s'attaqua à cette idée et réussit à convaincre la communauté scientifique de l'époque. Les humains et les grands singes devenaient officiellement des cousins.

Aujourd'hui, les arguments scientifiques à l'appui de cette relation de parenté sont devenus écrasants en nombre et en qualité, au point que seules quelques minorités fortement influencées par des idéologies particulières la contestent encore. De fait, les taxonomistes regroupent au sein des hominidés, les hommes, les chimpanzés et les gorilles, et la comparaison de leur ADN a permis de reconstituer les étapes successives de cette évolution.

Les ressemblances biochimiques et génétiques sont certes notables, mais les différences anatomiques n'en restent pas moins importantes : tout muscle, dent, os... d'un hominidé actuel peut aisément être attribué à une espèce donnée ! L'un des défis de la paléoprimatologie moderne est de connaître l'ancêtre commun à l'homme et au chimpanzé.

On serait tenté de reconstruire cet ancêtre commun en imaginant des caractères anatomiques intermédiaires, mais l'évolution en mosaïque condamne à l'échec toute tentative de ce type. Selon ce concept, l'évolution ne s'applique pas simultanément à toutes les parties d'un corps. Prenons l'exemple de l'appareil locomoteur. Comment notre



*Ourano*

ALBUM DE FAMILLE  
des grands singes où  
seuls quelques membres  
sont représentés.

ancêtre commun se déplaçait-il ? Était-il bipède ou quadrupède ? Pouvait-il se suspendre et passer de branche en branche comme les chimpanzés aujourd'hui ?

On peut aussi s'inspirer de l'anatomie des formes phylogénétiquement plus éloignées (les gorilles, les orangs-outans et les gibbons) ou en mettant tout son espoir dans l'adage de Haeckel selon lequel l'ontogenèse récapitulerait la phylogenèse. Mais cette piste est une impasse.

Reste une autre méthode, l'analyse de la documentation paléontologique de ces grands singes pour tenter de reconstituer leur histoire et celle de leurs caractères anatomiques. C'est cette dernière approche que nous allons développer !

## Le premier humain

Toumaï (*Sahelanthropus tchadiensis*) est le premier représentant de la lignée humaine (les hominidés). Découvert au Tchad dans un site vieux de plus de sept millions d'années, il témoigne de l'ancienneté de la séparation entre humains et chimpanzés et d'une très probable bipédie.

Quant à l'autre branche, celle des chimpanzés ou même celle des gorilles, plus ancienne encore, aucun fossile n'est venu aider à reconstituer leur



histoire, à l'exception de quelques dents, semblables à celles des chimpanzés actuels, dans un site daté de 500 000 ans, au Kenya.

Pourtant, l'évolution de nos cousins asiatiques, les orangs-outans est assez bien documentée en Asie, réfutant l'idée répandue que la forêt tropicale humide n'est pas propice à la conservation d'ossements fossiles. Cette absence totale d'ancêtres de chimpanzés et de gorilles est encore aujourd'hui une énigme qui contraste avec le registre fossile concernant la lignée humaine!

Pour néanmoins nous aider, d'autres grands singes fossiles, appartenant à des lignées éteintes, sont assez bien documentés, et ce dans les trois parties de l'Ancien Monde, l'Afrique, l'Europe et

**LA MÂCHOIRE INFÉRIEURE** du khoratpithèque, le plus proche parent connu des orangs-outans actuels, a été mise au jour dans un dépôt de sables au Nord-Est de la Thaïlande. Ce gisement serait daté de six à huit millions d'années.

l'Asie, entre 20 et 7 millions d'années. Ils étaient plutôt diversifiés puisqu'on a décrit 40 genres fossiles distincts! Leur origine est assurément africaine et s'inscrit dans l'évolution des anthropoïdes africains, suite à leur immigration en provenance d'Asie autour de 45 millions d'années.

Le registre fossile africain témoigne d'une différenciation progressive des premiers grands singes entre 30 et 25 millions d'années. Ces primates nommés proconsulidés ont été exclusivement mis au jour en Afrique de l'Est. Ils représentent les premiers grands singes dépourvus de queue (on parle d'hominoïdes) vivant dans la forêt tropicale et ses lisières. Ils se nourrissaient essentiellement de fruits et étaient pourvus comme leur groupe frère les cercopithécoïdes (babouins, macaques, colobes, langours...) de seulement deux prémolaires.

### Proconsul, une impasse?

Cette première dichotomie entre les cercopithécoïdes et les hominoïdes a été datée d'environ 26 millions d'années et s'est déroulée en Afrique. Les cercopithécoïdes sont caractérisés par des molaires dotées de crêtes transverses bien individualisées qui facilitent le cisaillement des fibres végétales et par la persistance de la queue. À l'inverse, les hominoïdes ont des molaires sans crêtes et caractéristiques d'un régime à dominante frugivore.

L'appareil locomoteur de ces deux groupes est, à leur début, de type quadrupède grimpeur, assez proche de celui du cercopithèque

## Qu'est-ce qu'un « grand singe » ?

**L**es grands singes actuels (chimpanzés, gorilles, orangs-outans...) se distinguent des autres primates par un ensemble de caractères qui leur sont propres. Le plus évident est la perte de l'appendice caudal. Mais cette particularité a entraîné un grand nombre d'autres modifications anatomiques qui rigidifient leur tronc, facilitant les déplacements dans les arbres par suspension.

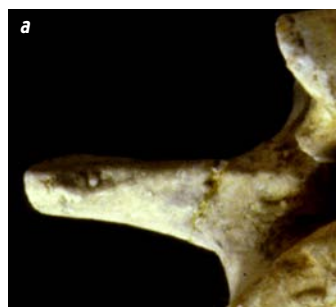
Ainsi, les omoplates sont situées dorsalement plutôt que latéralement, la cage thoracique acquiert une section ovale aplatie, les bras s'allongent par rapport aux jambes, la région lombaire se raccourcit et se rigidifie, les vertèbres lombaires se modifient, les articulations des membres et des poignets s'assouplissent, les mains s'agrandissent et mains et pieds deviennent encore plus préhensiles, avec des phalanges courbées. Seuls les humains, qui ont abandonné ce caractère pour devenir bipèdes, se sont éloignés de ce modèle qui devait pourtant caractériser leurs ancêtres!

Les grands singes, comme leur nom l'indique, sont généralement de grande taille, sauf au début de leur histoire. Ils ont une croissance et une durée de gestation plus longues que leurs cousins plus primitifs et une intelligence supérieure à celle des autres groupes de mammifères.

Ils sont omnivores à dominante frugivore, la morphologie de leurs dents en atteste, mais tous ces caractères sont apparus progressivement au cours du

temps! Les plus vieux grands singes, qui apparaissent autour de 25 millions d'années en Afrique orientale, n'ont pas encore tous ces caractères. Leur appareil locomoteur ressemble encore à celui de grimpeurs quadrupèdes qui se déplaçaient sur les branches. Mais dès cette époque, les articulations s'assouplissent, annonçant déjà leur spécialisation future. Chez *Morotopithecus*, un proconsulidé dérivé d'Afrique orientale, dont l'âge est encore controversé (de 20 à 15 millions d'années), on a observé des vertèbres lombaires similaires à celles des primates modernes, et notamment celles de l'homme, suggérant une bipédie (voir la figure).

Toutefois, l'anatomie de ses membres ne confirme pas cette adaptation, soulignant l'originalité de son appareil locomoteur. Ce caractère ne correspond peut-être qu'à une évolution parallèle au sein d'une radiation de proconsulidés sans descendance.



**LA VERTÈBRE lombaire** de *Morotopithecus* (a) ressemble en de nombreux points à une vertèbre lombaire humaine (b, en radiographie).



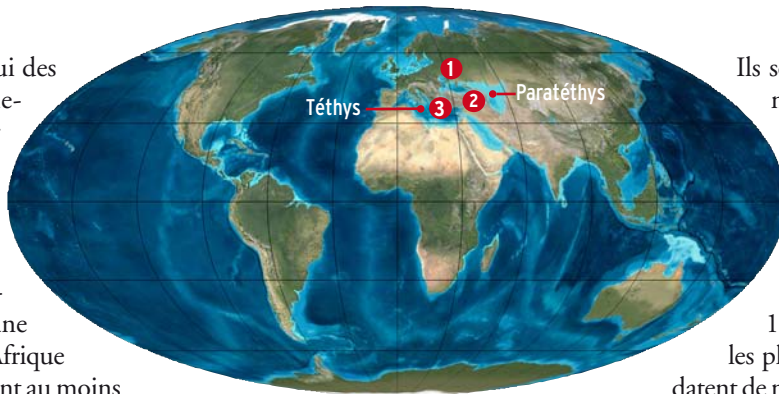
actuel. En revanche, celui des proconsulidés va rapidement se distinguer par une plus grande flexibilité des membres et une meilleure capacité de préhension des mains et des pieds. Ces proconsulidés vont connaître une radiation importante en Afrique qui va se prolonger pendant au moins dix millions d'années et donner naissance à une diversité de formes de grands singes fossiles, des plus petits aux plus grands.

Ces proconsulidés africains ont-ils constitué les ancêtres des hominidés? Aucun consensus ne s'est formé et de nombreux spécialistes pensent que cette radiation des proconsulidés a pris fin avec l'extinction de ses derniers représentants, il y a environ 15 millions d'années. En tous cas, peu de primatologues imaginent les proconsulidés à l'origine des grands singes africains actuels. On doit donc chercher ailleurs qu'en Afrique...

Les changements géographiques et climatiques qui ont bouleversé l'Ancien Monde ont conduit à une large dispersion hors d'Afrique de ces premiers hominoïdes. D'abord la plaque africaine a embouti la plaque eurasiatique il y a quelque 25 millions d'années, ce qui a fermé une branche de la Téthys, la mer qui séparait l'Afrique de l'Asie (voir la figure ci-dessus). Cet événement s'est traduit par l'érection de nombreuses chaînes de montagnes, tels les monts Zagros entre l'Iran et l'Irak, et a ouvert une voie terrestre entre l'Afrique et l'Eurasie. Un cortège d'immigrants venus d'Asie a alors colonisé l'Afrique pour la première fois : citons les ruminants, les girafidés, les cochons, les félidés...

Quelques millions d'années plus tard, entre 17 et 16 millions d'années, un réchauffement climatique mondial élargit vers les pôles la zone intertropicale et les végétations correspondantes. À cette occasion, les hominoïdes ont conquis l'Asie tropicale et l'Europe, ainsi que les domaines de transition, à savoir le Proche-Orient, l'Iran, la Turquie, les Balkans...

C'est donc à partir de cette époque que les premiers grands singes ont colonisé l'Asie, où ils sont représentés aujourd'hui par deux groupes très distincts, les hylobatidés, tels les gibbons, et les pongidés comme l'orang-outan. Les premiers sont de petite à moyenne taille, très adaptés à la suspension et à la locomotion arboricole. Le dimorphisme sexuel peu prononcé est attribué à leur vie en couple. À l'inverse, les orangs-outans sont plutôt de grande taille, avec un fort dimorphisme sexuel.



L'EUROPE ORIENTALE était traversée au Miocène (de 23 à 5 millions d'années) par une mer nommée Paratéthys qui déterminait deux voies de communication terrestre entre l'Europe et l'Asie (1 et 2). Plus au Sud, l'océan Téthys était limité à l'Est par la zone de rencontre des plaques africaine et eurasiatique (3) : longtemps intermittent, ce point de contact devint permanent il y a 15 millions d'années, ménageant un couloir de migration entre l'Afrique et l'Eurasie.

Ils sont adaptés à la suspension, mais restent moins spécialisés que les gibbons.

Selon l'horloge moléculaire, les gibbons auraient divergé vers 20 millions d'années et les orangs-outans il y a environ 17 millions d'années. En fait, les plus anciens fossiles asiatiques datent de moins de 14 millions d'années

et concernent uniquement des ancêtres du groupe des orangs-outans. Aucun fossile d'hylobatidé n'a encore été découvert en Asie et on ignore tout de leurs origines et de leur histoire!

## La conquête de l'Asie

Les plus vieux ancêtres des orangs-outans sont représentés par les restes de trois espèces attribuées au genre *Sivapithecus*. Celui-ci partage avec l'orang-outan des similarités anatomiques : une face concave, des orbites rectangulaires allongés dans le sens de la hauteur et un espace interorbitaire étroit (voir la figure page 9). En revanche, ses dents et son squelette postcrânien diffèrent notablement de ceux des formes actuelles. En particulier, l'adaptation à la suspension était faible et son mode de locomotion, resté primitif, correspondait plutôt à celui d'un babouin quadrupède grimpeur.

Ces espèces de *Sivapithecus* ont été mises au jour sur le piémont Sud de l'Himalaya, au Népal, en Inde et au Pakistan. Elles se sont éteintes au moment de la forte diminution des milieux forestiers, autour de huit millions d'années, à la suite d'un changement climatique majeur. Un proche parent, le *Gigantopithecus*, s'est différencié d'une espèce de *Sivapithecus* il y a neuf millions d'années et a acquis les dimensions d'un géant (voir *Des géants et des hommes*, par A.-M. Bacon, page 14).

Plus à l'Est, au Myanmar et en Thaïlande, une autre forme, le *Khoratpithecus*, de la taille de l'orang-outan, se différencie entre 12 et 7 millions d'années. *Khoratpithecus* partage de nombreux caractères avec les orangs-outans actuels, notamment sa denture, l'articulation de la mandibule et même une particularité rare de sa musculature mandibulaire qui trahit sa grande proximité avec l'ancêtre des orangs-outans (voir la figure page ci-contre).

*Lufengpithecus*, une troisième forme endémique des hauts plateaux de Chine du Sud, a vécu entre neuf et six millions d'années. Ses dents ressemblent de façon troublante à celles des orangs-outans, mais son crâne est très différent. Quelques éléments postcrâniens suggèrent une adaptation à la suspension,

Les proconsulidés africains sont-ils les ancêtres des hominidés? Peut-être, mais aucun consensus ne s'est formé.

mais les documents décisifs font défaut. Ses relations de parenté sont encore obscures. Il pourrait s'agir d'un représentant primitif survivant du peuplement asiatique ancestral, donc issu d'une branche primitive des grands singes asiatiques. Autre hypothèse, il serait venu d'Europe centrale ou orientale. Un représentant de ce groupe de pongidés asiatiques, l'Ankarapithèque, a été découvert en Turquie, dans un niveau vieux d'environ dix millions d'années. Ce dernier spécimen témoigne de la grande expansion géographique des pongidés au Miocène supérieur.

Ces formes asiatiques de grands singes partagent des caractères morpho-anatomiques originaux qui témoignent d'un possible ancêtre commun. Mais le plus marquant est que l'adaptation à la suspension de l'orang-outan actuel semble avoir été acquise indépendamment de celle des formes africaines, à partir d'un ancêtre commun, encore inconnu. Cet ancêtre portait dans son génome des potentialités qui ont permis à cette adaptation de resurgir indépendamment deux fois (chez les orangs-outans et chez l'ancêtre commun au chimpanzé et au gorille), voire trois fois au cours de l'évolution des grands singes.

À l'autre extrémité de l'aire de répartition de ces formes asiatiques, la radiation de la famille des grands singes a été impressionnante en Europe ! Le plus ancien fossile attesté – une dent – provient d'Allemagne et serait daté de 16,5 millions d'années. Mais cet âge a été récemment contesté et le chiffre de 14 millions d'années est aujourd'hui retenu. Ces pionniers en Europe sont incontestablement d'origine africaine.

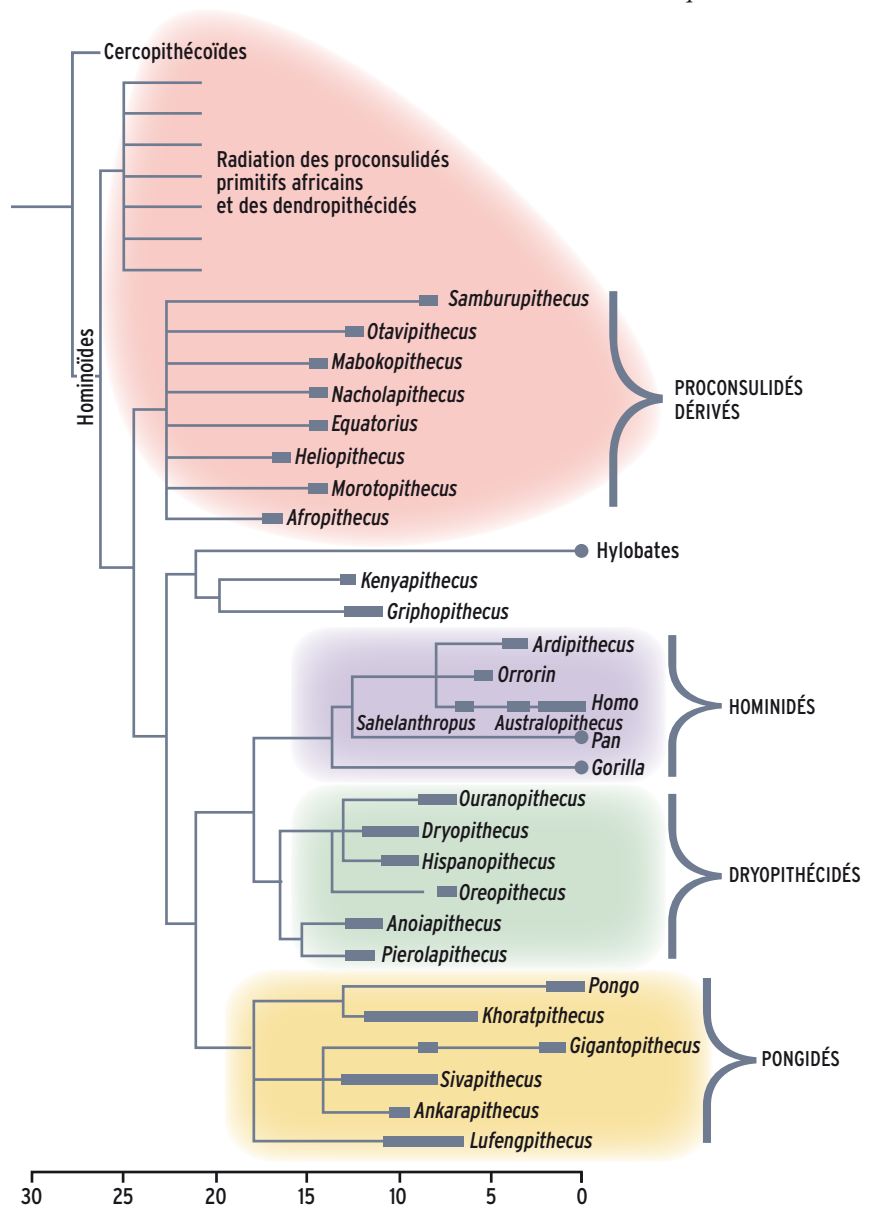
## Le singe des chênes

Historiquement, les premiers restes complets d'un grand singe fossile d'Europe ont été mis au jour dans une carrière proche de Saint-Gaudens, en Haute-Garonne, en 1856. Il fut nommé *Dryopithecus*, c'est-à-dire le singe des chênes, car le fossile était associé à des empreintes de feuilles de chêne, ce qui avait étonné le découvreur. Ce ne serait plus cas aujourd'hui, des espèces de chênes tropicaux étant désormais connus dans le Sud-Est asiatique.

La majorité des restes de grands singes fossiles européens ont été trouvés dans quatre régions : la France, l'Espagne, la Hongrie et la Grèce. Les plus complets viennent de Catalogne, de sites datés de 12 à 9 millions d'années. On y a relevé quatre formes distinctes, toutes de la taille d'un chimpanzé : *Dryopithecus*, *Anoiapithecus*, *Pierolapithecus* et *Hispanopithecus*. Des spécialistes plaident pour un regroupement de certaines de ces formes, donc d'une diversité plus réduite, mais de fait, des caractères anatomiques les distinguent clairement, selon S. Moya-Sola, de l'Université de Barcelone. Elles appartiennent toutes au groupe des dryopithécidés.

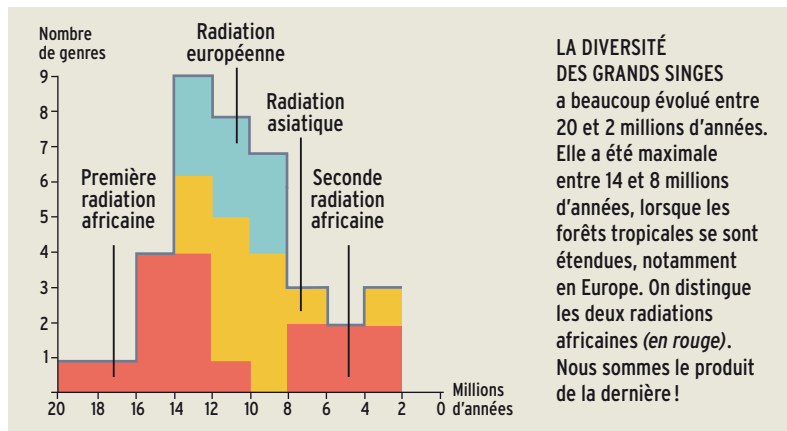
L'anatomie de ces formes est bien documentée et trahit une locomotion de type suspenseur (voir l'encadré page 10) et non plus grimpeur quadrupède. La plupart vivaient dans des forêts tropicales humides, où les fruits abondaient toute l'année. Toutefois, à partir de neuf millions d'années, le climat en Europe occidentale et centrale s'est dégradé, entraînant la disparition de ces forêts tropicales et celle des grands singes.

Ce changement s'est produit plus tôt en Europe orientale, où quelques formes de grands singes ont pu s'adapter à un milieu plus ouvert et plus saisonnier. C'est le cas de l'*Ouranopithecus*, un



L'HISTOIRE ET LES RELATIONS DE PARENTÉ entre les grands singes fossiles de l'Ancien Monde. On note la grande diversité de la radiation initiale des grands singes africains (en rose). C'est à partir de ce groupe que s'est différencié en Afrique un groupe ancestral des formes modernes de grands singes, y compris les humains (en violet). Selon l'interprétation classique, les dryopithécidés européens (en vert) constituent le groupe frère des hominidés africains (en violet). Ce scénario implique un retour en Afrique des ancêtres des hominidés. Toutefois, une autre hypothèse, moins étayée, suppose un rattachement des dryopithécidés (en vert) aux pongidés asiatiques (en jaune) : l'histoire évolutive de l'origine des hominidés serait alors entièrement africaine.





grand singe qui a vécu entre dix et sept millions d'années en Grèce et en Turquie. Il se rattache au groupe d'Europe occidentale des dryopithécidés mais possède plusieurs caractères originaux que l'on retrouve chez l'homme : un émail dentaire très épais, des dents de sagesse tardives, des canines réduites...

Est-il pour autant à rapprocher de la lignée humaine, qui débute avec Toumaï ? Certains y voient plutôt une évolution convergente de la denture avec celle de la lignée humaine, due à une nourriture plus abrasive et à un climat plus saisonnier. Sa locomotion est mal connue, mais on suppose qu'il se déplaçait sur le sol, comme un quadrupède. Enfin, mentionnons une dernière forme européenne de dryopithécidés, l'oréopithèque, qui a vécu en Italie (alors une île) entre huit et neuf millions d'années (voir *Le dernier grand singe d'Europe*, par C. Zanolli, page 20).

Selon certains, ces dryopithécidés qui ont essaimé en Europe constitueraient le groupe frère des hominidés africains, essentiellement en raison de leur mode de locomotion : la suspension. Toutefois, les formes intermédiaires n'ont pas encore été découvertes. Et d'autres interprétations ont été proposées. Par exemple, ces dryopithécidés européens représenteraient le groupe frère des pongidés asiatiques, sans parenté privilégiée avec les hominidés africains. Cette dernière hypothèse est plus cohérente biogéographiquement parlant, mais le débat reste encore ouvert. Notons que ces différents scénarios impliquent une évolution en parallèle de la locomotion de type suspenseur, plutôt qu'une apparition unique.

## Deux prétendants au titre

Néanmoins deux autres formes particulières de grands singes, mal connues, peuvent prétendre au statut d'ancêtre potentiel des hominidés. D'abord, *Griphopithecus*, le plus ancien grand singe d'Eurasie, est connu en Turquie, mais aussi en Allemagne et en Slovaquie, dans des sites datés d'environ 14 millions d'années. On n'a retrouvé que des dents, mais elles présentent des similarités avec celles des hominidés.

Ensuite, *Kenyapithecus* a été mis au jour sur le site de Fort Ternan, au Kenya, daté de 13 millions d'années, ainsi qu'en Turquie, en association avec *Griphopithecus*, dans un site daté de 14 à 15 millions d'années. Certains des rares caractères dont on dispose le rapprochent des hominidés. Sa présence en Eurasie renforce l'hypothèse de quelques généticiens selon laquelle l'ancêtre commun des hominidés africains aurait évolué hors d'Afrique avant de retourner, après 13 millions d'années, dans ce continent, pour donner naissance aux hominidés actuels.

Toutefois, ce scénario est controversé et des alternatives ont été formulées. Autour de 15 millions d'années en Afrique orientale, une diversité de grands singes fossiles a été décrite. Des formes, tels *Equatorius* et surtout *Nacholapithecus*, sont connues par une importante quantité de restes osseux et dentaires. Des auteurs considèrent *Equatorius* comme une forme proche de *Kenyapithecus* ; d'autres en font un descendant d'une radiation Est africaine désormais disparue. Les vertèbres lombaires de *Nacholapithecus* et de *Morotopithecus* sont dotées d'un caractère original qui évoque celui également observé chez les hominidés africains (voir l'encadré page 10).

Pour ajouter à la confusion, des spécialistes proposent que le *Griphopithecus* d'Europe et l'*Equatorius* d'Afrique orientale ne forment qu'une seule espèce ! On est donc face à deux hypothèses contradictoires : soit les ancêtres des hominidés sont à chercher parmi les formes eurasiatiques et dérivent de l'une d'elles qui est retournée secondairement en Afrique ; soit l'origine des hominidés s'est entièrement déroulée en Afrique. Dans ce dernier cas, les preuves de cette évolution locale sont cachées dans des niveaux encore mal documentés, entre 13 et 8 millions d'années.

En fin de compte, l'étude des grands singes fossiles révèle une extraordinaire complexité. Leur denture a évolué rapidement en fonction de leur alimentation, elle-même contrôlée par leur environnement qui est rarement resté constant au cours des 20 derniers millions d'années. De même, les squelettes postcrâniens se sont adaptés en permanence aux milieux qu'ils ont occupés. C'est la preuve d'un très fort potentiel adaptatif qui a conduit ces formes jusqu'à l'émergence d'un plan d'organisation humain, un bipède avec un grand cerveau. Aucun phénomène évolutif observé au cours de leur évolution antérieure n'avait pu le prédire ! Cette plasticité évolutive de l'anatomie humaine n'a certainement pas été perdue et, en conséquence, on peut prédire que l'évolution morpho-anatomique de l'homme va continuer dans le futur au même rythme et avec la même plasticité que par le passé ! De nouveaux grands singes vont-ils apparaître ?

## livres

- W. C. HARTWIG (Ed.) *The Primate Fossil Record*, Cambridge Univ. Press, 2002.
- D. R. BEGUN, *Fossil record of Miocene hominoids*, in W. HENKE et I. TATTERSALL, *Handbook of Paleoanthropology*, vol. 3, pp. 921-977, Springer Verlag, 2014.

## article

- I. CASANOVAS-VILAR et al., *Updated chronology for the Miocene hominoid radiation in Western Eurasia*, in *PNAS*, vol. 108, pp. 5554-5559. 2011.





DES SINGES GÉANTS de près de trois mètres de hauteur ont vécu en Asie du Sud. Nos ancêtres les ont sans doute croisés...



# Des géants et des hommes

Il y a quelque deux millions d'années, plusieurs espèces de grands singes vivaient en Chine, dont la plus grande qui ait jamais existé ! Les premiers humains arrivés en Asie l'ont probablement rencontrée.

Anne-Marie BACON  
travaille dans le Laboratoire  
(CNRS UPR 2147) Dynamique  
de l'évolution humaine, à Paris.

Le Yéti, Big Foot, Sasquatch... de nombreuses mythologies populaires mettent en scène une créature géante, à mi-chemin entre l'homme et le grand singe. Ces contes sont-ils pure invention et ne recèlent-ils aucune trace de vérité ? Pas nécessairement, car depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle, les paléontologues ont découvert la trace du plus grand singe ayant jamais existé, le gigantopithèque *Gigantopithecus blacki*. Ce primate mesurait jusqu'à 2,50 mètres de hauteur et aurait pu atteindre 300 kilogrammes ! Il peuplait le Sud de l'actuelle Chine, jusqu'au Viêt Nam, au Pléistocène inférieur et moyen, entre 2,2 millions d'années et 800 000 ans. Nous récapitulerons ce que l'on sait de cette espèce après avoir reconstitué son environnement. Enfin, nous tenterons de répondre à une question qui taraude les spécialistes depuis une vingtaine d'années : les êtres humains ont-ils croisé la route des gigantopithèques ?

## L'ESSENTIEL

- Des grottes de la Chine et du Viêt Nam abritent les restes du plus grand singe connu.
- *Gigantopithecus blacki* vivait encore il y a 800 000 ans.
- On reconstitue son environnement faunique et végétal afin de mieux le connaître.
- Il aurait croisé les premiers humains ayant quitté l'Afrique et migré en Asie, *Homo ergaster*, voire *Homo erectus*.

## Une faune atypique

À cette époque, la région était couverte d'une forêt tropicale. Parmi les animaux qui y vivaient, on trouve les formes anciennes de grands carnivores (des hyènes, des panthères, des chiens sauvages, des pandas et des félins à dents de sabre, tel *Meganthereon*) ainsi que de nombreux ongulés (des sangliers, des cerfs, des petits et grands bovidés, des rhinocéros, des éléphants, des chevaux, des tapirs et l'hippopotame *Dicoryphochoerus*). Les fouilles paléontologiques ont aussi mis au jour les restes d'animaux dont il ne subsiste aucun représentant dans les faunes actuelles, tels que le chalicothère *Nestoritherium* et le gomphothère *Sinomastodon*.

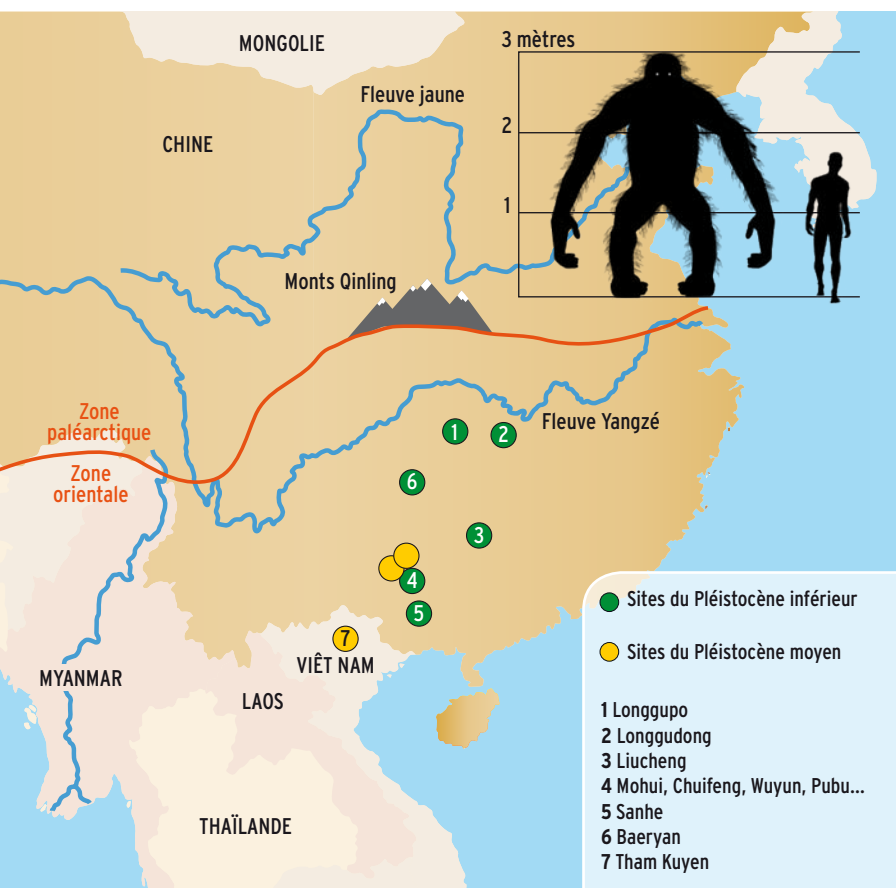
Les chalicothères, dont les plus proches cousins sont le cheval, le rhinocéros et le tapir, avaient des pattes antérieures bien plus longues que les pattes postérieures qui étaient trapues, courtes et

robustes. Ils marchaient vraisemblablement sur leurs poings, les griffes repliées vers leurs poignets... à la façon des gorilles. Quant aux gomphothères, ils ressemblaient à des éléphants.

Les primates étaient nombreux. Les formes ancestrales des gibbons côtoyaient celles de plusieurs espèces de macaques, de rhinopithèques et de langurs et des procynocéphales de grande taille aujourd'hui disparus. En ce qui concerne les hominoïdes (les singes sans queue, tels les gibbons et les grands singes), la Chine, et plus largement l'Asie continentale, abritait à cette période du Pléistocène des oranges-outans, un autre ponginé dont on ignore encore l'identité et, enfin, *Gigantopithecus blacki*, qui reste, nous l'avons dit, le plus grand singe connu. Aujourd'hui, dans cette zone, les gibbons sont les seuls survivants de cette diversité d'hominoïdes passée.

Précisons qu'outre *Gigantopithecus blacki*, on connaît deux autres espèces de gigantopithèques. D'abord, *Gigantopithecus bilaspurensis*, qui est connu par quelques vestiges de mandibules et de dents mis au jour en Inde. Il aurait vécu de neuf à six millions d'années, soit bien avant *Gigantopithecus blacki*. Ensuite, *Gigantopithecus giganteus* a été découvert dans le Nord de l'Inde et en Chine dans des sédiments âgés de 6,3 millions d'années. Le seul qui nous intéressera ici, car plus récent et mieux connu, sera *Gigantopithecus blacki*, désigné plus communément sous le terme « gigantopithèque ».

Au Pléistocène inférieur, l'habitat des gigantopithèques s'étendait entre le fleuve Yangtsé et les montagnes du Chongzuo (voir la carte page suivante). Au Pléistocène moyen, des climats relativement plus froids et secs ont contraint les gigantopithèques à vivre plus au Sud, vers le Nord du Viêt Nam, là où persistaient encore les forêts tropicales au climat chaud et humide.



Pour la Science

Aujourd'hui, la Chine est divisée en deux grandes zones : la zone paléarctique, au Nord, avec des animaux adaptés aux grandes steppes et à un climat sec et froid (les chevaux, les gazelles, les chameaux...) ; la zone orientale, au Sud du pays et jusqu'au Sud-Est de l'Asie, avec des espèces de forêts tropicales habituées à un climat chaud et humide (les pandas, les tapirs, les gibbons...).

Au Pléistocène inférieur, les montagnes Qinling et le fleuve jaune ne jouaient pas encore ce rôle de barrière de façon aussi nette. Les faunes à *Gigantopithecus blacki* proches du fleuve Yangtse (les sites de Longgupo et de Longgudong) étaient un mélange d'espèces des zones paléarctique et orientale, de même que les faunes du centre et du Sud (les sites Liucheng, Mohui et Sanhe), mais avec une plus grande proportion d'espèces orientales.

## Une géologie sans dessus dessous

Le panorama que nous venons de dresser ne doit pas cacher le fait que les faunes fossiles sont encore mal connues. En effet, les paléontologues font face à de nombreuses difficultés dans l'étude des gisements qui les contiennent, principalement en raison du contexte géologique dans lequel ils se trouvent dans cette région montagneuse d'Asie. Ces massifs sont surtout constitués de calcaire marin datant du Paléozoïque (entre 550 et 250 millions

*GIGANTOPITHECUS BLACKI* a vécu dans le Sud de la Chine et au Nord du Viêt Nam. Ses restes ont été découverts dans des sites du Pléistocène inférieur et moyen. À Longgupo et à Mohui, les faunes sont associées à des outils de pierre taillée qui trahiraient la coexistence avec des humains.

d'années), les couches pouvant atteindre plusieurs kilomètres d'épaisseur.

Pendant des millions d'années, sous des climats chauds et humides, l'eau fortement chargée en minéraux a dissous et érodé le calcaire, dessinant les reliefs karstiques (voir la figure page suivante). L'eau a également creusé un réseau de cavités et de grottes à l'intérieur de ces massifs. C'est dans ces grottes que se sont déposés les sédiments plus récents, du Pliocène à l'Holocène, c'est-à-dire de cinq millions à quelques milliers d'années.

Des mouvements géologiques complexes, tels que les soulèvements tectoniques et les baisses successives du niveau de la plaine, ont bousculé les ouvertures de ces grottes qui se situent à différentes altitudes dans les massifs montagneux. Plus encore, les grottes contenant les dépôts fossilifères les plus anciens sont en haut des montagnes, tandis que les plus récents sont en bas. Néanmoins, l'étagement des grottes et leur altitude renseignent sur l'ancienneté relative des faunes.

Dans les sédiments, il ne reste que des dents de mammifères, avec parfois quelques restes osseux d'amphibiens et de reptiles, déposés dans des brèches plus ou moins bien consolidées ou dans des dépôts sableux et argileux (voir la figure page 18). C'est dans cet état de conservation que nous sont parvenus les restes de *Gigantopithecus blacki*, dans une douzaine de sites connus à ce jour, principalement dans la province chinoise du Guangxi. Seule exception, la grotte de Liucheng, où les premières fouilles ont livré, entre 1956 et 1963, trois mandibules de *Gigantopithecus blacki* en plus d'un millier de dents.

Cependant, la datation de ces faunes est complexe. En effet, l'âge des niveaux et la nature des roches rendent inutilisables certaines méthodes géochronologiques. En outre, chaque gisement a une histoire particulière, jalonnée de nombreuses phases d'érosion et de dépôt. Enfin, à l'intérieur d'une grotte, on ne trouve pas toujours des roches datables (contenant des minéraux magnétiques ou des formations carbonatées) ou conduisant à des résultats fiables.

Aussi, depuis quelques années, les paléontologues et les géochronologues qui travaillent sur les sites chinois confrontent leurs résultats afin d'obtenir des âges les plus précis possibles. Les faunes elles-mêmes sont de bons indicateurs chronologiques. La présence de certaines espèces clés, les associations entre mammifères et l'apparition de nouvelles espèces aident les paléontologues à classer les faunes les unes par rapport aux autres, des plus primitives aux plus modernes.

Les géochronologues, quant à eux, appliquent diverses techniques de datation. Par exemple, avec des méthodes radiométriques fondées sur la désintégration d'éléments radioactifs (uranium,



potassium...), ils peuvent dater directement les dents fossiles et les sédiments qui les contiennent. Le paléomagnétisme permet aussi de corrélérer la direction du champ magnétique (variable avec le temps) mise en évidence dans les sédiments fossilifères avec l'échelle chronostratigraphique de référence afin d'estimer la date de leur formation (voir l'encadré page 18). On peut alors retracer l'histoire et l'évolution des faunes.

Qu'apprend-on ?

Depuis les années 2000, tous les nouveaux gisements à *Gigantopithecus* mis au jour dans la province du Guangxi, principalement dans les régions de Chongzuo et de Bubing, ont livré plusieurs centaines de dents isolées de mammifères. L'identification des espèces – uniquement à partir de ces dents – a clarifié la composition des faunes qui se sont succédé au Pléistocène inférieur, même si une certaine confusion persiste dans la nomenclature. De fait, différents noms d'espèces se réfèrent aux mêmes fossiles !

Ces faunes d'une grande diversité ont subi de nombreux bouleversements au Pléistocène inférieur, avec des extinctions, des apparitions de nouvelles espèces et des changements notables de la taille des individus dans certaines lignées, dont celles des gigantopithèques, des tapirs et des pandas, ces trois groupes d'animaux étant les mieux documentés aujourd'hui.

Dans le niveau le plus ancien du Pléistocène inférieur, entre 2,6 et 1,8 millions d'années, les

Les plus anciens dépôts fossilifères sont en haut des montagnes, tandis que les plus récents sont en bas.

**LES PAYSAGES KARSTIQUES**  
d'Asie du Sud-Est sont formés de montagnes et de pics rocheux. Les faunes à *Gigantopithecus blacki* de la province du Guangxi, dans le Sud de la Chine, ont été trouvées dans des grottes et des fissures nichées à l'intérieur de telles montagnes.

faunes à *Gigantopithecus* comprennent près d'un tiers de genres éteints, parmi lesquels les derniers représentants des périodes plus anciennes du Néogène (cette période qui s'étend d'environ 23 à 2 millions d'années est subdivisée en plusieurs sous-périodes dont la dernière est le Pléistocène), notamment les chalicothères et les gomphothères que nous avons décrits. Certaines espèces font leur

apparition et ne sont connues que dans ce niveau. Parmi elles, citons le panda *Ailuropoda microta*, le tapir *Tapirus sanyuanensis* et le canidé *Cuon dubius*. L'orang-outan de cette période, *Pongo weidenreichi*, est la plus ancienne espèce du genre *Pongo* connue à ce jour.

Entre 1,8 et 1,2 million d'années, les mammifères du Néogène qui peuplaient auparavant la région disparaissent progressivement. Le panda *Ailuropoda melanoleuca wulingshanensis*, de plus grande taille, le tapir *Tapirus sinensis* et le canidé *Cuon antiquus*, moins archaïques remplacent les espèces précédentes.

Le déclin des animaux du Néogène se poursuit inexorablement. Le grand panda *Ailuropoda melanoleuca baconi* apparaît (le panda géant d'aujourd'hui est *Ailuropoda melanoleuca*) ainsi que, progressivement, les formes anciennes des espèces typiques des écosystèmes actuels d'Asie du Sud-Est (macaques, gibbons, panthères, rhinocéros, ours, sangliers, cerfs, blaireaux, martres...). Autour de 500 000 ans, et peut-être jusque 300 000 ans, *Gigantopithecus blacki* et *Pongo weidenreichi*





DES ASSEMBLAGES de dents, notamment de rhinocéros (a) et d'éléphants (b) ont été mis au jour avec les fossiles de *Gigantopithecus blacki*.

vivaient dans les forêts tropicales du Sud de la Chine et du Nord du Viêt Nam. En revanche, la présence d'un autre grand singe et de l'homme est encore sujette à caution.

## Orang-outan ou humain ?

Dans des sites, les faunes à *Gigantopithecus* ont été trouvées en association avec des outils de pierre taillée et des restes humains. Ces derniers consistaient en un fragment de mandibule à Longgupo (dans la province du Chongqing, le site est daté de 1,8 à 1,4 million d'années) et en quelques dents à Mohui (dans la province du Guangxi, le site daterait d'environ 1,8 million d'années).

Depuis les premières découvertes de Longgupo publiées en 1995, certains spécialistes sont néanmoins revenus sur les conclusions des descriptions, ne reconnaissant pas l'authenticité des outils et doutant du caractère humain des vestiges. Ils ont proposé d'y voir plutôt un grand singe, une forme proche de l'orang-outan *Pongo pygmaeus*,

(celui qui habite aujourd'hui Bornéo, celui de Sumatra étant *Pongo abelii*) ou peut-être une forme proche d'un autre ponginé plus ancien, nommé *Lufengpithecus*, ayant vécu il y a quelque huit millions d'années. La question s'est posée à nouveau pour d'autres vestiges trouvés dans des sites du Pléistocène inférieur et moyen de Chine, du Viêt Nam et même d'Indonésie, sur le site de Sangiran. Ces vestiges ont parfois été attribués à de nouvelles espèces, tels *Langsonia liquidens* et *Hemianthropus peii*.

Le problème est *a priori* simple et vaut pour les animaux actuels. Lorsqu'on ne dispose que de dents, il est parfois difficile de dire si elles appartiennent à l'homme *Homo sapiens* ou à l'orang-outan (*Pongo pygmaeus* ou *Pongo abelii*), tant leur morphologie est proche. Le problème se complique avec les fossiles du Pléistocène, car durant cette période, plusieurs espèces de ponginés (*Gigantopithecus blacki*, *Pongo weidenreichi*, *Pongo palaeosumatrensis*, *Pongo devosi*...)

## Une horloge magnétique

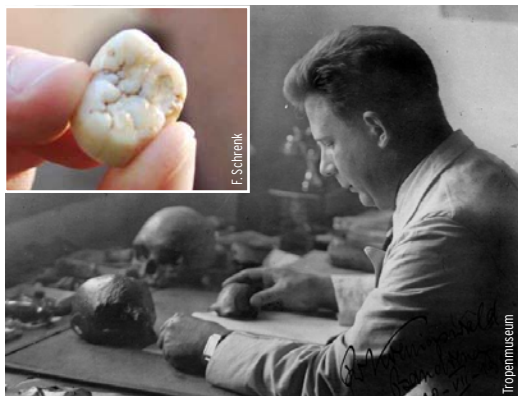
La direction du champ magnétique terrestre n'a cessé de changer au cours du temps, passant alternativement d'une polarité dite normale (orientée vers le Nord) à une polarité inverse (vers le Sud). Ces changements de l'aimantation des roches, partout sur la planète, ont permis de définir de grandes périodes (Matuyama, Brunhes, etc.), elles-mêmes subdivisées en plusieurs épisodes mineurs, dont les limites sont bien datées. L'ensemble constitue l'échelle chronostratigraphique de référence (en millions d'années).

L'analyse de minéraux magnétiques dans les couches géologiques indique quel était dans le passé le sens de la polarité magnétique à une période donnée : c'est le paléomagnétisme. Cette méthode est couramment utilisée pour dater les faunes à *Gigantopithecus* du Sud de la Chine.

Cependant, les données paléomagnétiques seules ne peuvent pas être directement corrélées avec l'échelle de référence, car plusieurs rapprochements sont possibles. D'autres indices sont requis, tels que les stades évolutifs des faunes qui permettent de les classer les unes par rapport aux autres (biochronologie), l'altitude des dépôts dans les massifs montagneux, des datations complémentaires effectuées directement sur les dents ou sur les sédiments (radiométrie), à l'image de ce qui a été fait récemment pour les sites de la région du Chongzuo (Baikong, Juyuan, Sanhe et Queque).

Biochronologie	Altitude des grottes	Sites	ma	Épisodes	Périodes
			-0		
			-0,1		
			-0,2		
			-0,3		
			-0,4	Brunhes	Brunhes
			-0,5		
			-0,6		
			-0,7		
			-0,8		
Faunes à <i>Ailuropoda melanoleuca baconi</i> et <i>Magatapinus augustus</i>	198 mètres	Queque ▶	-1	Jaramillo	
			-1,1		
Faunes à <i>Ailuropoda melanoleuca wulingshanensis</i> , <i>Tapirus sinensis</i> et <i>Cuon antiquus</i>	203 mètres	Sanhe ▶	-1,2		
			-1,3		
			-1,4		
			-1,5		
			-1,6		
			-1,7		
Faunes à <i>Ailuropoda microta</i> , <i>Tapirus sanyuanensis</i> et <i>Cuon dubius</i>	206 mètres	Juyuan ▶	-1,8	Olduvai	Matuyama
			-1,9		
	212 mètres	Baikong ▶	-2	Réunion	
			-2,1		
			-2,2		
			-2,3		
			-2,4		
			-2,5		





RALPH VON KOENIGSWALD (1902-1982) a découvert en 1935 dans des pharmacies chinoises traditionnelles les premières dents d'un *Gigantopithecus*. Ces fossiles, nommés « os de dragon » par les populations locales, étaient souvent parés de vertus curatives. Ces dents étaient presque deux fois plus grandes que celles d'un gorille !

et d'homininés (peut-être *Homo habilis*, *Homo ergaster*, *Meganthropus paleojavanicus*, une possible forme primitive d'*Homo erectus*...) ont existé et il est tout aussi difficile de les distinguer.

La plupart des dents fossiles sont identifiables après analyse, mais un petit nombre de dents ne répondent pas aux critères de forme et de taille de celles d'espèces fossiles déjà répertoriées. C'est pourquoi l'hypothèse d'un autre ponginé a été avancée. De nouvelles techniques d'imagerie virtuelle tridimensionnelles sont désormais nécessaires pour trancher parmi les hypothèses en lice. Ces méthodes devront mettre en évidence d'autres caractères, notamment ceux observables dans la structure interne des dents : la jonction entre l'émail et la dentine, l'épaisseur des tissus dentaires, la répartition de la couche d'émail au niveau des cuspides (les reliefs constituant la surface des dents)... Quoi qu'il en soit de ce singe encore mystérieux, que sait-on de *Gigantopithecus* aujourd'hui ?

## Anatomie d'un géant

Les trois mandibules de Liucheng attribuées à *Gigantopithecus blacki* ont été utilisées pour estimer la stature des individus. Les dimensions des mandibules, différentes, ont été interprétées comme l'indice d'un dimorphisme sexuel prononcé entre les femelles et les mâles, avec des poids allant de 150 à 300 kilogrammes. Les mâles les plus grands ne devaient pas dépasser 2,50 mètres, ce qui est déjà 20 à 25 pour cent plus grand que les gorilles mâles actuels !

Aujourd'hui, les données se rejoignent pour dire que *Gigantopithecus blacki* était un grand singe plutôt frugivore, se nourrissant aussi de graines, de noix et de bambou. Il vivait dans un écosystème dominé par une forêt tropicale dense. La composition des faunes, avec des animaux indubitablement inféodés au milieu arboré, tels les gibbons et les orangs-outans, et au climat chaud et humide, comme les tapirs, ainsi que les informations livrées par l'analyse des pollens corroborent cette idée.

D'autres renseignements sont fournis par l'étude des phytolithes : ces particules siliceuses

présentes dans les plantes et retrouvées sur la surface des dents aident à identifier les végétaux consommés. De même, la conformation des stries d'usure de l'émail trahit la relative dureté des végétaux. Enfin, la mesure des taux de l'isotope stable du carbone 13 dans l'émail des dents des grands herbivores, et des grands carnivores, comme la hyène en bout de chaîne alimentaire, permet de déterminer le type de végétation qui prédominait dans les écosystèmes. Les herbivores consommaient de façon prépondérante des plantes dites en C<sup>3</sup>, (les arbres, les herbes et les plantes herbacées), en référence à leur mécanisme d'assimilation du carbone (l'autre type est noté C<sup>4</sup>).

Être inféodé au milieu tropical et se nourrir essentiellement de fruits n'a pas été sans conséquences pour la survie de ces grands singes lors des grands changements climatiques : la fragmentation de leur habitat et une compétition accrue pour la nourriture, compte tenu de la diversité et de l'abondance des ponginés, ont probablement été déterminants dans cette extinction.

## Des hommes et des géants

Depuis dix ans, grâce à de nouvelles fouilles menées à Longgupo, une industrie faite d'artefacts rudimentaires en os et en pierre a été mise en évidence. La coexistence des hommes et des gigantopithèques entre 1,8 et 1,4 million d'années est donc avérée, du moins à proximité du fleuve Yangtsé. Quant au Sud de la Chine, l'énigme reste à ce jour entière.

L'idée de nouveaux arrivants peuplant cette région de la Chine dans cette période aussi reculée du Pléistocène est tout à fait plausible, puisque l'on date aujourd'hui leur sortie d'Afrique autour de deux millions d'années. Des hommes ont en tout cas eu la capacité de parcourir cette distance, particulièrement *Homo ergaster* (ou *Homo erectus* africain) découvert au Kenya et en Tanzanie, et dont le squelette, la stature et les proportions corporelles révèlent une aptitude à la bipédie plus performante et une moindre dépendance au milieu arboré.

Cependant, les plus anciens *Homo erectus* d'Asie, ceux de Sangiran, sur l'île de Java, et de Zhoukoudian, dans le Nord de la Chine, étaient adaptés à vivre dans un milieu de prairies, plutôt ouvert. De fait, leur présence aux côtés des gigantopithèques impliquerait qu'ils soient retournés vivre pleinement dans un environnement forestier. Une idée qui est loin d'être acceptée, car vivre au cœur de forêts denses, en milieu tropical, nécessite des techniques de chasse sophistiquées que n'auraient pu pratiquer ces premiers hommes.

## articles

• C. JIN et al., *Chronological sequence of the early Pleistocene Gigantopithecus faunas cave sites in the Chongzuo, Zuojiang River area, South China*, in *Quaternary International*, à paraître, 2015.

• Q. SHAO et al., *ESR, U-series and paleomagnetic dating of Gigantopithecus fauna from Chuifeng cave, Guangxi, southern China*, in *Quaternary Research*, vol. 82, pp. 270-280, 2014.

• L. Zhao et L. Zhang, *New fossil evidence and diet analysis of Gigantopithecus blacki and its distribution and extinction in South China*, in *Quaternary International*, vol. 286, pp. 69-74, 2013.

• E. BOËDA et al., *Données stratigraphiques, archéologiques et insertion chronologique de la séquence de Longgupo*, in *L'Anthropologie*, vol. 115, pp. 40-77, 2011.

• R. CIOCHON, *The mystery ape of Pleistocene Asia*, in *Nature*, vol. 459, pp. 910-911, 2009.

# Le dernier grand singe d'Europe

En Europe, les grands singes ont disparu il y a environ neuf millions d'années. Parmi ces cousins des gorilles, des chimpanzés et des orangs-outans actuels, la dernière espèce était un énigmatique primate nommé *Oreopithecus* : à quoi ressemblait-il ?

Clément ZANOLLI  
travaille au Laboratoire  
multidisciplinaire du  
Centre international  
de physique théorique,  
à Trieste, en Italie.

## L'ESSENTIEL

- L'Europe a été peuplée par diverses espèces de grands singes.
- *Oreopithecus* fut la dernière de ces espèces à disparaître du continent.
- Bipède et par ailleurs adapté à la vie arboricole, ce primate déconcerte.
- Certains caractères sont partagés avec les grands singes fossiles. D'autres évoquent la morphologie humaine. D'autres encore lui sont uniques.
- Cette mosaïque rend difficile son placement dans l'arbre phylogénétique.

Europe, il y a 10 à 12 millions d'années. Nous sommes à la fin du Miocène moyen et le continent ne ressemble en rien à ce que l'on connaît aujourd'hui. Ainsi, outre notre propre espèce, il est peuplé de nombreuses espèces de grands singes, un type d'animaux dont les seuls représentants actuels sont aujourd'hui en Afrique (le gorille, le chimpanzé et le bonobo) et en Asie (l'orang-outan). À l'époque, en Europe, la biodiversité des grands singes atteint son paroxysme, avec près d'une dizaine de genres distincts. Outre *Dryopithecus* sur lequel nous reviendrons et *Oreopithecus*, l'objet principal de cet article, citons *Kenyapithecus*, *Griphopithecus*, *Pierolapithecus* (voir *La famille des grands singes*, par J.-J. Jaeger, page 8)...

Pourquoi choisir *Oreopithecus* en particulier ? Parce que c'est un survivant. Il y a environ neuf millions d'années, d'intenses changements climatiques ont eu lieu (c'est la crise du Vallésien) sur tout le pourtour méditerranéen. Un refroidissement important et une augmentation brutale de la saisonnalité ont bouleversé le paysage. Des forêts tempérées à feuilles caduques ont remplacé la végétation tropicale humide. Ces changements écologiques ont vraisemblablement entraîné l'extinction de nombreux groupes de mammifères, incluant tous les grands singes d'Europe... Tous, sauf un, *Oreopithecus bambolii* (voir la figure page suivante), qui subsistera plus de deux millions d'années ! Nous détaillerons successivement à quoi ressemblait ce dernier des grands singes d'Europe, comment il se déplaçait, ce qu'il mangeait. Enfin, nous verrons que sa place dans la généalogie des grands singes n'est pas une chose acquise encore aujourd'hui.

Mais d'abord, plantons le décor. La première trace de l'oréopithèque (*singe des collines*, en grec) fut découverte à Monte Bamboli, en Italie. C'était

un fragment de mandibule qui a été décrit par le paléontologue Paul Gervais en 1872. Ensuite, plusieurs autres sites de Toscane (Serrazzano, Baccinello, Casteani, Montemassi, Ribolla...), pour la plupart d'anciennes mines de lignite, ont livré des restes d'oréopithèques. Plus récemment, sa présence a été signalée à Fiume Santo, en Sardaigne.

## Quand l'Italie était un archipel

Les reconstructions suggèrent que vers le début du Miocène supérieur, toute la région correspondant à l'actuelle Italie bordée par la mer Tyrrhénienne formait un vaste archipel. Ainsi, la région dite tusco-sarde, incluant la Sardaigne et peut-être aussi la Corse d'aujourd'hui, a dû être temporairement coupée du continent (voir la carte page 24). À la faveur d'une baisse du niveau de la mer, la formation de ponts continentaux provisoires a également favorisé l'arrivée de faunes d'origine africaine et européenne. Les périodes d'isolement prolongé ont duré jusqu'à la fin du Miocène supérieur, il y a environ six millions d'années.

Le haut degré d'endémisme des faunes associées (on ne les trouve pas ailleurs) à *Oreopithecus*, leur faible diversité taxonomique, la présence de bovidés spécialisés, certaines caractéristiques des dents des herbivores, le gigantisme des rongeurs et l'absence de carnivores terrestres sont autant d'arguments plaçant pour un environnement insulaire pendant cette phase du Miocène supérieur. En effet, l'ensemble des diverses chaînes alimentaires (on parle de réseau trophique) sur une île est souvent différent de celui observé en milieu continental. Sur des îles, les petits animaux, tels les lézards et les rongeurs, ont tendance à évoluer vers des formes géantes (c'est le cas aujourd'hui des dragons de Komodo et des rats géants *Papagomys* d'Indonésie),





tandis que les grands animaux diminuent en taille (l'éléphant nain fossile de Sicile n'avait que un mètre de hauteur à l'âge adulte).

Dans les îles de l'archipel tusco-sarde, la fragmentation du milieu a conduit à l'apparition d'écosystèmes sans prédateurs terrestres. Pour quelles raisons? Parce qu'à la différence des cervidés et des éléphants qui peuvent coloniser les îles en traversant des bras de mer, la majorité des prédateurs ne peut pas parcourir de grandes distances à la nage. Dès lors, l'absence de contrôle démographique des herbivores et les disponibilités en ressources alimentaires dans un espace réduit ont vraisemblablement entraîné des surpopulations qui se sont traduites par une compétition extrême entre espèces différentes, mais aussi entre individus d'une même espèce.

L'étude des pollens et des coraux fossiles indique que la région tyrrhénienne était, du temps de l'oréopithèque, plus chaude et humide que le reste de l'Europe méditerranéenne. Par ailleurs, l'abondance de restes de crocodiles, de tortues, de loutres (*Paludolutra*) et de mollusques d'eau douce (*Limnocardium* et *Dreissena*) suggère un écosystème de type forestier marécageux. La dominance de certains bovidés (*Maremmia*, *Tyrrhenotragus*...) et le faible nombre d'espèces plus forestières, dont néanmoins *Oreopithecus* semble faire partie, indiquent quant à eux un environnement plutôt ouvert.

C'est probablement cet isolement insulaire qui a permis à *Oreopithecus* de survivre aux autres grands singes d'Europe. En effet, sur les îles, il était à l'abri des changements climatiques plus prononcés du continent. En outre, il a bénéficié d'un environnement sans grands prédateurs.

L'ORÉOPITHÈQUE a disparu d'Europe il y a sept millions d'années. Il est ici reconstitué dans son environnement au Musée d'histoire naturelle de Grosseto, en Italie.

### L'isolement insulaire explique la survie d'*Oreopithecus* par rapport aux autres grands singes d'Europe.

Le paysage étant établi, à quoi ressemblait *Oreopithecus*, l'hôte de ces contrées qui nous intéressent ici? Il a développé un ensemble de caractéristiques morphologiques uniques que l'on ne retrouve chez aucun autre grand singe actuel ou fossile. De fait, par rapport aux autres hominoïdes eurasiatiques du Miocène supérieur, l'oréopithèque avait une face courte, peu prognathe (la mâchoire était peu avancée). Rappelons que les hominoïdes sont une superfamille de l'ordre des primates regroupant les singes sans queue, c'est-à-dire les « grands singes ». Le cerveau d'*Oreopithecus* occupait un volume de 128 à 200 centimètres cubes, soit cinq fois moins que celui d'un être humain. Sa mandibule était robuste.

La denture était également très particulière. Ses incisives supérieures étaient implantées quasi verticalement dans un court prémaxillaire (voir la figure page 25). Ses canines étaient très réduites par rapport à sa masse corporelle, notamment chez les mâles, ce qui le distingue des autres grands singes, à l'exception de l'être humain. Enfin, la morphologie de ses molaires était proche de celle des babouins.

Le squelette postcrânien, c'est-à-dire l'ensemble des os à l'exception du crâne, montre aussi une mosaïque de caractères primitifs et uniques, parmi lesquels on peut citer un large thorax, une clavicule longue et robuste, une région lombaire courte avec des vertèbres solides, un bassin relativement court et large, un membre antérieur notablement plus long que le postérieur, des métacarpes et métatarses courts et robustes mais des phalanges longues, graciles et incurvées. Les études des os de la main chez *Oreopithecus* ont révélé une grande mobilité et un degré de

précision de préhension et de manipulation similaire à celui de la main humaine.

Une telle anatomie si particulière n'aide pas à se faire une idée précise de la locomotion de l'oréopithèque. De fait, elle a longtemps fait l'objet de débats. La reconstruction en trois dimensions du labyrinthe osseux de l'oreille interne de l'oréopithèque, effectuée à partir de relevés scanner par rayons X, montre une certaine ressemblance avec celui des grands singes africains actuels, les gorilles et les chimpanzés. Le labyrinthe est une structure qui abrite le système vestibulaire, responsable de la perception du mouvement et de l'équilibre. Ce résultat s'accorde avec les longs membres antérieurs associés aux phalanges incurvées qui plaident pour un mode

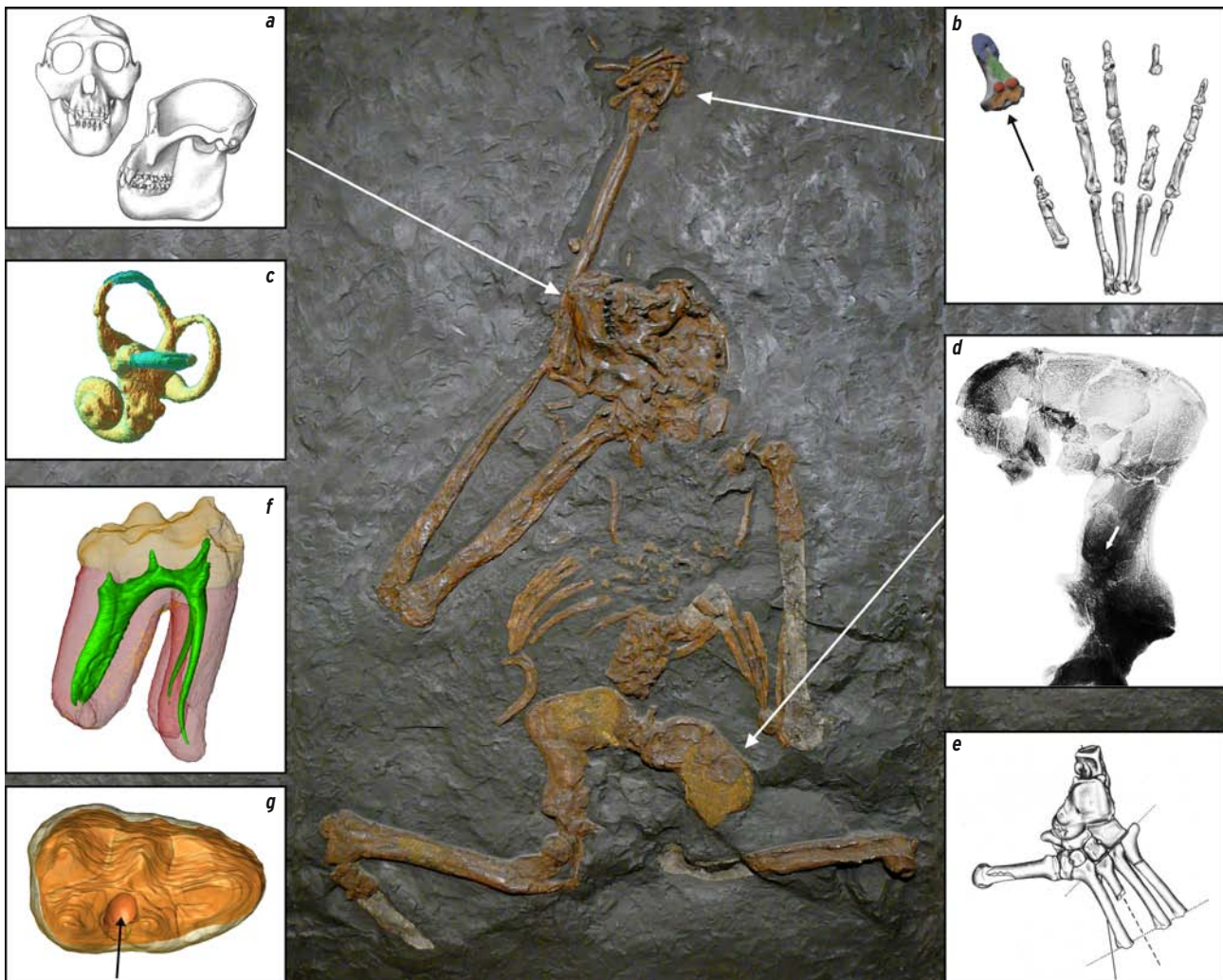
de déplacement par suspension et brachiation, celui que l'on observe chez les gibbons actuels.

Cependant, l'os de la hanche de l'oréopithèque exhibe plusieurs caractères qui, comme chez l'humain, sont des adaptations associées à la bipédie. De plus, l'étude par radiographie de la structure de son bassin indique qu'une partie des charges biomécaniques liées au transfert du poids du tronc pendant la locomotion était véhiculée et dissipée à travers un renforcement de l'os de la hanche de façon similaire à ce que l'on observe lors d'une bipédie fréquente, par exemple chez l'humain. Néanmoins, un examen plus minutieux montre que la bipédie de l'oréopithèque était différente de celle humaine. Avec une anatomie aussi inédite, on peut s'interroger sur ce que mangeait *Oreopithecus*.

## Une mosaïque de caractères

**L**es squelettes osseux et dentaire de l'oréopithèque présentent une mosaïque de caractères uniques. Son crâne a un faible volume cérébral et une face peu prognathe (a). Sa main est adaptée à une préhension d'une grande précision, comme l'est la main humaine (b). Le système labyrinthique de l'oreille interne est proche de celui des grands singes actuels (c). La structure interne du bassin montre des piliers de

renforcement (d, la flèche blanche) dans la région dite supra-acétabulaire, compatibles avec une bipédie régulière. Le pied jouait vraisemblablement un rôle de trépied, conférant à *Oreopithecus* une démarche particulière, différente de celle de l'être humain (e). Les molaires ont un émail épais et des racines relativement robustes par rapport à la masse corporelle (f et g, la flèche indiquant une carie).





# **Pour la vie sur Mars, on ne sait pas encore. Pour les cinq vies du papier, c'est sûr.**

La force de tous les papiers, c'est de pouvoir être recyclés  
au moins cinq fois en papier. Cela dépend de chacun de nous.  
[www.recyclons-les-papiers.fr](http://www.recyclons-les-papiers.fr)

Tous les papiers ont droit à plusieurs vies.  
Triions mieux, pour recycler plus !



La presse écrite s'engage pour le recyclage  
des papiers avec Ecofolio.





Les dents et les membres sont essentiels à l'acquisition de nourriture et à l'alimentation. Aussi sont-ils soumis à de fortes pressions de sélection qui favorisent leur adaptation aux ressources disponibles. Par exemple, par rapport aux herbivores vivant sur le continent, ceux vivant sur les îles montrent une fréquente diminution ou une perte des prémolaires, une augmentation de la hauteur des couronnes des dents ou encore une croissance continue des incisives, toutes ces adaptations étant liées à des ressources nécessairement limitées en quantité sur des îles.

### Une alimentation diversifiée

Chez *Oreopithecus*, à l'instar de son système locomoteur, les dents ont également une morphologie unique, distincte de celle des hominoïdes actuels et fossiles. Depuis la découverte de l'oréopithèque, on a vu dans les reliefs saillants et la morphologie complexe des prémolaires et des molaires une adaptation à un régime alimentaire surtout folivore. Cependant, les nombreuses crêtes et proéminences dentaires accessoires, l'émail épais et les racines très robustes des molaires sont aussi compatibles avec une consommation régulière d'aliments plus résistants. De plus, les puissantes insertions des muscles crâniens associés à la mastication, les microstries à la surface de l'émail des dents et une carie sur une molaire (la plus ancienne connue à ce jour) plaident pour une alimentation non spécialisée, probablement fondée sur la consommation de feuilles et de fruits.

L'ensemble de ces observations montrent que l'oréopithèque occupait vraisemblablement une niche écologique plutôt vaste, qu'il explorait tantôt en se déplaçant dans les arbres, suspendu par les

**LA RÉGION TUSCO-SARDE** (dans l'ovale blanc), où habitait *Oreopithecus*, émergeait sous la forme d'un archipel il y a environ sept millions d'années, en lieu et place de l'Italie, la Sicile, la Corse et la Sardaigne actuelles.

*Oreopithecus* est doté d'un ensemble de traits morphologiques que l'on ne retrouve chez aucun autre grand singe actuel ou fossile.

bras, tantôt au sol par une démarche de bipède. Ces adaptations locomotrices et comportementales lui auraient permis d'exploiter au mieux les ressources disponibles et seraient compatibles avec un régime alimentaire plus varié qu'on ne le pensait.

Depuis sa découverte au XIX<sup>e</sup> siècle, la position phylogénétique d'*Oreopithecus* est l'objet de vifs débats. En effet, bien qu'il soit un des hominoïdes fossiles le mieux représenté par la variété de restes osseux et dentaires, sa position vis-à-vis des autres grands singes fossiles reste paradoxalement problématique. Cela est non seulement dû au fait que l'oréopithèque avait développé de nombreuses caractéristiques morphologiques uniques, mais aussi en raison de la rareté du matériel de comparaison disponible en Europe pour le Miocène moyen et supérieur (entre 16,0 et 5,3 millions d'années).

Entre la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et la première moitié du XIX<sup>e</sup>, à partir de quelques fragments de mandibule et des dents isolées, *Oreopithecus* a été rattaché aussi bien aux hominoïdes (on l'a notamment rapproché du gorille, des gibbons et même de l'être humain), qu'aux cercopithécidés. Ces derniers constituent une famille de primates à queue non préhensile incluant les cercopithèques, les babouins et les macaques.

Dans les années 1950, la mise au jour à Baccinello par le paléontologue suisse Johannes Hürzeler d'un squelette d'oréopithèque presque complet a ravivé le débat. Après cette découverte, *Oreopithecus* fut placé sur une branche évolutive parallèle à celle des hominidés. Par la suite, certains auteurs ont de nouveau remplacé cet étrange hominoïde parmi les cercopithécidés en se fondant principalement sur la morphologie de ses molaires.

Cependant, le squelette de l'oréopithèque arbore des caractéristiques typiques d'un hominoïde. La morphologie particulière des dents serait soit un caractère primitif hérité d'une forme ancestrale, soit un caractère dérivé, en relation avec son isolement évolutif. En conséquence, *Oreopithecus* a souvent été placé dans une famille séparée, celle des oreopithécidés, au sein de la superfamille des hominoïdes. Néanmoins, le problème de sa position phylogénétique n'a pas été encore résolu.

Son niveau de spécialisation interdit à l'oréopithèque d'être l'ancêtre d'un des grands singes actuels. À partir principalement d'affinités morphologiques avec la denture de grands singes du Miocène inférieur et moyen d'Afrique orientale (tel *Nyanzapithecus*), la présence de l'oréopithèque dans la région tusco-sarde fut un temps interprétée comme une migration depuis l'Afrique. Mais de récentes découvertes de fossiles de *Dryopithecus* en Espagne ont changé la donne, et *Oreopithecus*





serait plutôt un représentant hautement dérivé de la famille des dryopithécidés.

De récentes analyses de la structure interne tridimensionnelle de molaires appartenant à *Oreopithecus* comparées à celles de *Dryopithecus* et de babouins modernes montrent que les dents de l'oréopithèque ont des similarités avec celles de ces deux groupes. Toutefois, ces travaux ont également mis en évidence chez *Oreopithecus* les particularismes structuraux que nous avons décrits (un émail plus épais, de nombreuses crêtes et proéminences dentaires accessoires et des racines plus robustes).

### Un hominoïde type

Le registre fossile connu pour cet hominoïde rassemble aujourd'hui une cinquantaine d'individus. L'oréopithèque montre certes un ensemble de caractéristiques morphologiques se rapprochant de celles observées chez l'être humain, mais elles correspondent à des adaptations convergentes liées à une bipédie fréquente.

Pris dans son ensemble, le squelette osseux et dentaire de l'oréopithèque est une mosaïque de nombreux caractères ancestraux (ils sont dits plésiomorphes) et d'autres dérivés et uniques (autapomorphes), excluant tout lien de parenté direct entre *Oreopithecus* et la lignée humaine. Il est donc l'exemple type d'un hominoïde du Miocène ayant acquis indépendamment un ensemble de traits morphologiques structurels et fonctionnels spécialisés directement associés à un comportement bipède habituel, semblable à ceux développés au sein de la lignée humaine.

L'oréopithèque illustre combien il est important de rester critique vis-à-vis des ressemblances morphologiques entre différents groupes actuels et fossiles : on doit prendre garde à bien distinguer les caractères ancestraux et dérivés, ainsi qu'à repérer les possibles convergences évolutives. Quoi qu'il en soit, *Oreopithecus* est un hominoïde qui a évolué en contexte insulaire et la mosaïque de caractères qu'il arbore légitime son appellation d'« anthropoïde énigmatique ».

LA FACE d'*Oreopithecus* révèle quelques caractéristiques étonnantes qui évoquent celles d'un humain : une mâchoire peu avancée, des canines pas très développées...

### livre

• L. DE BONIS, G. KOUFOS et P. ANDREWS (Eds.), *Hominoid Evolution And Climatic Change In Europe*, vol. 2, *Phylogeny of the Neogene Hominoid Primates of Eurasia*, Cambridge Univ. Press, 2011.

### articles

- S. ALMÉCJA et al., *The morphology of Oreopithecus bambolii pollical distal phalanx*, in *Am. J. Phys. Anthropol.*, vol. 153, pp. 582-597, 2014.
- C. ZANOLLI et al., *Analyse structurale à haute résolution des dents d'Oreopithecus bambolii*, in *Ann. Univ. Ferrara Mus. Sci. Nat.*, vol. 6, pp. 69-76, 2010.
- L. ROOK et al., *Oreopithecus was a bipedal ape after all : evidence from the iliac cancellous architecture*, in *PNAS*, vol. 96, pp. 8795-8799, 1999.

## L'information scientifique de référence maintenant sur tablette et smartphone !



Téléchargez gratuitement l'application sur App Store et Google Play. L'extrait du numéro en cours de parution vous est offert !



Flashez ce QR code avec votre mobile ou votre tablette pour télécharger immédiatement l'application.



DISPONIBLE SUR Google play

Disponible sur App Store

Avec l'application «Pour la Science», retrouvez, dès leur sortie, le mensuel *Pour la Science* à 4,49 € et son hors-série trimestriel *Dossier Pour la Science* à 5,49 €, en version numérique optimisée pour tablette : lecture intuitive, sommaire interactif, contenus enrichis, feuilletage hors connexion, etc.



Découvrez aussi l'application « Cerveau & Psycho ».

# En voir de toutes les couleurs

L'analyse des pigments visuels des primates montre que la vision des couleurs a évolué d'une façon inhabituelle et que le cerveau s'est adapté rapidement à des changements sensoriels.

Gerald JACOBS  
est professeur dans  
le Département  
de psychologie et  
à l'Institut de recherche  
en neurosciences  
de l'Université de Californie,  
à Santa Barbara.

Jeremy NATHANS  
est professeur dans  
le Département de biologie  
moléculaire, de génétique,  
de neurosciences  
et d'ophtalmologie  
à l'Université Johns  
Hopkins, à Baltimore.

**A** nos yeux d'humains, le monde est riche d'une infinité de couleurs toutes en nuances, celles des multiples jaunes d'un champ de fleurs, des innombrables bleus d'une mer tropicale, de la luxuriance des verts d'une forêt tropicale... Pourtant, la diversité de cette palette n'est qu'apparente. En effet, chaque couleur n'est qu'un mélange de lumières de trois longueurs d'onde différentes, rien de plus. Cette propriété de la vision humaine, nommée trichromatie, s'explique par la constitution de la rétine : cette couche de cellules nerveuses qui, au fond de l'œil, capte la lumière et transmet l'information au cerveau n'est dotée que de trois types de pigments absorbant la lumière. De même, toutes les couleurs de nos écrans d'ordinateur et de télévision résultent d'un mélange de pixels rouges, verts et bleus.

## L'histoire des trois pigments

La trichromatie est fréquente chez les primates, mais elle reste une exception chez les autres mammifères, la plupart étant dichromates (ils n'ont que deux types de pigments). Quelques mammifères nocturnes n'en ont même qu'un seul. À l'inverse, des oiseaux, des poissons et des reptiles ont parfois quatre pigments et peuvent détecter la lumière ultraviolette. Puisque la trichromatie des primates semble inhabituelle, comment expliquer son apparition et son évolution ? La génétique, la biologie moléculaire et la neurophysiologie ont récemment apporté quelques réponses inattendues et ont confirmé la surprenante plasticité du cerveau des primates.

Au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, on a mesuré la sensibilité spectrale des trois pigments autorisant la vision des couleurs chez l'homme. En d'autres termes, on a déterminé pour chaque pigment la région particulière du spectre lumineux qu'il absorbe préférentiellement. Le pigment S, de courte longueur d'onde, a un maximum d'absorption de la lumière autour de 430 nanomètres (un nanomètre correspondant à  $10^{-9}$  mètre), le pigment M, de moyenne longueur d'onde, autour de 530 nanomètres, et le pigment L,



© Shutterstock.com / Eric Isseleer



de grande longueur d'onde, autour de 560 nanomètres. L'œil humain normal perçoit les lumières de longueurs d'onde de 470, 520 et 580 nanomètres comme respectivement bleue, verte et jaune.

Qu'est-ce qu'un pigment ? C'est une protéine associée à un composé absorbant la lumière et dérivé de la vitamine A. Ce pigment est niché dans la membrane de cellules de la rétine, nommées cônes. Ces cellules sont des neurones transformés. L'absorption de lumière par un pigment déclenche une cascade d'événements moléculaires

qui se traduit par l'excitation des cônes. Cette stimulation active à son tour d'autres neurones rétiniens qui transmettent le signal, le long du nerf optique, jusqu'au cerveau.

Depuis les années 1980, les généticiens ont identifié les gènes de ces pigments humains, puis la séquence d'acides aminés qui forme chacune des protéines des pigments. Ainsi, les pigments M et L sont presque identiques. Des expériences ont montré que la différence de sensibilité spectrale de ces deux pigments est due à des substitutions de seulement trois des 364 acides aminés qui forment le pigment.

On a aussi montré que les gènes des pigments M et L sont à proximité l'un de l'autre sur le chromosome X, l'un des deux chromosomes sexuels. Cette situation est conforme à ce que l'on sait du daltonisme. Cette anomalie de la perception des couleurs est plus fréquente chez les hommes et se transmet selon un schéma indiquant que les gènes impliqués sont situés sur le chromosome X (les hommes n'en ont qu'un exemplaire, les femmes en ayant deux). Quant à lui, le gène du pigment S se trouve sur le chromosome 7. Sa séquence le distingue notablement des pigments M et L.

Dans les années 1990, on a comparé les gènes de ces trois pigments humains avec ceux d'autres animaux. Presque tous les vertébrés ont des gènes dont les séquences sont semblables à celle du pigment S humain. On en déduit qu'une version d'un pigment sensible aux courtes longueurs d'onde serait un élément ancien de la vision des couleurs. Des pigments apparentés à ceux qui sont sensibles aux deux longueurs d'onde supérieures (M et L) sont aussi répandus chez les vertébrés et seraient donc assez anciens. Chez les mammifères, le gène du pigment de grande longueur d'onde est situé sur le chromosome X.

### Survivre... en couleur

Toutefois, la présence simultanée de deux pigments similaires à M et L n'a été observée que dans un sous-groupe de primates. Ainsi, dans la lignée primitive des primates, un gène de pigment de grande longueur d'onde des mammifères se serait dupliqué – l'ADN est copié à l'identique – sur un seul chromosome X, puis des mutations sur une ou sur les deux copies du gène ancestral lié au chromosome X auraient produit deux pigments semblables, mais non identiques, avec différentes plages de sensibilité spectrale, les pigments M et L.

### L'ESSENTIEL

- La plupart des primates sont trichromates : leur vision dépend de trois pigments dans la rétine.
- C'est le cas des grands singes d'Asie et d'Afrique et de certaines espèces des Amériques.
- Tous les autres mammifères sont dichromates.
- La génétique renseigne sur l'évolution de la vision des couleurs des primates et sur l'apparition de ce troisième pigment.
- Des événements aléatoires sont nécessaires pour une trichromatie efficace.

TRICHROMATES, les chimpanzés distinguent des couleurs que d'autres mammifères, à l'exception des humains, ne voient pas. Un atout pour se lancer dans la peinture ?



Pour la vision des couleurs chez les primates, la trichromatie fondée sur les « nouveaux » pigments M et L aurait (avec le pigment S) conféré un avantage sélectif sur les dichromates dans certains environnements. Par exemple, les couleurs des fruits mûrs contrastent souvent avec le feuillage, mais les dichromates ne voient presque pas cette différence, car ils sont moins sensibles aux variations de couleur dans les régions rouge, jaune et verte du spectre visible. Mieux identifier les fruits comestibles aurait favorisé la survie des individus trichromates.

Ce mécanisme de duplication de gène suivi de mutations conduisant à une divergence dans la séquence d'ADN expliquerait l'évolution des gènes des pigments M et L chez les primates ; ce type d'événement s'est produit dans d'autres familles de gènes, par exemple ceux de l'hémoglobine.

En fait, l'histoire de l'évolution de la trichromatie des primates est peut-être plus compliquée. Deux mécanismes génétiques pourraient expliquer la vision trichromatique des primates : l'un est présent chez les primates de l'Ancien Monde, à savoir le groupe qui a évolué en Afrique subsaharienne et en Asie et qui comprend notamment les grands singes (chimpanzés, gorilles, orangs-outans...) et

les êtres humains ; l'autre mécanisme concernerait les primates du Nouveau Monde, c'est-à-dire ceux d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud.

Les hommes et les autres primates de l'Ancien Monde portent les gènes des pigments M et L sur chacun de leur chromosome X et ont une vision trichromatique. En testant la vision des couleurs des primates du Nouveau Monde, nous avons montré que la trichromatie n'existe que dans un sous-groupe de femelles. La trichromatie n'est donc pas universelle parmi les primates.

## Une vision sélective

Des études ont montré que la plupart des espèces de singes du Nouveau Monde ont un gène pour le pigment de courte longueur d'onde (probablement localisé sur un chromosome non sexuel) et seulement un gène de pigment de grande longueur d'onde, situé sur le chromosome X. Leur matériel génétique est donc comparable à celui des mammifères dichromates. Dès lors, comment certains d'entre eux peuvent-ils être trichromates ?

La raison en est que le gène des primates du Nouveau Monde codant le pigment de grande longueur d'onde lié au chromosome X existe sous plusieurs formes (on parle de variants ou d'allèles). Le plus souvent, les variations entre allèles ne se répercutent pas sur la fonction des protéines codées. Ce n'est pas le cas avec les allèles du pigment lié au chromosome X chez les primates du Nouveau Monde : les pigments codés par les divers allèles se distinguent par leurs sensibilités spectrales.

Par exemple, la plupart des espèces du Nouveau Monde disposent de trois allèles du gène codant le pigment lié au chromosome X : un allèle code une protéine semblable au pigment M humain, un deuxième une protéine proche du pigment L humain et un troisième code un pigment dont les propriétés d'absorption de la lumière se situent à mi-chemin entre celles des deux premiers.

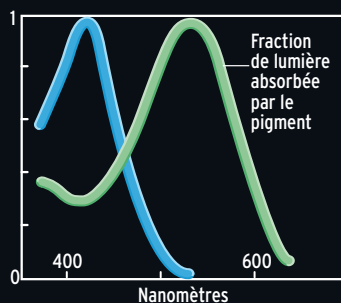
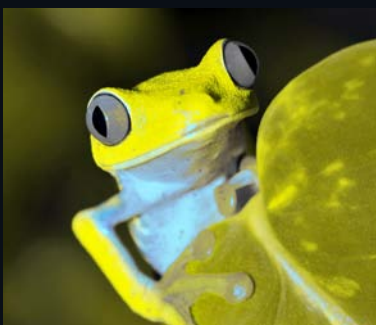
En fin de compte, puisqu'elle porte deux chromosomes X, une femelle, et seulement une femelle, peut avoir deux allèles différents du pigment de grande longueur d'onde (un sur chaque chromosome X) : elle est alors trichromate. Cependant, environ un tiers de toutes les femelles héritent du même pigment sur leurs deux chromosomes X et sont dichromates comme les mâles. En conséquence, la trichromatie des primates du Nouveau Monde diffère de celle des primates de l'Ancien Monde (voir l'encadré page ci-contre).

Comment expliquer cette différence d'évolution de la vision des couleurs entre les deux groupes de primates ? Les deux lignées de primates ont commencé à diverger il y a environ 150 millions d'années, lors de la séparation progressive de l'Afrique et de l'Amérique du Sud ; leur isolement génétique aurait été complet il y a 40 millions d'années. On peut

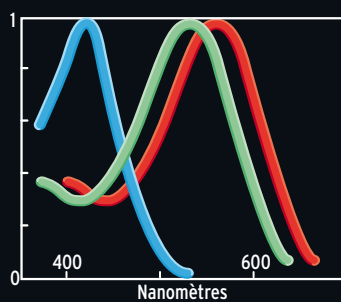
## VOIR EN COULEURS

La plupart des mammifères sont dichromates, c'est-à-dire que leur vision des couleurs est due à deux pigments (*en haut*) : l'un absorbe les photons de courtes longueurs d'onde (*courbe bleue*) et l'autre est sensible aux photons de plus grandes longueurs d'onde (*courbe verte*). Mais les hommes et certains primates sont trichromates (*en bas*) ; ils ont un pigment supplémentaire qui absorbe les grandes longueurs d'onde (*courbe rouge*).

### DICHROMATIE



### TRICHROMATIE



Justin Lightley, Lucy Reading-Ikkanda



## LES TRICHROMATIES DES PRIMATES

Les fondements génétiques de la trichromatie chez les primates de l'Ancien et du Nouveau Mondes diffèrent. Dans les deux cas, un gène, présent sur un chromosome non sexuel, code un pigment de courte longueur d'onde (*en bleu*). Les primates de l'Ancien Monde ont aussi deux gènes codant chacun un pigment de grande longueur d'onde (*en rouge et en vert*) ; ces gènes sont situés sur chaque chromosome X. En conséquence, aussi bien les mâles (un chromosome X) que les femelles (deux X) ont trois pigments et sont donc trichromates.

En revanche, les primates du Nouveau Monde ont trois variants du gène codant le pigment de grande longueur d'onde situé sur le chromosome X (*en rouge, jaune et vert*), mais chaque chromosome X porte un seul de ces variants. Ainsi, seules les femelles peuvent avoir deux pigments de grande longueur d'onde différents et être alors trichromates.

	Gène du pigment de courte longueur d'onde	+	Gène(s) du pigment de grande longueur d'onde	=	Type de vision en couleur
Primates de l'Ancien Monde	Mâle		Deux gènes codant chacun un pigment par chromosome X 	Pas de gène sur le chromosome Y 	Trichromatie
	Femelle				Trichromatie
Primates du Nouveau Monde	Mâle		Un variant de pigment par chromosome X 		Dichromatie
	Femelle				Si les deux chromosomes X ont le même variant : <b>DICHROMATIE</b> Si les chromosomes X ont des variants différents : <b>TRICHROMATIE</b>

imaginer que les deux mécanismes de la trichromatie ont évolué indépendamment, après la séparation des lignées du Nouveau Monde et de l'Ancien Monde.

Au début, les deux groupes auraient été dichromates, avec l'association standard chez les mammifères d'un pigment de courte longueur d'onde et d'un second de grande longueur d'onde. Chez les primates de l'Ancien Monde, le gène du pigment de grande longueur d'onde aurait ensuite fait l'objet d'une duplication, suivie d'une divergence de séquences, comme nous l'avons évoqué. Chez les primates du Nouveau Monde, le même gène aurait simplement subi une divergence de séquences, des mutations successives ayant créé différents allèles pour le pigment de grande longueur d'onde. Ce n'est pas aussi simple...

### Une évolution primitive commune

De fait, la comparaison des séquences d'acides aminés des pigments visuels liés au chromosome X suggère un autre scénario. Chez les primates du Nouveau et de l'Ancien Mondes, tous les pigments M ont le même groupe de trois acides aminés qui leur confère une sensibilité spectrale maximale à 530 nanomètres. De même, tous les pigments L ont en commun un second ensemble de trois acides aminés permettant une absorption maximale à 560 nanomètres. Or on sait que des modifications de quelques autres acides aminés peuvent décaler la sensibilité maximale de cette famille de pigments vers des longueurs d'onde plus grandes ou plus courtes. Une convergence des primates du Nouveau et de l'Ancien Mondes, indépendamment, vers des ensembles identiques d'acides aminés dans deux pigments est très improbable.



DICERNER LE ROUGE des framboises mûres qui contraste souvent avec le vert du feuillage : un avantage évolutif.

©Shutterstock/Moïse Fernandez Acosta

En fait, la variation allélique observée aujourd'hui chez les primates du Nouveau Monde a vraisemblablement été la condition primitive, présente chez l'ancêtre commun des deux groupes, et que son apparition fut la première étape de la voie qui a mené à la trichromatie dans les deux lignées (*voir l'encadré page suivante*).

Plusieurs mutations successives dans le gène codant le pigment de grande longueur d'onde des mammifères auraient créé les différents allèles des pigments et ce, avant la séparation génétique des deux lignées de primates. Nous pensons même que le pigment de longueur d'onde intermédiaire faisait partie de cette association primitive, car sa séquence d'acides aminés contient un sous-ensemble des trois modifications de séquence qui distinguent les pigments L des M, et parce que son spectre d'absorption se situe entre ceux des deux pigments.

Après la séparation des deux groupes de primates, une erreur rare de recombinaison se serait produite chez une femelle de la lignée de l'Ancien Monde ayant deux allèles différents du gène codant le pigment de grande longueur d'onde. Cela aurait alors placé un allèle M à côté d'un allèle L sur un même chromosome X, permettant ainsi à la trichromatie de se transmettre aux mâles et aux femelles.

Cette innovation génétique a conféré un avantage si important aux individus (mâles) qui la portaient que les chromosomes X n'ayant qu'un seul gène du pigment de grande longueur d'onde ont finalement disparu chez les primates de l'Ancien Monde. Chez les primates du Nouveau Monde, géographiquement et génétiquement séparés, le

système primitif de trois allèles du pigment de grande longueur d'onde a persisté.

Une autre conséquence de nos découvertes chez les primates du Nouveau et de l'Ancien Mondes est la mise en évidence du rôle essentiel d'événements aléatoires (dans chaque organisme et même dans chaque cône lors du développement) dans la trichromatie. Précisons qu'il ne s'agit pas ici des mutations génétiques aléatoires qui ont présidé à l'installation des gènes des pigments conférant la trichromatie.

Rappelons d'abord comment les cônes transmettent des informations sur les couleurs au cerveau. Le fait de disposer de trois types de pigments est indispensable pour la vision trichromatique, mais ce n'est pas suffisant. Le traitement neuronal des signaux produits par différents photorécepteurs est aussi essentiel, car les cônes seuls ne peuvent pas transmettre des informations spécifiques sur les longueurs d'onde.

En effet, différentes longueurs d'onde (d'une bande spectrale donnée) peuvent exciter un même photorécepteur, mais le cône ne peut pas préciser de quelles longueurs d'onde en particulier étaient les photons qu'il a absorbés. Par exemple, il produirait un signal de même intensité qu'il soit frappé par

100 photons d'une longueur d'onde qu'il absorbe bien ou par 1 000 photons d'une longueur d'onde qu'il absorbe faiblement. Pour distinguer les couleurs, le système visuel doit comparer les réponses des cônes voisins ayant différents types de pigments.

Ce type de comparaison n'est possible que, d'une part, lorsque chaque cône contient un seul type de pigment et, d'autre part, quand des cônes ayant des pigments différents sont placés côte à côte pour former une sorte de mosaïque (*voir l'encadré page ci-contre*). C'est bien le cas dans la rétine des primates. Cependant, chez un trichromate, un cône est doté des gènes des trois pigments. Comment n'en exprimer qu'un ?

Les cellules activent leurs gènes grâce à des facteurs de transcription : ce sont des protéines qui se fixent près d'une région régulatrice de l'ADN (un promoteur) et qui déclenchent une série d'événements aboutissant à la synthèse de la protéine que code le gène. Pour les photorécepteurs de courte longueur d'onde, des facteurs de transcription activent le gène du pigment S pendant le développement fœtal. Et des mécanismes encore inconnus inhibent l'expression des gènes des pigments de plus grande longueur d'onde dans ces cônes.

## La LCR aux commandes

Un autre mécanisme, totalement aléatoire, contrôle dans les cônes l'expression des gènes deux pigment de grande longueur d'onde. Chez les femelles des primates du Nouveau Monde, qui portent des allèles différents du gène de grande longueur d'onde sur leurs deux chromosomes X, l'allèle qu'exprime un cône dépend d'un jeu de hasard moléculaire nommé inactivation du chromosome X. Par ce mécanisme, chaque cône d'une femelle inhibe au hasard l'un de ses deux chromosomes X à un stade précoce du développement.

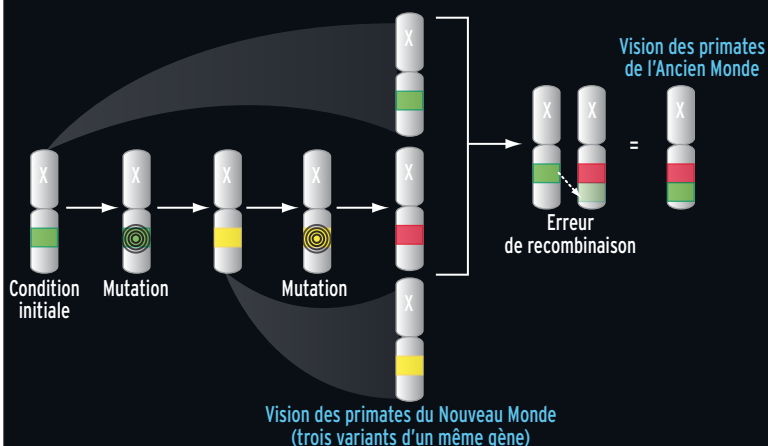
L'inactivation du chromosome X permet à chaque cône de grande longueur d'onde d'exprimer un seul pigment. Ce mécanisme étant aléatoire, les cônes à pigment de grande longueur d'onde chez les femelles sont mélangés dans la rétine en une mosaïque qui permet la trichromatie.

Cependant, les primates de l'Ancien Monde portent les gènes des pigments M et L sur chaque chromosome X. L'inactivation du chromosome X ne peut pas « choisir » à elle seule un des deux gènes par cône : un mécanisme supplémentaire existe.

Nous pensons que le gène des pigments liés au chromosome X qui s'exprime est choisi par une séquence d'ADN voisine, nommée séquence LCR (pour *Locus control region*), qui contrôle l'expression d'un gène. Le choix se ferait pendant le développement, quand, dans chaque cône, la région LCR interagit avec un seul des promoteurs des deux gènes adjacents – celui du pigment M ou du pigment L, mais pas avec les deux – et active le gène

## L'ÉVOLUTION DE LA TRICHROMATIE

**E**n comparant les fondements génétiques de la vision des couleurs chez les primates de l'Ancien et du Nouveau Mondes, on peut élaborer un scénario d'évolution de la trichromatie chez certaines femelles du Nouveau Monde et chez les mâles et les femelles de l'Ancien Monde.



Chez un ancêtre commun à tous les primates, un gène du chromosome X codant un pigment de grande longueur d'onde (en vert à gauche) aurait subi plusieurs mutations ; cela aurait conduit à l'apparition de plusieurs variants codant des pigments différents de grande longueur d'onde (en vert, rouge et jaune). Ces variants auraient persisté chez les primates du Nouveau Monde. Après la séparation des deux lignées de primates, une erreur de recombinaison chez une femelle de l'Ancien Monde aurait placé deux variants différents l'un à côté de l'autre sur le même chromosome X (en rouge et vert, à droite). Parce que cette condition a conféré un avantage aux individus la portant, elle se serait maintenue chez les primates de l'Ancien Monde.

Lucy Reading-Ikkanda/Mappemonde - Mapping Specialists



correspondant. Les détails de l'interaction restent inconnus, mais de récentes études suggèrent que ce choix serait aléatoire. La répartition des cônes à pigments M et L dans la rétine des primates de l'Ancien Monde devrait donc aussi l'être. David Williams, de l'Université de Rochester aux États-Unis, et ses collègues ont confirmé cette prédiction.

## Expérience et plasticité

En outre, plusieurs études suggèrent que chez les primates, les mécanismes rétinien et cérébraux intervenant dans la vision des couleurs de grande longueur d'onde seraient modulables. Des circuits spécialisés compareraient les informations visuelles des cônes S et le signal combiné des cônes de grande longueur d'onde, mais le cerveau et la rétine semblent improviser davantage pour comparer les signaux des cônes M et ceux des cônes L. Notamment, le système visuel apprendrait l'identité de ces cônes par expérience, c'est-à-dire en suivant les réactions des cônes aux stimulus visuels.

Qui plus est, la principale voie neuronale qui transmet la réponse des cônes M et L ne serait pas spécifique de la vision des couleurs. La capacité d'extraire des informations sur les teintes des cônes M et L serait aléatoire, mais facilitée par un ancien mécanisme neuronal destiné à la vision spatiale de précision ; cette vision détecte les limites des objets et leur distance à l'observateur.

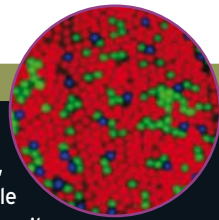
John Mollon, de l'Université de Cambridge, a en effet remarqué que chez les primates, les médiateurs de la vision spatiale de précision sont les cônes de grande longueur d'onde qui mettent en œuvre le même type de traitement neuronal que la vision des couleurs de grande longueur d'onde, à savoir une comparaison de l'excitation d'un cône M ou L donné avec l'excitation moyenne d'un grand nombre de ses voisins M et L. Il n'existe pas de circuit spécifique à la vision des couleurs de grande longueur d'onde.

L'idée d'une plasticité neuronale dans la vision des couleurs pose une question fascinante. Nous pensons que la première étape de l'évolution de la trichromatie chez les primates a été l'émergence, chez un ancêtre primitif femelle commun à tous les primates actuels, d'un second allèle du pigment de grande longueur d'onde lié au chromosome X. Le cerveau de ce primate pouvait-il improviser pour « utiliser » immédiatement le nouveau pigment, sans avoir développé un nouveau circuit neuronal ?

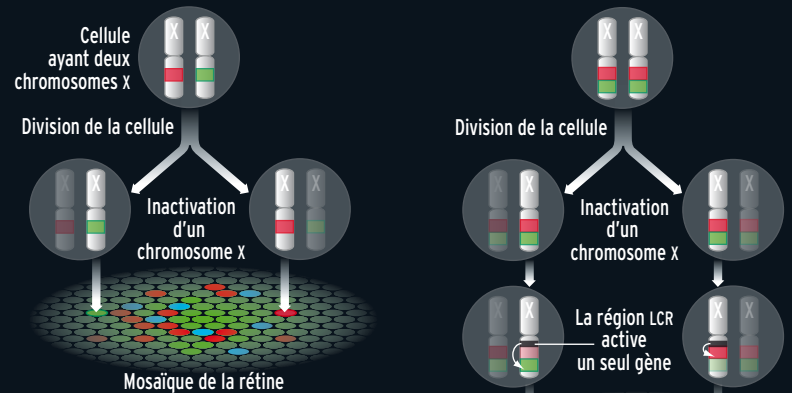
Pour répondre à ces questions, nous avons reproduit cette étape initiale de l'évolution de la trichromatie chez un mammifère dichromate : la souris. Nous avons modifié par génie génétique le chromosome X d'une souris, de sorte qu'il code un pigment L humain au lieu d'un pigment M murin. La lignée de souris obtenue exprimait le gène humain dans les cônes et le pigment L humain transmettait des signaux lumineux avec une efficacité comparable à

## LA RÉTINE LIVRÉE AU HASARD

Chaque cône de la rétine contient les gènes des trois pigments, mais il n'en exprime qu'un, les deux autres étant réprimés. Ainsi, chaque cône ne contient qu'un pigment. Le mécanisme qui contrôle le gène du pigment de courte longueur d'onde est inconnu, mais on sait que ceux qui aboutissent au choix d'un des deux gènes codant les pigments de grande longueur d'onde sont fondés sur le hasard : la répartition des cônes dans la rétine serait aussi aléatoire (voir la simulation ci-dessus) et la mosaïque de cônes obtenue permettrait ainsi une bonne détection des couleurs.



### PRIMATES DU NOUVEAU MONDE ..... PRIMATES DE L'ANCIEN MONDE.....



Le choix du gène de grande longueur d'onde se fait par inactivation d'un chromosome X ; chaque cellule femelle inactive au hasard un de ses chromosomes X au début du développement. Si la femelle a des variants différents du gène de grande longueur d'onde sur ses chromosomes X, ce mécanisme forme dans la rétine une mosaïque de différents types de cônes, nécessaire à la vision trichromatique.

Chaque chromosome X porte deux gènes codant les pigments de grande longueur d'onde. Après l'inactivation du chromosome X dans les cellules femelles, un seul de ces gènes est sélectionné dans chaque cône. Cette étape requiert une séquence régulatrice, nommée région LCR, qui active au hasard un seul des deux gènes ; on obtient alors une mosaïque de cônes.

Lucy Reading-Morris, David Williams/University of Rochester

celle du pigment M murin. De plus, les souris ayant le pigment L étaient sensibles à une plage de longueurs d'onde plus large que les souris normales.

Les souris femelles portant deux gènes de pigments différents liés au chromosome X peuvent-elles non seulement voir, mais aussi distinguer des couleurs dans cette plage de longueurs d'onde plus large ? Oui. Nous avons appris à des femelles produisant des pigments M et L à distinguer des panneaux verts, jaunes, orange et rouges, qui, pour les souris normales, ont le même aspect. En même temps que le nouveau pigment L, ces souris ont acquis une dimension supplémentaire d'expérience sensorielle : le cerveau des mammifères a la capacité innée d'extraire des informations d'éléments visuels nouveaux et différents.

Ainsi, des modifications des entrées d'un système sensoriel – dans les gènes des récepteurs sensoriels par exemple – peuvent commander l'évolution du système entier. Les premiers primates ayant deux pigments différents de grande longueur d'onde voyaient des couleurs qu'aucun primate n'avait encore jamais vues.

## articles

- G. JACOBS, *Losses of opsin genes, short-wavelength cone photopigments, and color vision – A significant trend in the evolution of mammalian vision*, in *Visual Neuroscience*, vol. 30, pp. 39-53, 2013.
- CI. DESPLAN, *Les sens au gré du hasard*, in *Pour la Science*, n° 385, pp. 96-101, 2009.
- G. JACOBS, *Primate color vision : a comparative perspective*, in *Visual Neuroscience*, vol. 25, pp. 619-633, 2008.
- G. JACOBS et al., *Emergence of novel color vision in mice engineered to express a human cone pigment*, in *Science*, vol. 315, pp. 1723-1725, 2007.

# Tous bipèdes !

Loin d'être l'apanage des êtres humains, la bipédie est pratiquée spontanément par de nombreux primates actuels et notamment par tous les grands singes. Cependant, les modalités diffèrent et l'on s'interroge : pourquoi ne sont-ils bipèdes qu'occasionnellement ?

François DRUELLE  
est doctorant au Laboratoire  
de morphologie  
fonctionnelle,  
à l'Université d'Anvers,  
en Belgique.

Gilles BERILLON  
est chargé de recherche  
CNRS au Laboratoire  
Dynamique de l'évolution  
humaine (UPR 2147), à Paris.

Quel est le point commun entre un moineau, un tyrannosaure et vous ? Une des réponses est : la bipédie. De quoi s'agit-il ? C'est avant tout une posture grâce à laquelle un animal peut se déplacer et tenir debout sur deux pieds en contrant les effets de la gravité. Le plus célèbre animal bipède est l'être humain, mais ses plus proches parents, les grands singes, le sont aussi. Nous nous intéresserons ici à ces primates et à leur bipédie.

Les questionnements sur l'origine de l'homme ont conduit des générations de paléontologues, d'anthropologues et d'anatomomorphologistes à recenser et analyser ces bipédies. Leurs études ont révélé que parmi les primates, tous ceux de l'Ancien Monde (les cathariniens) la pratiquent au moins de façon occasionnelle. On en déduit que l'ancêtre commun des grands singes et des humains était également bipède. Mais dans quelle proportion et de quelle façon ? À défaut de pouvoir répondre catégoriquement, nous verrons que quelques éléments comparatifs éthologiques, biomécaniques, anatomiques et ontogénétiques peuvent aider à se faire une idée des conditions préexistant à la bipédie à laquelle nous sommes habitués.

## Bouger comme un primate

Lorsque l'on parle de locomotion chez les primates, on est tenté d'associer un mode locomoteur à chaque espèce. Par exemple, l'orang-outan serait grimpeur, le gibbon brachiateur, le babouin et le macaque des quadrupèdes terrestres. Quant aux grands singes africains (les bonobos, les chimpanzés et les gorilles), ils seraient des *knuckle-walker* : quadrupèdes, ils s'appuient sur les phalanges (*knuckle*) des mains pour marcher (*walker*).

Pourtant, bien que souvent employée pour les mammifères, une telle classification associant une espèce à un mode locomoteur unique donnerait chez les primates une vision étriquée de la réalité. En effet, leur particularité locomotrice réside plus dans la variété des modes employés que dans une éventuelle spécialisation. Dans ce contexte, un système de classification propre aux primates a été proposé en 1965. Il utilise notamment l'expression « répertoire positionnel » pour caractériser les déplacements (le répertoire locomoteur) et les stations fixes (le répertoire postural) des primates.

La particularité locomotrice  
des grands singes réside plus  
dans la variété des modes  
que dans une quelconque  
spécialisation.

Au fil des années, ce système a été remanié et complété par les primatologues. En 1996, la revue *Primates* a publié un article, issu d'une vaste collaboration de chercheurs, qui présente un système standardisé fondé sur les attributs ciné-

matiques et mécaniques des modes posturo-locomoteurs. Dans cette publication sont décrits 32 modes positionnels différents, incluant 52 sous-modes posturaux et 74 sous-modes locomoteurs. Cette terminologie, qui fait aujourd'hui référence, a autorisé de vraies comparaisons des répertoires décrits, aussi bien au niveau des individus d'une espèce qu'entre les espèces. Par ailleurs, elle est un bon témoignage de la variabilité locomotrice propre aux primates.

Mais d'où vient cette diversité des modes positionnels observée chez ces espèces ? Au regard de l'évolution, l'élément clé de la mise en place des modes locomoteurs est lié aux propriétés du milieu de vie. Depuis 80 millions d'années, les primates ont en effet conquis de nouvelles niches écologiques et évolué dans des environnements complexes, mêlant à la fois forêts et plaines, et parfois des montagnes et des milieux rocheux. La diversité des supports qu'ils sont

## L'ESSENTIEL

- Tous les grands singes sont bipèdes, mais seulement de façon occasionnelle.
- Ils disposent d'un répertoire de postures variées, adaptées à un environnement complexe.
- Ils sont dépourvus des adaptations à la bipédie habituelle des humains.
- Les grands singes optent pour la bipédie en de nombreuses circonstances : jeu, intimidation, alimentation...
- Les jeunes seraient plus souvent, mais moins longtemps, bipèdes que les adultes.



capables d'utiliser est très supérieure à celle des autres animaux, notamment en termes d'inclinaisons, de rigidité et de flexibilité, de dimensions et de fiabilité (les branches cassent parfois). En d'autres termes, les chances de survie dans un tel environnement complexe sont moindres pour un individu spécialisé.

Ainsi, la variété locomotrice et les différences interspécifiques des répertoires positionnels des primates actuels sont très corrélées à leur niche écologique et au temps passé dans les arbres et au sol. Les espèces qui sont presque exclusivement terrestres, telles que l'homme, le babouin et le macaque, ont une tendance à posséder des répertoires plus spécialisés pour un mode locomoteur particulier, par exemple la bipédie chez l'homme moderne.

### Spécialisés, mais pas trop

Néanmoins, cette spécialisation ne supprime pas la capacité de se déplacer selon d'autres modes. Ainsi, l'homme moderne peut pratiquer l'escalade, le saut ou même la suspension lorsqu'il est soumis à des contextes particuliers. Toutefois, la composante quadrupède semble avoir disparu de son répertoire positionnel. Les espèces partageant leur temps entre des niches écologiques à la fois arboricoles et terrestres, ou principalement arboricoles, seraient dotées de répertoires positionnels plus variés, principalement en ce qui concerne les sous-modes liés à l'escalade.

Nous pouvons citer quelques chiffres issus des nombreuses études sur la locomotion des grands singes et des babouins conduites depuis les années 1970 en milieu naturel et qui ont été résumées par Kevin Hunt, de l'Université de Bloomington, aux États-Unis, en 2004. Chaque espèce a son propre répertoire positionnel, mais toutes auraient un mode locomoteur préférentiel : 40,7 pour cent de locomotion suspendue chez l'orang-outan, 89,9 pour cent de quadrupédie en *knuckle-walking* chez le chimpanzé, 96 pour cent chez le gorille des montagnes et 64,4 pour cent chez le gorille des plaines... Précisons que ces proportions varient de façon importante selon le contexte écologique (densité du milieu, types d'arbre...) et comportemental (fourragement, fuite, déplacement journalier...).

Et la bipédie dans tout ça ?

Toutes ces espèces, même les quadrupèdes spécialisés, pratiquent la bipédie, en locomotion ou en posture. La bipédie sous une forme habituelle est une spécificité

L'ORANG-OUTAN, à l'instar des autres grands singes, est un adepte de la bipédie occasionnelle.



humaine, mais la bipédie occasionnelle est très répandue chez les primates.

Statique ou en mouvement, assistée ou non, la bipédie libère au moins en partie les membres antérieurs qui peuvent alors être utilisés pour d'autres tâches. Bien qu'elle soit utilisée de façon relativement faible par rapport aux autres modes, la bipédie serait toutefois un comportement indispensable à la vie des primates. Elle est principalement posturale et on la retrouve particulièrement dans des activités liées à l'alimentation, par exemple pour se nourrir sur des buissons et dans les arbres, facilitant ainsi l'accès à des fruits et des baies.

### Bipédie en toute occasion

Les primates sont aussi observés en bipédie lors du transport de ces denrées alimentaires, impliquant alors une marche bipède non assistée, comme l'ont constaté, en 2012, Susana Carvalho, Dora Biro et leurs collègues. Le comportement bipède peut être aussi utilisé à la suite d'un cri d'alerte, dans le repérage d'un prédateur et de la direction à prendre. La bipédie aide également à s'orienter dans des milieux ouverts de type savane.

Par ailleurs, cette posture s'observe durant les activités de jeu, mais aussi lors d'interactions sociales, par exemple en combat de face ou en démonstration de force et de dominance. Les chercheurs l'ont également décrite au sein de séquences locomotrices, notamment entre deux brachiations sur une branche. Enfin, la bipédie est souvent une position typique de l'acte de copulation que l'on retrouve chez le mâle.

Certains contextes écologiques semblent la favoriser. En 2007, Susannah Thorpe, de l'Université de Birmingham, en Grande-Bretagne, et ses collègues, ont montré que les orangs-outans accèdent aux branches flexibles des arbres en pratiquant la bipédie, ce qui leur confère un meilleur équilibre. De même, en 2010, Carsten Niemitz, relevait les comportements bipèdes pratiqués par les primates actuels dans des milieux semi-aquatiques de type marécage et mangrove.

La bipédie confère donc un réel avantage dans différents contextes à la fois comportementaux et écologiques. Loin d'être l'apanage des humains, la bipédie est pratiquée spontanément par les primates actuels et en particulier par les grands singes. Cependant, elle implique un équilibre délicat sur les deux membres postérieurs qui conduit à s'interroger sur ses fondements biomécaniques.

LES GORILLES se déplacent parfois en prenant appui sur les phalanges des membres antérieurs. Cette technique, dite *knuckle-walker*, est une parmi de nombreuses, avec la bipédie par exemple, à la disposition des gorilles.



shutterstock.com/Eric Isseige

Selon la biomécanique, la marche bipède est un déplacement fait d'une succession de deux phases, celle d'appui et celle de vol des extrémités, avec des phases de double appui ; sans double appui, c'est une course. Par convention, un cycle de marche est borné par deux contacts successifs d'un même pied. Chez l'homme, à une vitesse de confort, la phase d'appui représente environ 60 pour cent du cycle (avec deux phases de double appui qui durent environ 10 pour cent du cycle chacune) et la phase de vol 40 pour cent.

Chez les primates non humains, lors de la marche bipède à terre, la phase d'appui dure un peu plus longtemps que chez l'homme, par exemple 65 pour cent en moyenne chez le bonobo. Par ailleurs, leurs pas sont relativement plus courts que ceux de l'homme et durent moins longtemps. Au sein de chaque espèce, chez l'homme et les autres primates, ces proportions varient selon la vitesse de déplacement et la morphologie des individus, notamment la longueur des membres.

Un prérequis à l'équilibre statique est que la projection verticale du centre de masse totale du corps se projette entre les points d'appuis (ces points dessinent le polygone ou surface de sustentation). Dans le cas de la bipédie, cette surface est très réduite, ce qui rend l'équilibre statique et dynamique difficile à maintenir.

Chez l'homme, l'anatomie est organisée en rapport avec la posture et l'équilibre bipèdes, avec par exemple une verticalisation du tronc *via* un positionnement vers le haut et un raccourcissement du pelvis (qui devient un bassin) et une succession de courbures de la colonne vertébrale, des membres inférieurs en extension et des pieds voûtés relativement peu flexibles. À cela s'ajoute une réorganisation des muscles et des articulations.

Les travaux anatomo-fonctionnels initiés au début du XX<sup>e</sup> siècle indiquent que les primates non humains actuels n'ont quant à eux aucun de ces arrangements anatomiques. Lors d'une marche bipède, le tronc est incliné vers l'avant, les hanches et les genoux ne sont pas tendus et le pied fléchit vers le haut à la fin de l'appui (*voir la figure page suivante*).

Cette posture générale varie : l'équipe de Kris D'Août, de l'Université de Liverpool, et la nôtre ont révélé qu'elle oscille autour de 20 degrés et de 13 degrés en moyenne au cours de la marche chez, respectivement, le bonobo et le babouin. De plus, elle est plus marquée dans le cas du transport de nourriture ou d'un enfant sur le ventre.

Le groupe de Robin Crompton, lui aussi à l'Université de Liverpool,



a observé que chez l'orang-outan, le genou est en extension au moment du contact du pied, alors qu'il est généralement fléchi chez les autres primates non humains. Enfin, selon ces mêmes travaux et ceux de Naomichi Ogihara, de l'Université de Keio, au Japon, le pied qui est très flexible, est en contact avec le sol par toute sa face plantaire chez les grands singes (l'appui est dit plantigrade), alors qu'il est en contact par l'avant du pied chez le macaque et le babouin par exemple (l'appui est dit semi-plantigrade).

Les marches bipèdes de l'homme et des primates non humains peuvent être décrites par des modèles simples. Pendant la marche bipède de l'homme, l'extension des membres inférieurs est mise en œuvre de telle sorte que le centre de masse totale soit dans sa position la plus basse à l'initiation du pas et au plus haut à mi-phase d'appui (*voir la figure page suivante*). Ce modèle dit du pendule inversé requiert peu d'énergie.

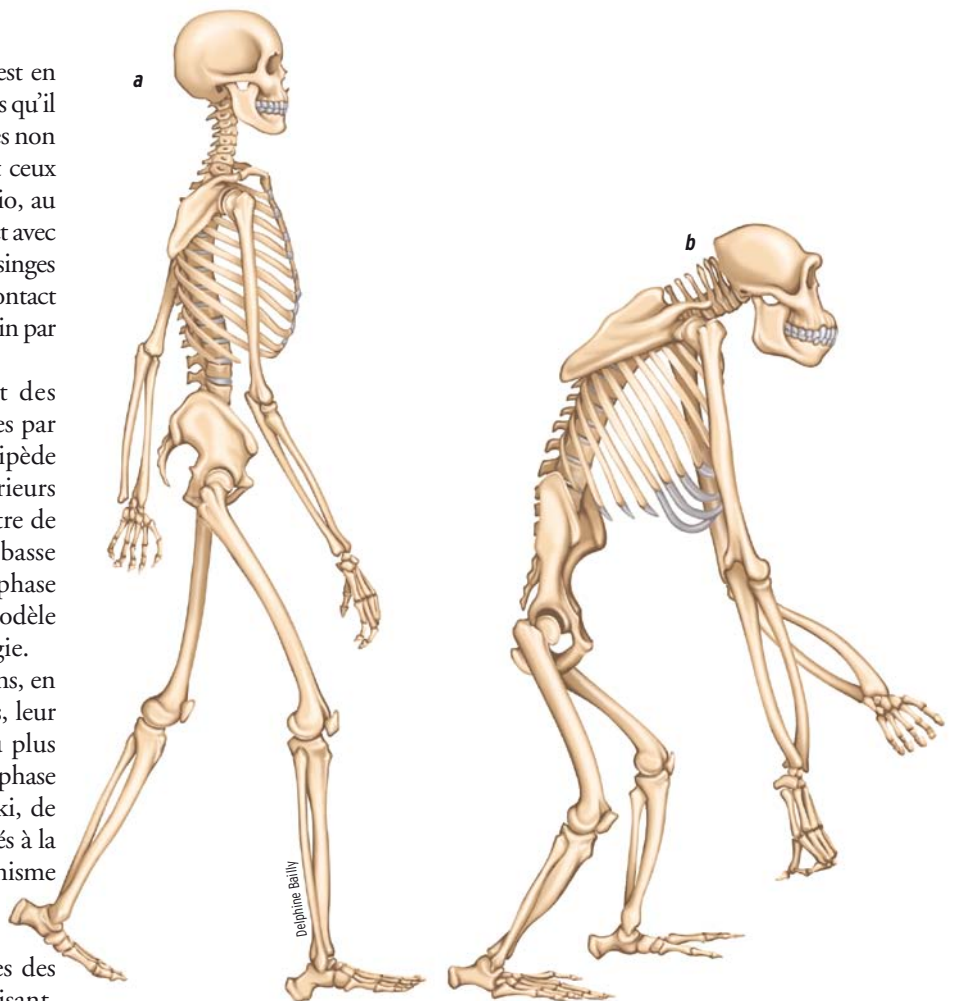
À l'inverse, chez les primates non humains, en raison de la flexion des membres postérieurs, leur centre de masse totale est généralement au plus haut à l'initiation du pas et au plus bas à mi-phase de l'appui. Néanmoins, selon Eishi Hirasaki, de l'Université de Kyoto, des macaques entraînés à la marche bipède tendaient à adopter le mécanisme mis en œuvre chez les humains.

L'exploration fonctionnelle a permis de mieux comprendre les modèles de bipédies des espèces actuelles dans leur diversité. Ce faisant, bon nombre de particularités anatomiques et fonctionnelles que l'on pensait corrélées à l'une de ces bipédies sont remises en cause.

Par exemple, on pense que dans leur posture générale, les primates non humains ont le tronc incliné vers l'avant. Pourtant, des études récentes sur différentes espèces (le bonobo, le capucin, le babouin...) ont mis en évidence des angles d'inclinaison avec la verticale de 10 à 20 degrés en moyenne : on devrait alors parler de tronc presque érigé !

Chez l'homme, le pied voûté et supposé rigide constitue l'organe de la propulsion du corps vers l'avant. Les articulations des pieds des primates non humains sont très mobiles et donnent à leur pied leur flexibilité. Par opposition à l'homme, le pied flexible du primate non humain ne favoriserait pas la propulsion. Ce n'est pas nécessairement le cas. L'analyse de la mécanique du pied du gibbon par Evie Verreche et par Peter Aerts a mis en évidence qu'un autre mécanisme de propulsion est possible avec un pied flexible. Par ailleurs, en 2013, Jeremy DeSilva et Kari Beates ont révélé que le pied humain n'est pas strictement rigide. Ces résultats ne remettent pas en cause les fondements du mécanisme de stabilisation de l'arche du pied, mais elles révèlent que cette stabilisation n'est pas obligatoire et est souvent transitoire.

On imagine aussi que la marche bipède étant occasionnelle chez les primates non humains elle



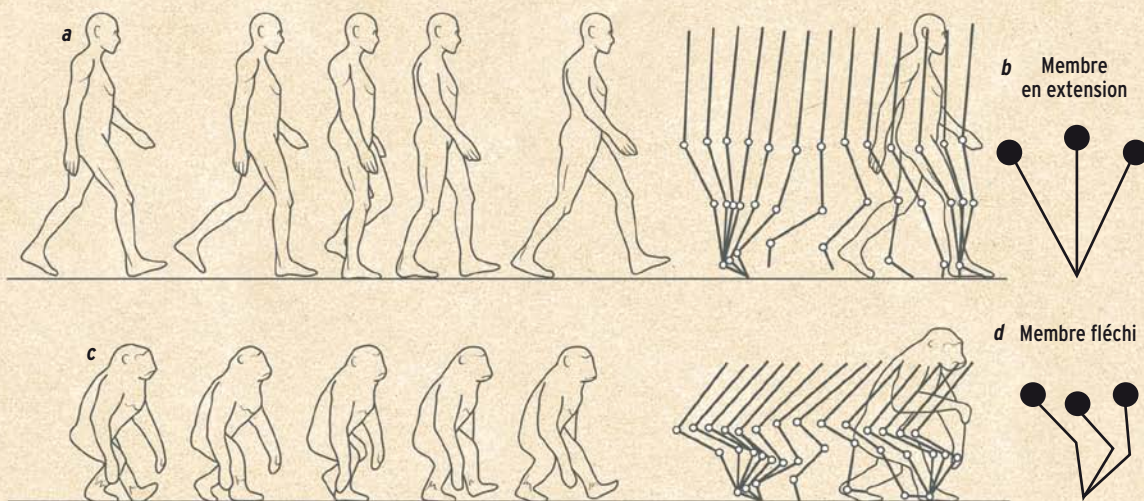
doit être plus coûteuse en énergie que leur mode locomoteur préférentiel. Or s'agissant du chimpanzé, Michael Sockol et ses collègues ont montré qu'il ne dépense en moyenne pas plus d'énergie en marche bipède qu'en marche quadrupède.

Ainsi, les données expérimentales révèlent certes de grandes différences entre la marche bipède humaine et celles des primates non humains, mais les plus récentes mettent surtout en avant la diversité des marches bipèdes non humaines. Questionnant la signification fonctionnelle de tel ou tel caractère, elles pointent également du doigt les interprétations passées des vestiges fossiles et leurs limites.

### Tout petit, déjà bipède ?

Qu'en est-il de la bipédie au cours du développement ? On a récemment mis en évidence chez l'homme l'importance cruciale de l'apprentissage de la marche bipède. En effet, Karen Adolph et son équipe de l'Université de New York ont calculé qu'un petit d'homme âgé entre 12 et 19 mois fait en moyenne 2 368 pas, parcourt 701 mètres et tombe 17 fois par heure, soit par jour environ 14 000 pas, 4 000 mètres de distance et 100 chutes. L'apprentissage de la marche passe donc par une expérience considérable contribuant largement à son affinage. Celle-ci va graduellement s'améliorer avec l'allongement du

LES SQUELETTES révèlent les arrangements anatomiques propres à chaque espèce qui distinguent la bipédie humaine (a), habituelle, et celle des chimpanzés (b). Ainsi, chez l'homme, on observe une verticalisation du tronc par le biais notamment d'une succession de courbures de la colonne vertébrale, des membres en extension et des pieds voûtés peu flexibles. Ces arrangements sont absents chez le chimpanzé.



LA BIPÉDIE humaine (a) se caractérise par une position verticale du tronc et par une extension de la hanche et du genou en début et fin de pas. Inversement, en marche bipède, le chimpanzé (c) se distingue par une légère oscillation du tronc, par une flexion permanente de la hanche et du genou et, enfin, par une flexion du pied vers le haut. Un modèle mécanique simple illustre que le centre de gravité (le rond noir) oscille de façon différente : chez l'humain (b), où l'on parle de pendule inversé, la bipédie est mécaniquement plus performante que celle des autres primates (d).

pas et la diminution de sa largeur, de la rotation du pied et de la variabilité entre deux pas consécutifs.

Chez le primate non humain, on manque de données de ce type. Cependant, on sait que son expérience de la marche bipède est bien inférieure à celle du petit de l'homme moderne. Les seules données dont nous disposons ont été obtenues par Tasuku Kimura, de l'Université d'Ishikawa, au Japon. En 2009, il montre, avec son collaborateur Naoko Yaguramaki, qu'avant un an, les chimpanzés pratiquent une bipédie à haute vitesse et que jusqu'à deux ans, leur marche bipède est très instable, avec une différence importante entre la durée de deux cycles de marche consécutifs. L'adulte, lui, pratique une bipédie plus stable (mais moins que celle de l'homme adulte) et à des vitesses moindres, avec des cycles de pas relativement plus longs (longueur et durée) et des phases d'appui plus longues. On en déduit que la marche bipède infantile du primate non humain a elle aussi besoin d'être acquise, bien que son expérience reste succincte.

## Des jeunes plus souvent bipèdes

Chez le chimpanzé, ce peut être lié à la maturation de son appareil locomoteur. En effet, à un âge précoce, il n'a pas encore acquis son autonomie locomotrice et son répertoire positionnel est très loin de celui que l'on observe chez l'adulte, comme en témoignent les travaux de Lauren Sarringhaus, de l'Université de Cambridge, en Grande-Bretagne.

Par ailleurs, une hypothèse impliquant les dimensions morphologiques et plus particulièrement la position élevée du centre de gravité du petit chimpanzé a été proposée pour expliquer cette moindre habileté à la marche bipède. Un centre de gravité plus proche du crâne rendrait en effet plus difficile son élévation lors d'une marche bipède et nuirait donc à son équilibre.

## articles

- L. SARRINGHAUS *et al.*, *The locomotor and postural development of wild chimpanzees*, in *J. of Human Evolution*, vol. 66, pp. 29-38, 2014.
- F. DRUELLE et G. BERILLON, *Bipedalism in non-human primates : a comparative review of behavioural and experimental explorations on catarrhines*, in *BMSAP*, vol. 26, pp. 111-120, 2014.
- S. THORPE *et al.*, *Origin of human bipedalism as an adaptation for locomotion on flexible branches*, in *Science*, vol. 316, pp. 1328-1331, 2007.
- R.M. ALEXANDER, *Bipedal animals, and their differences from humans*, in *J. of Anatomy*, vol. 204, pp. 321-30, 2004.
- K. D'AOUT *et al.*, *Locomotion in bonobos (Pan paniscus)*, in *J. of Anatomy*, vol. 204, pp. 353-61, 2004.

Autre information intéressante, le petit catarhinien non humain pratiquerait plus de bipédie au sein de son répertoire positionnel que l'adulte. Cette tendance est au moins observée chez les grands singes africains. Cependant, on la retrouve chez d'autres espèces telles que le babouin et le macaque. Une question se pose alors : qu'est-ce que ces différences de proportions peuvent bien impliquer ? Il est aujourd'hui difficile de répondre, mais nos travaux en cours apportent quelques éclairages.

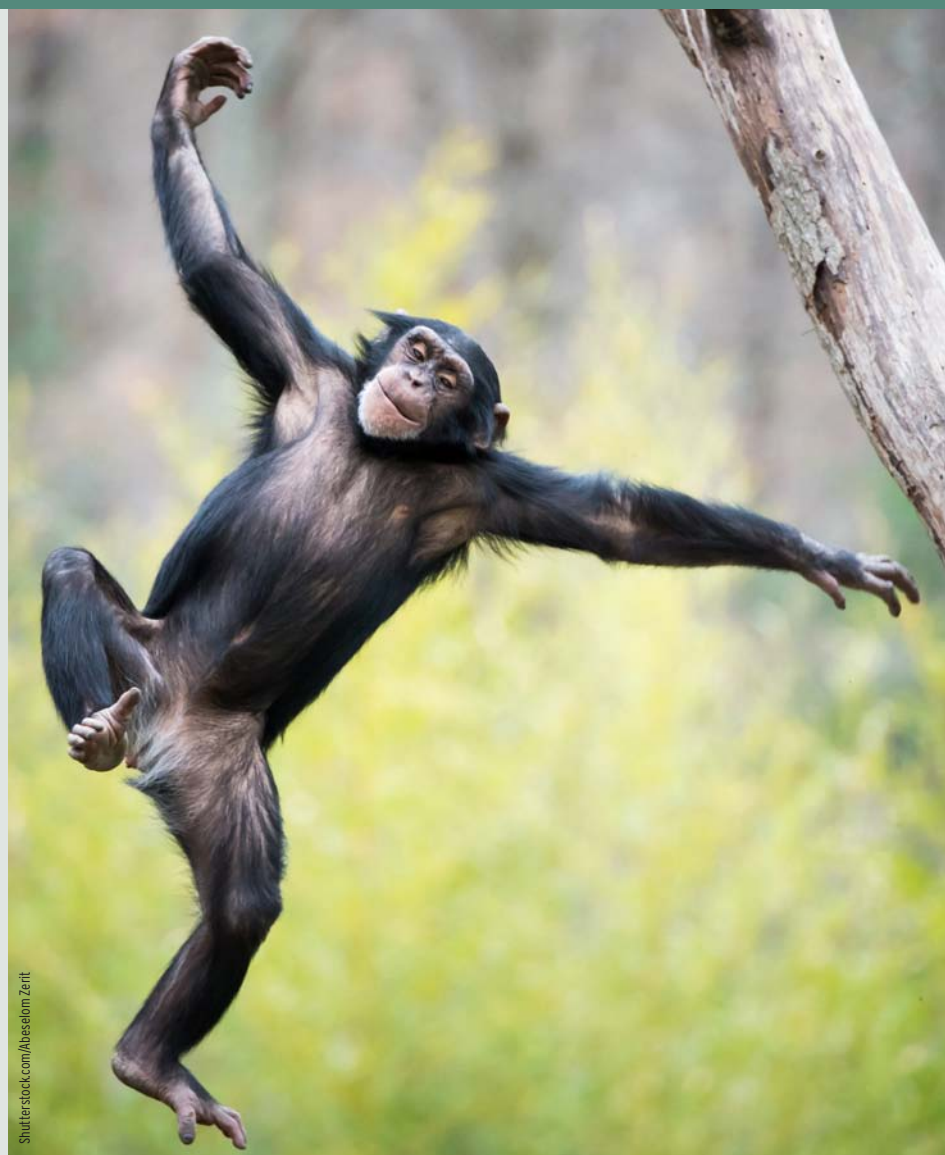
Le jeune babouin olive pratiquerait plus fréquemment la bipédie que l'adulte dans son répertoire, les épisodes bipèdes n'étant pas plus longs, voire au contraire plus courts en moyenne. Ces résultats encore non publiés mettent en lumière l'importance de distinguer deux aptitudes dans la pratique de la bipédie chez les primates non humains. La première est celle de transiter depuis un mode postural, ou locomoteur, vers la bipédie : l'enfant transite souvent, la fréquence de bipédie est plus élevée. La seconde est celle de se maintenir en bipédie : les adultes se maintiennent mieux, les épisodes bipèdes sont plus longs.

Ces éléments sont aujourd'hui pertinents à souligner, car les implications évolutives sont importantes. Dans une perspective paléanthropologique questionnant la transition d'une bipédie occasionnelle vers la bipédie permanente, c'est bien sur les valeurs adaptatives de ces mécanismes de transition et d'équilibre et sur leur importance écologique qu'il faut s'interroger afin de comprendre comment la quantité de marche bipède non assistée a augmenté graduellement chez nos ancêtres hominins. En effet, c'est bien la nature habituelle de ce mode locomoteur qui caractérise l'homme moderne et non la bipédie qui est partagée par tous ses plus proches parents.



# Un homme comme les autres

- 38** Pour quelques gènes de différence  
Katherine Pollard
- 44** Un animal doué de raison ?  
Bernard Thierry
- 50** Les chimpanzés : des grands singes pétris de culture  
Christophe Boesch
- 56** **PORTFOLIO**  
Les chimpanzés des Monts de la lune  
Sabrina et Jean-Michel Krief
- 64** Un pouvoir au féminin  
Barbara Fruth
- 70** **EN IMAGES**  
La pharmacopée des chimpanzés  
Sabrina Krief
- 72** **ENTRETIEN AVEC Shelly Masi**  
La culture chez les gorilles
- 76** L'homme : un singe à un poil près  
Nina Jablonski



Distinguer le propre de l'homme n'est pas chose aisée. De fait, on découvre que les grands singes actuels sont capables d'empathie, de sens moral, de raisonnements complexes, de développer et de transmettre une culture... Mieux encore, certaines espèces connaissent les plantes médicinales. Du singe à l'homme, il n'y aurait pas de rupture : d'ailleurs, le génome humain et celui du chimpanzé ne diffèrent que de un petit pour cent.

# Pour quelques gènes de différence

La comparaison du génome humain à celui du chimpanzé, et à celui d'autres grands singes, a révélé des détails des histoires évolutives de ces espèces. Toutes sont singulières et rendent l'idée de « propre de l'homme » difficile à cerner.

Katherine POLLARD est biostatisticienne à l'Université de Californie à San Francisco, aux États-Unis.

**E**n 2005, le génome du chimpanzé *Pan troglodytes* était publié. Nous disposions alors de l'ensemble des « lettres » (A, T C et G) qui constituent son ADN et nous allions enfin pouvoir comparer le génome humain à celui de notre plus proche parent. C'est ainsi que nous avons découvert que l'homme et le chimpanzé ont 99 pour cent de leur ADN en commun. En d'autres termes, sur les trois milliards de lettres qui composent le génome humain, seul un pour cent a été modifié depuis que l'homme et le chimpanzé ont divergé. Pourtant, parmi ces quelques millions de lettres qui ont changé se trouve la clef de ce qui distingue les êtres humains et les chimpanzés. Nous verrons ici en détail quelques-unes de ces différences.

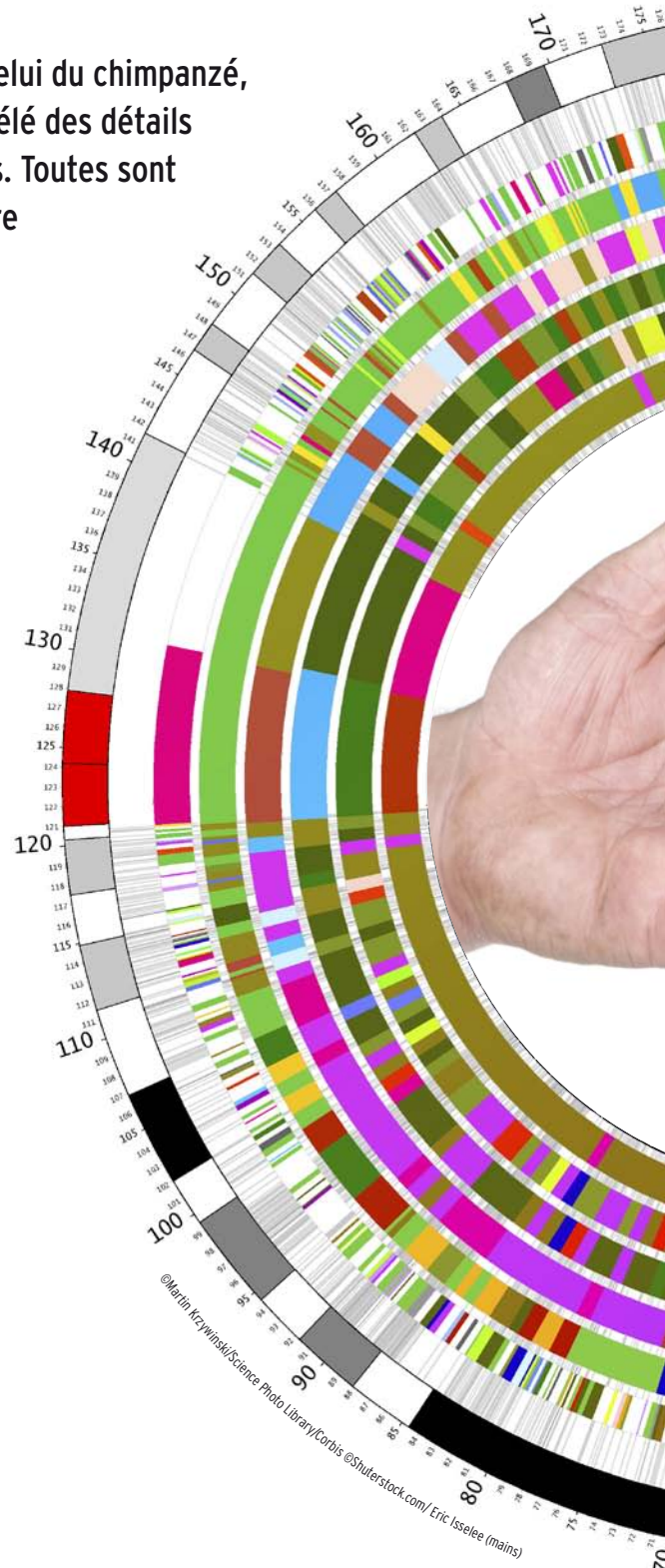
Pour faciliter le travail d'exploration, nous avons développé un programme informatique qui, en comparant les génomes de plusieurs espèces, recherche les fragments d'ADN qui ont beaucoup changé sur la lignée menant à l'homme, alors qu'ils sont restés conservés chez les autres espèces, notamment le chimpanzé. Notre étude laissait donc de côté les régions possiblement importantes pour l'évolution de l'homme, mais qui ont également évolué en parallèle chez d'autres espèces.

La plupart des mutations génétiques, aléatoires, n'entraînent ni bénéfice ni inconvénient pour un organisme. En conséquence, elles s'accumulent à une vitesse constante et sont le reflet du temps écoulé depuis que deux espèces ont divergé. Ce principe est celui de l'« horloge moléculaire ».

En revanche, des mutations qui aident un organisme à survivre et à se reproduire ont plus de chances d'être transmises aux générations futures. La fréquence de ces mutations dans une partie du génome augmente donc, car elles subissent une sélection positive. En fin de compte, les régions du génome ayant accumulé

## L'ESSENTIEL

- Les chimpanzés sont nos plus proches parents : ils partagent 99 pour cent de notre génome.
- On recherche les régions du génome qui ont changé depuis que le chimpanzé et l'homme ont divergé.
- Les génomes d'autres primates ont également été séquencés.
- L'étude de ces séquences livre des histoires évolutives particulières pour chacune de ces espèces.
- Par exemple, on découvre le rôle des agents pathogènes dans l'évolution des génomes.





CETTE CARTE montre le matériel génétique partagé par les humains (l'anneau extérieur, en gris) avec (de l'intérieur vers l'extérieur) le chimpanzé, la souris, le rat, le chien, le poulet et le poisson-zèbre. Les couleurs dans chaque anneau représentent le niveau de similitude (elle croît du bleu au rouge). Plus le nombre de fragments colorés est élevé, plus la divergence évolutive est importante par rapport au génome humain. Cette fragmentation augmente à mesure que l'on s'éloigne du centre, confirmant la proximité de l'humain et du chimpanzé.



le plus grand nombre de modifications depuis la divergence des deux espèces ont probablement aidé à façonner le genre humain.

Dès 2004, grâce à notre programme, nous avons obtenu une liste de ces séquences à haute fréquence de mutation. Nous avons alors examiné une section d'ADN de 118 bases, que nous avons nommée séquence « accélérée » humaine 1 ou HAR1 (pour *Human accelerated region 1*).

Nous avons étudié en détail cette région HAR1 et comparé les séquences correspondantes d'un homme, d'un chimpanzé, d'un poulet (voir l'encadré page suivante)... Nous avons aussi exhumé des expériences qui avaient détecté une activité génique de HAR1 dans deux échantillons de cellules cérébrales humaines... même si personne n'avait nommé ni étudié la séquence. Nous avons trouvé une région d'ADN particulièrement modifiée chez l'homme et donc participant peut-être à une fonction nouvelle, dans un gène exprimé au niveau du cerveau.

### Tout est dans la tête

Le cerveau humain diffère de celui du chimpanzé, notamment par sa taille, son organisation et sa complexité. Cependant, les mécanismes de l'évolution et du développement responsables de ces variations sont mal connus. HAR1 était peut-être une piste pour obtenir des éléments de réponse.

En 2005, nous avons étudié l'évolution de HAR1 en comparant cette région chez diverses espèces, tels 12 autres vertébrés dont le génome venait d'être séquencé. Jusqu'à l'apparition de l'homme, HAR1 a évolué lentement. Chez les poulets et les chimpanzés, dont les lignées ont divergé il y a environ 300 millions d'années, seules deux des 118 bases diffèrent, alors que 18 bases changent entre l'homme et le chimpanzé dont les lignées ont divergé plus récemment. La région HAR1 est donc restée « gelée » pendant des centaines de millions d'années, ce qui prouve qu'elle assure une tâche importante; la modification qui s'est ensuite produite chez l'homme suggère que sa fonction a changé dans notre lignée. Mais quelle est cette fonction?

En 2005, Pierre Vanderhaeghen, de l'Université libre de Bruxelles, utilisa nos séquences pour fabriquer un marquage moléculaire fluorescent qui « s'allume » quand HAR1 s'active dans des cellules vivantes. Nous avons alors pu montrer que HAR1 est actif dans un type de neurones qui participe à l'organisation du cortex cérébral au cours du développement, le cortex étant la couche plissée la plus externe du cerveau. Un dysfonctionnement de ces neurones peut engendrer une maladie congénitale grave, souvent fatale, nommée lissencéphalie (« cerveau lisse »): le cortex ne présente ni plis ni replis et sa surface est réduite. Des anomalies de ces mêmes neurones sont également liées à l'apparition de la schizophrénie à l'âge adulte.

La région HAR1 est donc active au bon moment et au bon endroit pour participer à la formation d'un cortex sain. D'autres éléments suggèrent qu'elle jouerait aussi un rôle dans la production des spermatozoïdes. Mais la façon dont cette portion de génome agit sur le cortex reste inconnue.

### Un gène sans protéine

Toutefois, nous savons que HAR1 ne code pas de protéine. Longtemps, les biologistes se sont presque exclusivement intéressés aux gènes codant des protéines. Mais depuis le séquençage du génome humain, on a découvert que ces gènes ne représentent 1,5 pour cent de l'ADN. Les 98,5 autres pour cent, parfois nommés ADN poubelle, contiennent des séquences régulatrices d'autres gènes, des gènes codant des ARN non traduits en protéines, ainsi qu'une grande quantité d'ADN ayant d'autres fonctions que l'on commence juste à comprendre.

En 2006, Sofie Salama, Haller Igel et Manuel Ares, de l'Université de Californie à Santa Cruz,

ont montré que la région HAR1 code un ARN non traduit. En fait, la région HAR1 humaine consiste en deux gènes qui se chevauchent. La séquence de HAR1 commune aux deux gènes conduit à une nouvelle structure d'ARN qui s'ajoutait aux six classes déjà connues à cette époque de gènes codant des ARN.

Ces groupes (on en a identifié aujourd'hui plus d'une dizaine!) contiennent plus de 1 000 familles différentes de gènes codant de l'ARN, chacune se distinguant par la structure et la fonction de l'ARN produit. HAR1 fut aussi le premier exemple d'une séquence codant de l'ARN qui semble avoir été soumise à une sélection positive, c'est-à-dire que ses mutations ont permis aux individus les portant de mieux survivre et de se reproduire. HAR1 n'est donc pas un simple fragment d'ADN poubelle.

Des comparaisons de génomes entiers chez d'autres espèces ont aussi révélé pourquoi les êtres humains et les chimpanzés peuvent être si différents alors que leurs génomes sont si proches. Ces études ont mis en évidence que l'endroit où se sont produites

## Du nouveau sur le génome des primates

Ces dernières années, l'évolution du coût du séquençage et de la rapidité pour obtenir des données génétiques a autorisé le séquençage des génomes de tous les hominoïdes actuels (l'homme en 2001, le chimpanzé en 2005, l'orang-outan en 2011, le bonobo et le gorille en 2012 et, enfin, le gibbon en 2014), ainsi que de nombreux autres primates. Ces progrès techniques ont également permis d'analyser non plus un seul génome par espèce, mais le génome de plusieurs individus, ouvrant la voie à l'exploration de nouvelles questions de recherche.

Ces données ont notamment montré que, bien que le chimpanzé soit notre plus proche cousin, 15 pour cent de notre génome sont plus proches de celui du gorille que de celui du chimpanzé, indiquant que le gorille a divergé de la lignée de l'homme et du chimpanzé assez peu de temps avant que le chimpanzé ne se sépare lui-même de la lignée humaine. Nous ressemblons d'ailleurs plus aux gorilles qu'aux chimpanzés pour certains traits, notamment au niveau des gènes liés à l'audition et de la morphologie de l'oreille.

En outre, les chercheurs ont réussi à retracer les variations de tailles de population des différents primates au cours du temps, montrant que les chimpanzés et les orangs-outans étaient certainement, il y a quelques centaines de milliers d'années, beaucoup plus nombreux que ne l'étaient les hommes, dont la taille des populations est restée plus constante. Ces populations se sont ensuite toutes fortement réduites, sauf celles des hommes. Les facteurs responsables de ces changements de taille ne sont pas encore élucidés.

En parallèle, nous avons pu analyser les régions du génome où la diversité génétique est partagée entre hommes et chimpanzés du fait de la sélection naturelle, à l'instar du HLA (les molécules à la surface des globules blancs qui permettent leur identification par le système immunitaire). Ces régions sont particulièrement intéressantes puisqu'elles indiquent que la diversité génétique a été préservée au cours du temps : le maintien de cette diversité dans ces régions est donc important pour la survie ou la reproduction des individus, et ce pour plusieurs espèces ! Les analyses montrent que ces régions partagées sont plus nombreuses que nous le pensions, et elles semblent impliquées dans les interactions entre hôtes et pathogènes. Se défendre contre les microbes depuis la nuit des temps serait un de nos points communs génétiques !

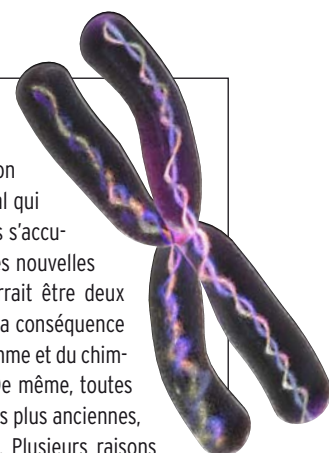
L'accumulation de données génomiques n'a pas seulement apporté de nouvelles connaissances, elle a aussi remis en question des résultats

jusqu'alors communément acceptés. Ainsi, le séquençage entier de génomes de parents et de ceux de leurs enfants a livré une nouvelle estimation du taux de mutations, ce paramètre évolutif crucial qui nous informe de la vitesse à laquelle les mutations s'accumulent avec le temps : l'horloge moléculaire. Or ces nouvelles données familiales ont indiqué que ce taux pourrait être deux fois plus lent que nous l'imaginions auparavant ! La conséquence directe de ce résultat est que la divergence de l'homme et du chimpanzé daterait de 12 millions d'années et non 6 ! De même, toutes les dates préalablement estimées seraient deux fois plus anciennes, de quoi faire tourner la tête aux paléontologues. Plusieurs raisons obligent à prendre avec précaution ce nouveau taux, mais une chose est sûre : plus rien ne l'est du côté des datations...

En dehors du taux absolu de mutations, le séquençage de familles entières a montré que les pères sont responsables d'une plus grande part des mutations transmises aux enfants que les mères. En effet, les cellules accumulent d'autant plus de mutations qu'elles se divisent, et les spermatozoïdes se régénèrent toute la vie, à l'inverse des ovules qui sont produits pendant la vie fœtale. Les pères sont donc plus souvent à « blâmer » pour l'apparition de mutations chez leurs enfants, et ce de façon croissante avec leur âge.

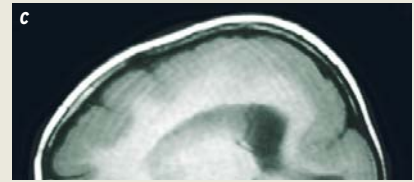
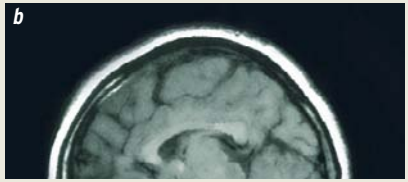
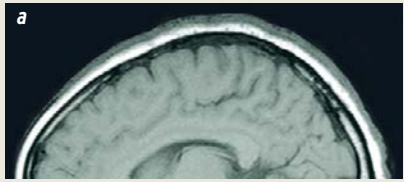
Le séquençage de familles de chimpanzés a révélé que ce biais paternel existe et est même encore plus fort dans cette espèce. Ce résultat pourrait s'expliquer par la plus importante compétition des mâles pour la reproduction dans cette espèce, ce qui entraîne une production accrue de spermatozoïdes, une plus grande taille des testicules, et donc un nombre de divisions cellulaires chez les mâles plus important. Pour vérifier cette hypothèse, il sera intéressant d'étudier le taux de mutations chez les gorilles, où le fonctionnement est différent : la compétition des mâles pour la reproduction est limitée et la taille des testicules diminuée.

Laure Séguirel, Laboratoire d'écoanthropologie et ethnobiologie (UMR 7206), Muséum national d'histoire naturelle, Paris.





## UN BON DÉVELOPPEMENT DU CERVEAU



**D**es modifications dans certaines séquences du génome peuvent avoir des conséquences importantes sur le cerveau. Par exemple, la mutation du gène *ASPM* entraîne une diminution importante de la taille du cerveau (b) par rapport à celle d'un cerveau normal (a); ce gène aurait joué un rôle clé dans l'évolution de la taille du cerveau humain.

Des dysfonctionnements des neurones où la région HAR1 est active pendant le développement peuvent engendrer une maladie grave: le cortex cérébral ne se plisse pas correctement (c), ce qui suggère que HAR1 est indispensable à la formation d'un cortex cérébral sain.

des substitutions d'ADN dans le génome serait d'une grande importance, voire supérieure à celle du nombre total de modifications. En d'autres termes, il ne serait pas nécessaire de changer une grande partie du génome pour créer une nouvelle espèce.

L'être humain n'est pas apparu à partir d'un ancêtre commun à l'homme et au chimpanzé grâce à une accélération globale de la fréquence de modification des lettres de l'ADN. Le secret réside plutôt en des modifications rapides intervenant dans des sites où elles entraînent des différences importantes dans le fonctionnement d'un organisme. Néanmoins, en 2010, une étude a montré que de nombreux gènes qui sont sous sélection rapide entre l'homme et le chimpanzé (et donc potentiellement responsables des phénotypes spécifiquement humains) sont également sous sélection chez d'autres primates.

### Et la parole fut

La séquence HAR1 serait un de ces endroits importants. Il en est de même du gène *FOXP2* qui contient une des autres séquences à changement rapide que nous avons identifiées et qui intervient dans la parole. En 2001, des chercheurs de l'Université d'Oxford, en Angleterre, ont montré que des personnes portant des mutations dans le gène *FOXP2* sont incapables de produire certains mouvements rapides du visage nécessaires à la parole.

La séquence spécifique humaine de *FOXP2* présente plusieurs différences par rapport à celle du chimpanzé: deux substitutions de bases qui ont changé la protéine produite et plusieurs autres substitutions qui modifient le moment et l'endroit d'utilisation de la protéine dans l'organisme.

En 2007, des scientifiques de l'Institut Max Planck d'anthropologie évolutionniste à Leipzig, en Allemagne, ont daté l'apparition chez les hominidés de la version du gène *FOXP2* autorisant la parole. Ils ont séquencé le gène *FOXP2* extrait d'un fossile néandertalien et ont trouvé que cette espèce éteinte portait la version humaine moderne du gène, qui lui a peut-être permis d'articuler comme le fait l'homme moderne. Les estimations

actuelles du moment où les lignées de Neandertal et de l'homme moderne ont divergé suggèrent que la nouvelle forme de *FOXP2* serait apparue il y a au moins un demi-million d'années.

Cependant, la plupart des différences entre le langage humain et la communication vocale chez d'autres espèces ne résultent pas de capacités physiques distinctes, mais de capacités cognitives, liées notamment à la taille du cerveau. Si les primates ont souvent un cerveau important par rapport à la taille de leur corps, le volume du cerveau humain a plus que triplé depuis l'ancêtre commun de l'homme et du chimpanzé. Les généticiens commencent à comprendre cette accélération de la taille du cerveau.

L'un des exemples les mieux étudiés d'un gène lié à la taille du cerveau est *ASPM*. Des études génétiques de personnes atteintes d'une maladie nommée microcéphalie, qui se caractérise par une diminution de la taille du cerveau pouvant atteindre 70 pour cent, ont permis aux chercheurs de trouver le rôle d'*ASPM* et de trois autres gènes dans le contrôle de la taille du cerveau (voir l'encadré ci-dessus).

D'autres régions du génome auraient influé sur la forme du cerveau humain. Outre la région HAR1, nous avons mis en évidence 201 autres régions accélérées humaines (HAR), dont la plupart ne codent ni protéines ni même ARN. Il existe ainsi un grand nombre de HAR similaires qui sont des séquences régulatrices, commandant l'activation et l'inhibition de gènes adjacents.

Qui plus est, plus de la moitié des gènes situés près des HAR interviennent dans le développement et le fonctionnement du cerveau. Et comme pour *FOXP2*, les produits d'un grand nombre de ces gènes régulent à leur tour d'autres gènes. Ainsi, même si les HAR ne représentent qu'une petite partie du génome, des modifications dans ces régions ont pu changer profondément le cerveau humain en influant sur l'activité de réseaux de gènes.

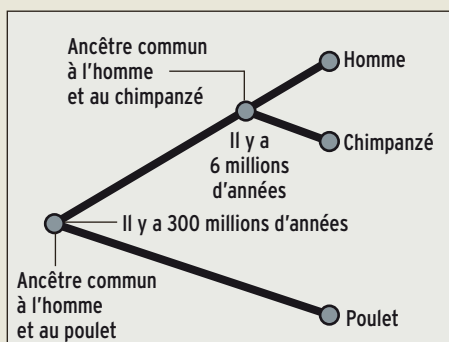
Bien que la recherche génétique se soit surtout concentrée sur l'évolution du cerveau humain, des chercheurs ont aussi tenté de résoudre comment d'autres aspects du corps humain sont apparus.

La région HAR2, la deuxième sur notre liste des séquences accélérées humaines, est un bon exemple.

En 2008, une équipe a montré que certaines différences de bases dans la version humaine de HAR2 (aussi nommée HACNS1), par rapport à la séquence des primates non humains, permettent à cette région d'ADN de commander l'activité génique dans le poignet et le pouce au cours du développement fœtal; en revanche, la version ancestrale chez d'autres primates ne contrôle pas les gènes concernés. Cette découverte pourrait expliquer des modifications morphologiques survenues dans la main humaine et qui ont conféré à l'homme la dextérité nécessaire à la fabrication et à l'utilisation d'outils complexes.

## COMPARER DES GÉNOMES

Pour trouver les régions du génome spécifiques à l'homme, un programme informatique détecte les séquences d'ADN qui ont changé depuis que les hommes et les chimpanzés ont divergé de leur ancêtre commun. En tête de liste, figure un fragment de 118 lettres, nommé HAR1 pour *Human accelerated region 1*. Cette région du génome a peu changé au cours de l'évolution de la plupart des vertébrés, les séquences des chimpanzés et du poulet ne différant que de deux lettres. En revanche, les HAR1 de l'homme et du chimpanzé diffèrent de 18 lettres, suggérant que HAR1 a acquis une nouvelle fonction chez les êtres humains.



T	G	A	A	C	G	G	A	G	G	A	G	A	C	G	T	T	A	C
A	G	C	A	A	C	G	T	G	T	C	A	G	C	T	G	A	A	T
G	A	T	G	G	C	G	T	A	G	A	C	G	C	A	C	G	T	C
A	G	C	G	G	C	G	G	A	A	A	T	G	G	T	T	T	C	T
T	C	A	A	A	A	T	G	A	A	A	G	T	G	T	T	T	A	G
G	A	T	T	T	T	C	C	T	C	A	A	G	T	T	T	T	C	A

■ Modification de la séquence de l'homme comparée à celle du chimpanzé.

T	G	A	A	A	T	G	G	A	G	G	A	G	A	A	A	T	T	A	C
A	G	C	A	A	T	T	T	A	T	C	A	A	C	T	G	A	A	A	T
T	A	T	A	G	G	T	G	T	A	G	A	C	A	C	A	T	G	T	C
A	G	C	A	G	T	G	G	A	A	A	T	A	G	T	T	T	C	T	A
T	C	A	A	A	A	T	T	A	A	A	G	T	A	T	T	T	A	G	A
G	A	T	T	T	T	C	C	T	C	A	A	A	T	T	T	T	C	A	

■ Modification de la séquence du chimpanzé comparée à celle du poulet.

T	G	A	A	A	T	G	G	A	G	G	A	G	A	A	A	T	T	A	C
A	G	C	A	A	T	T	T	A	T	C	A	A	C	T	G	A	A	A	T
T	A	T	A	G	G	T	G	T	A	G	A	C	A	C	A	T	G	T	C
A	G	C	A	G	T	A	G	A	A	A	C	A	G	T	T	T	C	T	A
T	C	A	A	A	A	T	T	A	A	A	G	T	A	T	T	T	A	G	A
G	A	T	T	T	T	C	C	T	C	A	A	A	T	T	T	T	C	A	

Nos ancêtres ont aussi connu des évolutions comportementales et physiologiques qui leur ont permis de s'adapter à des changements de conditions et de coloniser de nouveaux environnements. Par exemple, la conquête du feu il y a plus d'un million d'années et la révolution agricole il y a environ 10 000 ans ont facilité l'utilisation d'aliments riches en amidon. Toutefois, les changements culturels n'ont pas suffi pour exploiter ces nouveaux aliments comestibles. Nos prédécesseurs ont dû s'y adapter génétiquement.

## Au menu, pommes de terre et lait

Des modifications du gène *AMY1*, qui code l'amylase salivaire, une enzyme intervenant dans la digestion de l'amidon, sont une adaptation de ce type. Le génome des mammifères contient différentes copies de ce gène, dont le nombre varie selon les espèces et même d'un être humain à l'autre. Comparés à d'autres primates, les hommes présentent un nombre élevé de copies d'*AMY1*. En 2007, des généticiens de l'Université d'État de l'Arizona ont montré que les personnes qui portent plus de copies du gène *AMY1* ont davantage d'amylase dans leur salive, ce qui leur permet de digérer plus d'amidon. L'évolution d'*AMY1* ferait donc intervenir le nombre de copies du gène et des modifications spécifiques dans sa séquence d'ADN.

Étonnamment, cette différence entre les humains et les autres primates quant au gène *AMY1* se retrouve également entre les chiens et les loups. Lors de sa domestication, le meilleur ami de l'homme a en effet bénéficié d'une alimentation nouvelle, plus proche de celle des hommes, et donc plus riche en glucides que celle des loups sauvages.

Un autre exemple d'adaptation alimentaire concerne le gène *LCT* de la lactase, une enzyme qui permet aux mammifères de digérer le lactose, le sucre du lait. Chez la plupart des espèces, seuls les nouveau-nés allaités peuvent digérer le lactose, mais il y a environ 9 000 ans (c'est-à-dire récemment en termes d'évolution), dans les populations qui se sont mises à consommer le lait d'espèces animales domestiquées, des modifications du génome humain ont produit des versions du gène *LCT* qui permettent à cette enzyme de perdurer chez les adultes.

Le gène *LCT* modifié a évolué indépendamment dans les populations européennes et africaines, conférant aux porteurs la capacité de digérer le lait des animaux domestiques. Les descendants adultes actuels de ces anciens bergers ont plus de chances de digérer le lactose (dans leur régime alimentaire) que les adultes d'autres régions du monde, notamment d'Asie, où beaucoup n'expriment pas la lactase à l'âge adulte.

Notons que les caractéristiques des gènes *LCT* et *AMY1* que nous avons décrites ne sont pas à proprement parlé le « propre de l'homme », car ils ne correspondent qu'à une sélection locale, c'est-à-dire uniquement chez certaines populations: *LCT* pour les



## CONTREPOINT DE MICHEL MORANGE

**L'article de Katherine Pollard montre les riches découvertes permises par l'étude du génome du chimpanzé, mais quelques affirmations méritent d'être nuancées.**

La comparaison du génome de l'être humain avec celui de ses plus proches cousins, et en particulier du chimpanzé, a nécessité la mise au point de programmes originaux de bio-informatique, à la conception desquels l'auteur a apporté une contribution importante.

Cependant, certaines de ses conclusions sont à prendre avec prudence. Ainsi, la faible distance génétique entre l'homme et le chimpanzé, la valeur de un pour cent, répétée à l'envi, est considérée par beaucoup de biologistes comme un mythe, car elle ne prend pas en compte toutes les formes de variations génétiques (insertions,

délétions...) qui distinguent l'être humain de ses cousins.

Par ailleurs, il est dit dans l'article que les mutations expliquant la divergence évolutive sont des mutations régulatrices, dans des séquences non codantes. Là aussi, les débats sont vifs, et beaucoup de biologistes n'acceptent pas cette idée. L'auteur donne d'ailleurs des exemples de mutations qui ne sont pas régulatrices, notamment celles du gène *FOXP2*.

Enfin, dans tous les domaines scientifiques, mais dans celui-là en particulier, il est essentiel de ne pas surinterpréter les observations, aussi intéressantes soient-elles. Rappelons d'abord que si la mutation d'un gène affecte un caractère, cela ne signifie pas pour autant que le gène considéré est un acteur important dans la réalisation de ce caractère.

De même, les gènes qui nous font humains sont aussi ceux qui n'ont pas changé depuis

la divergence évolutive avec les chimpanzés, car, sans beaucoup de ces gènes, la formation d'un être humain serait impossible. Et les gènes qui ont varié dans le rameau humain collaborent avec ces gènes qui sont restés constants. Ainsi, les différents exemples et notamment le cas du gène *FOXP2* mériteraient d'être considérés avec plus de circonspection. Ce gène n'est certainement pas « le » gène du langage, mais un gène dont les variations ont pu contribuer à la formation de structures cérébrales permettant la mise en place des aptitudes cognitives nécessaires au langage de type humain. La phrase est longue, car le chemin de ce gène au langage est certainement très long ! N'oublions pas qu'il y a aussi une histoire sociale du langage humain !

**Michel Morange**, Centre Cavailles d'histoire et de philosophie des sciences de l'École normale supérieure, à Paris

populations agropastorales buvant traditionnellement du lait, ce qui représente un tiers de la population mondiale; *AMY1* chez les descendants d'agriculteurs ayant une alimentation riche en amidon.

Outre *LCT*, on a identifié 15 autres gènes en cours de divergence par rapport à une version ancestrale des singes ; ces gènes anciens fonctionnent bien chez des mammifères non humains, mais ils augmentent le risque de développer des pathologies chez l'homme moderne. Des équipes étudient les fonctions des gènes impliqués et tentent d'établir pourquoi les variants ancestraux sont mal adaptés chez l'homme.

## Combattre les virus

Lutter contre la maladie pour transmettre ses gènes est une constante dans l'évolution. Cette stratégie est manifeste au niveau du système immunitaire. Quand on examine le génome humain pour y trouver des preuves de sélection positive, les meilleurs candidats sont souvent des gènes impliqués dans l'immunité. De fait, sans antibiotiques ni vaccins, l'obstacle le plus probable à la transmission des gènes est une infection. On assiste alors à une course aux armements entre microbes et hôtes : plus les agents pathogènes évoluent, plus le système de défense se perfectionne, ce qui entraîne la sélection de nouveaux pathogènes, etc.

Ces combats sont enregistrés dans l'ADN. C'est notamment le cas des rétrovirus, tel le VIH, qui insèrent leur génome dans celui de l'hôte. L'ADN humain est parsemé de copies de ces courts génomes rétroviraux ; beaucoup de ces génomes proviennent de virus ayant entraîné des maladies il y a des millions d'années, mais qui ont disparu en tant que virus circulants.

Les séquences rétrovirales accumulent des mutations aléatoires, de sorte que les différentes copies sont similaires, mais pas identiques. En examinant les différences entre ces copies, on peut dater l'infection rétrovirale d'origine. Les « cicatrices » de ces anciennes infections sont aussi visibles dans les gènes du système immunitaire de l'hôte.

L'un de ces anciens virus est PTERV1. Chez l'homme moderne, une protéine nommée TRIM5A empêche PTERV1 et les rétrovirus apparentés de se répliquer. Certains éléments génétiques suggèrent qu'une épidémie de PTERV1 a atteint les chimpanzés, les gorilles et les hominidés vivant en Afrique il y a environ quatre millions d'années.

En 2007, pour comprendre comment différents primates ont réagi au PTERV1, des chercheurs ont utilisé les nombreuses copies de PTERV1 du génome du chimpanzé pour reconstituer la séquence originale de cet ancien rétrovirus. Ils ont ensuite cherché comment les versions du gène *TRIM5A* de l'homme et des grands singes pouvaient bloquer l'activité du virus reconstitué. Ainsi, une seule modification du gène *TRIM5A* humain aurait permis à nos ancêtres de lutter contre le virus PTERV1.

Mais cette victoire a un revers. Les changements du gène *TRIM5A* humain rendent la lutte contre le VIH plus difficile. Les biologistes tentent de comprendre pourquoi l'infection par le VIH engendre le SIDA chez l'homme, mais pas chez les autres primates. L'évolution peut ainsi faire un pas en avant et deux pas en arrière. La comparaison du génome humain avec celui des chimpanzés et d'autres singes révèle ces vagues hésitations dont nous sommes le résultat. ■

## articles

• **O. VENN et al.**, *Strong male bias drives germline mutation in chimpanzees*, in *Science*, vol. 344, pp. 1272-1275, 2014.

• **J. PRADO-MARTINEZ et al.**, *Great ape genetic diversity and population history*, in *Nature*, vol. 499, pp. 471-475, 2013.

• **E. LEFFLER et al.**, *Multiple instances of ancient balancing selection shared between humans and chimpanzees*, in *Science*, vol. 339, pp. 1578-1582, 2013.

• **A. SCALLY et al.**, *Insights into hominid evolution from the gorilla genome sequence*, in *Nature*, vol. 483, pp. 169-175, 2012.

# Un animal doué de raison ?

Des études récentes le révèlent : les singes peuvent faire des prévisions et trouver des solutions aux problèmes. Reste à savoir si leurs décisions sont rationnelles, c'est-à-dire fondées sur un raisonnement logique.

**Bernard THIERRY,**  
directeur de recherche  
CNRS, travaille à l'Institut  
pluridisciplinaire Hubert  
Curien et à l'Université  
de Strasbourg.

**P**ensée, esprit, raison, intelligence, états de conscience... Autant de mots pour désigner une réalité cognitive impalpable, autant de concepts différemment formulés qui soulèvent une question essentielle : les animaux ont-ils des capacités mentales semblables à celles de l'être humain ? Sans remonter à l'animal-machine de Descartes, le temps n'est pas loin où l'on soutenait encore qu'il n'existe pas de pensée sans langage. Mais la révolution cognitiviste est passée par là ; les travaux des dernières décennies indiquent que des animaux, et notamment les singes, ont des états mentaux, telles des pensées ou des croyances, et qu'ils construisent une représentation du monde.

Aujourd'hui, nous nous demandons si leurs décisions sont rationnelles : les singes sont-ils capables de résoudre des problèmes autrement que par approximations successives ? Peuvent-ils planifier un événement ou expliquer des effets par leurs causes ? Attribuent-ils des intentions à leurs congénères ? Si l'on se souvient qu'Aristote définissait l'homme comme « l'animal raisonnable », on constate que c'est la nature même de l'être humain qui est en jeu. Nous verrons au fil de divers résultats expérimentaux que certains primates non humains savent effectivement raisonner, anticiper leurs besoins futurs et comprendre les intentions d'autrui... dans une certaine mesure.

Un singe peut-il raisonner sur ce qu'il ne voit pas ? À Leipzig, l'Institut Max Planck d'anthropologie s'est associé au parc zoologique de la ville pour étudier les grands singes. C'est là, en 2004, sous l'œil du public, que Josep Call, chercheur en psychologie, travaille avec des chimpanzés et des gorilles. Il leur présente deux récipients opaques dont un seul contient une friandise, puis il secoue l'un d'eux. S'ils entendent du bruit, les grands singes choisissent ce récipient. Lorsque le récipient secoué ne produit aucun son, ils commettent plus d'erreurs, mais ils sélectionnent

en général l'autre récipient. Les grands singes font donc des déductions à partir d'un indice manquant ; c'est un « raisonnement inférentiel par exclusion ».

## Représentations et inférences

Chaque fois qu'un animal résout un problème, on doit déterminer s'il a réussi par une suite de tentatives et d'erreurs qu'il apprend à corriger ou bien s'il a raisonné, c'est-à-dire reconnu des catégories ou des propriétés et établi des relations entre ces abstractions. Dans le premier cas, il ne fait que discerner des associations entre objets ou événements et il guide sa conduite sur ces régularités, progressant petit à petit. Dans le second cas, il construit des représentations et réalise des inférences ; en d'autres termes, il admet une information parce qu'elle est liée à une autre préalablement tenue pour vraie. Pour le démontrer, les expérimentateurs obligent leurs sujets à faire appel à des éléments absents pour parvenir à la solution. Ainsi teste-t-on la capacité d'un animal à raisonner par exclusion, à deviner la position d'objets dissimulés ou encore à utiliser la règle de transitivité (si A implique B et B implique C, alors A implique C).

Allons plus loin. Les grands singes peuvent-ils tenir compte de circonstances absentes qui se réaliseront dans le futur ? Cette fois, en 2006, l'équipe de Josep Call travaille avec des orangs-outans. Les animaux ont d'abord appris à employer des outils afin d'obtenir une récompense, par exemple utiliser un crochet pour atteindre une bouteille de jus de fruit (*voir la figure page 46*). On donne au singe une série d'outils dont un crochet. Après cinq minutes, on le fait passer dans une salle d'attente et, une heure plus tard, il revient dans la salle de test ; cette fois, la bouteille est présente, mais les outils ont disparu. La prochaine fois, le singe n'a qu'une solution pour accéder au jus de fruit : prendre le bon outil avant d'entrer dans la salle d'attente et le rapporter dans la salle de test.

## L'ESSENTIEL

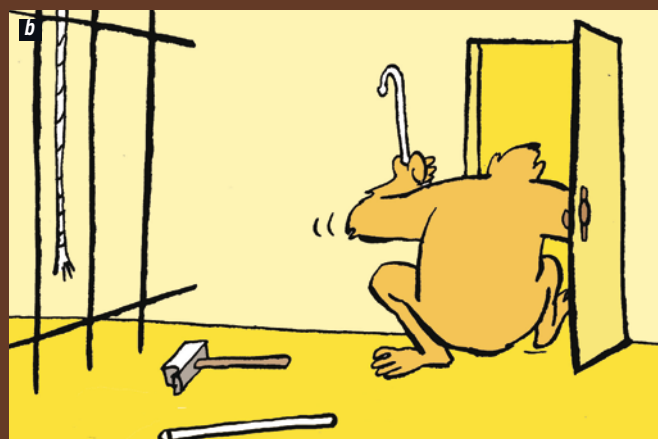
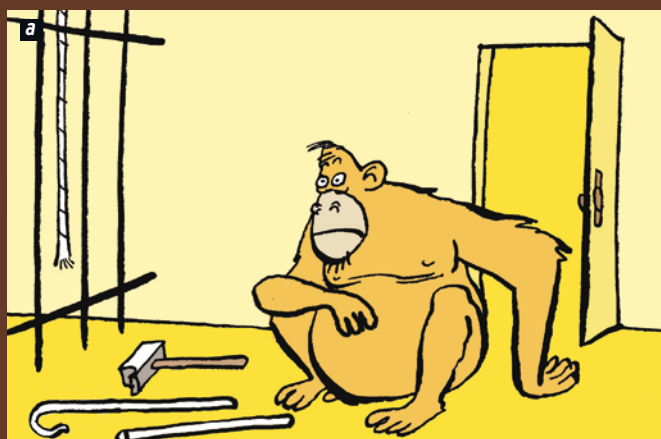
- Certains primates raisonnent, anticipent et comprennent les intentions d'autrui.
- Mais on ignore si les singes ne font que prédire ou s'ils expliquent.
- Pour expliquer les expériences, on doit se garder de tout anthropocentrisme et lui préférer l'évolutionnisme.
- De plus, l'intelligence dépend aussi de facteurs externes, tel le comportement des congénères.



LES CHIMPANZÉS reconnaissent des intentions à autrui. Sont-ils pour autant rationnels ?







UN ORANG-OUTAN, qui a repéré dans une première phase de l'expérience une bouteille de jus de fruit à attraper, sélectionne l'outil adapté. Il doit choisir le crochet, même si la bouteille est absente de la salle de test (a). Il l'emporte (b), puis le rapporte dans la salle de test (c), où les outils ont disparu, mais où l'on a remis la bouteille. Il attire la bouteille à lui (d).

Afin de réussir un tel exercice, l'animal doit organiser ses actes en fonction de ses besoins futurs. L'expérience montre que tous les orangs-outans apprennent à emporter le bon outil. Quand le délai d'attente dépasse une nuit, certains individus réussissent encore, ce qui suggère qu'ils sont capables de se projeter de la veille au lendemain. Or on croyait que seul l'être humain pouvait voyager mentalement dans le temps...

### Envisager l'avenir

Si des grands singes raisonnent et prévoient, c'est donc qu'ils saisissent l'enchaînement d'événements qui se succèdent. Sont-ils en mesure de les expliquer par des relations de cause à effet ? Pour répondre, l'équipe de Marc Hauser, de l'Université Harvard, a travaillé avec des groupes de macaques rhésus élevés en liberté à Cayo Santiago, un îlot des Caraïbes. En 2006, ils ont testé la compréhension des singes du rôle causal joué par un outil tel un couteau. On présente au sujet une pomme qu'on cache derrière un écran. On soulève ensuite l'écran pour faire apparaître deux moitiés de pomme. Enfin, on prend un couteau placé derrière l'écran et le montre au singe. Une telle succession d'objets correspond à une transformation possible : il est dans l'ordre des choses qu'une pomme se divise en deux sous l'action d'un couteau. L'expérimentateur propose ensuite des transformations impossibles, par exemple en remplaçant le couteau par un verre. La comparaison des durées d'observation montre que les singes regardent plus longtemps les objets associés à une transformation impossible. Ce serait, selon Marc Hauser, une réaction rationnelle due au désaccord entre ce que les singes attendent et ce qu'ils découvrent.

Cette expérience est une réplique des tests que David Premack, à l'Université de Pennsylvanie, avait déjà fait passer avec succès à un chimpanzé en 1976. L'intérêt des performances du macaque rhésus réside dans le fait que cette espèce, qui n'est pas un grand

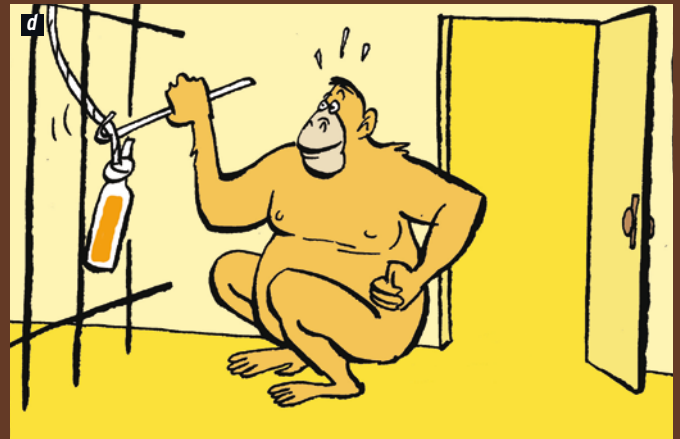
singe, n'utilise pas spontanément d'outils, contrairement aux chimpanzés. Les macaques de Cayo Santiago ont pu voir des êtres humains employer un couteau, mais aucun d'eux ne s'est jamais servi d'un couteau ou de tout autre outil. S'ils reconnaissent qu'un couteau représente un agent capable de transformer une pomme en deux moitiés, quel est leur degré de compréhension du lien de causalité ?

Il y a près de trois siècles que le philosophe écossais David Hume nous a appris qu'il est vain de rechercher une quelconque preuve de causalité dans l'Univers. Nos perceptions ne nous renseignent que sur des conjonctions d'événements. Invoquer une cause, c'est faire une inférence ; on forme alors une hypothèse – vraie ou fausse – sur le mécanisme susceptible de relier les événements. La compréhension causale accroît le pouvoir d'agir sur le réel. Parmi les innombrables combinaisons possibles, on peut ainsi détecter des relations même entre des événements éloignés dans le temps et l'espace. Il s'agit là de la version forte de la compréhension causale.

Quand un macaque rhésus identifie un couteau comme agent de transformation d'une pomme, il a les moyens de prévoir le devenir de la pomme sans avoir nécessairement perçu l'action de couper. Mais s'il ne fait pas d'hypothèse sur le mécanisme, il en reste à une version faible de la compréhension causale. Les primates non humains ne font-ils que prédire ou peuvent-ils aussi expliquer ? La réponse reste controversée.

Pour Josep Call et Marc Hauser, comprendre la source d'un bruit ou les effets d'un couteau traduit une connaissance causale. À l'Université de Louisiane, Daniel Povinelli arrive à une conclusion opposée après des expériences qu'il a menées en 2000 sur les notions de physique qu'ont les chimpanzés. Ces derniers échouent quand on leur demande de résoudre des problèmes qui demandent de reconnaître des propriétés physiques telles la pesanteur, la solidité ou la transmission de forces. Par exemple, ils





ne distinguent pas un objet, tel un râteau, dont les parties sont assemblées et qui est donc fonctionnel, d'un objet dont les constituants sont seulement juxtaposés – et qui est inutilisable (voir l'encadré page 48).

### Le non-observé et l'inobservable

Les travaux de Daniel Povinelli invitent à distinguer ce qui est non observé – telle la bouteille – de ce qui est inobservable – telle la notion de fixation ; qu'un singe raisonne à propos d'éléments du réel momentanément absents ne signifie pas qu'il puisse concevoir les forces et autres entités théoriques intervenant dans les explications causales. Imaginer un mécanisme exige davantage que de se représenter une chose qui n'est pas là.

On rencontre des difficultés semblables lorsqu'on tente de savoir si les primates attribuent à autrui des intentions, des désirs ou des croyances. C'est l'interrogation de David Premack : des animaux ont-ils une « théorie de l'esprit » ? Peuvent-ils prédire ou expliquer le comportement d'autrui parce qu'ils lui prêtent des pensées ?

Beaucoup de singes ont les facultés nécessaires pour anticiper les comportements de leurs congénères, mais ils sont tenus en échec dans des tâches où ils doivent attribuer des états mentaux à autrui. Par exemple, ils ne distinguent pas un individu qui sait où se trouve une récompense d'un autre qui l'ignore, ils n'arrivent pas à coopérer dans une tâche qui exige de saisir les objectifs de leurs compagnons. Leurs décisions sont fondées sur ce que font leurs partenaires et non sur ce qu'ils pensent. Des macaques ou des singes capucins ne peuvent pas agir sur ce que pense autrui.

Il en serait autrement chez les grands singes. En 2004, à Leipzig, l'équipe de Michael Tomasello et de Josep Call a testé la capacité des chimpanzés

Beaucoup de singes anticipent  
les comportements  
de leurs congénères,  
mais ils échouent à attribuer  
des états mentaux à autrui.

à reconnaître l'intentionnalité d'une action : on compare la réaction des primates face à un être humain qui va leur donner un fruit et qui finalement n'en fait rien, soit parce qu'il ne le peut pas, soit parce qu'il ne le veut pas. Quand un expérimentateur laisse tomber un fruit « par accident », le chimpanzé se contente de regarder attentivement (le singe, calme, « comprend » que l'acte n'était pas intentionnel). En revanche, quand l'expérimentateur reprend le fruit (acte délibéré), le singe montre des signes d'impatience en donnant un grand coup dans la cloison et quitte la salle de test.

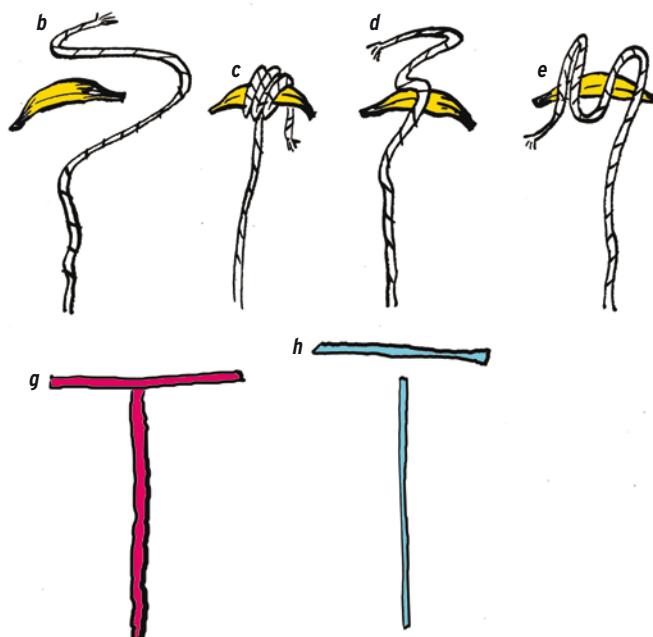
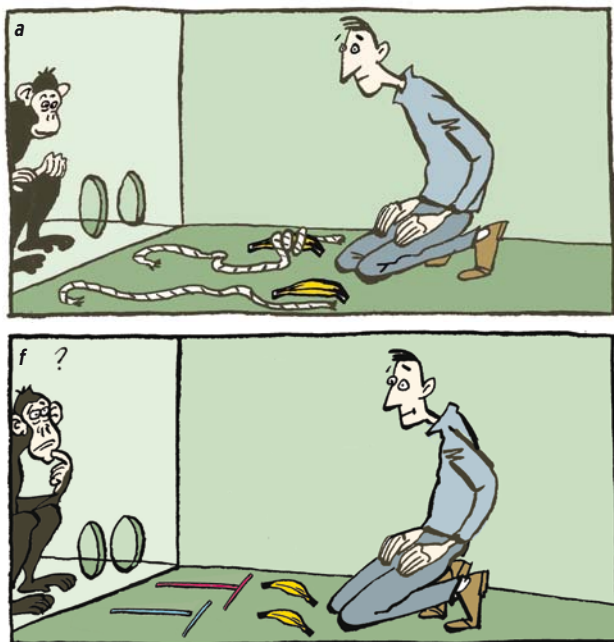
Lors d'une autre expérience menée en 2001, un chimpanzé dominant et un congénère subordonné sont chacun de part et d'autre d'une salle vide où sont disposés des obstacles. Les deux singes peuvent observer à travers une porte entrouverte un expérimentateur placer un fruit derrière un obstacle qui le cache à la vue du dominant. Lorsqu'on libère le chimpanzé subordonné dans la salle, il ne va pas chercher la nourriture : il

sait qu'il serait puni par son compagnon dès leur prochaine rencontre. À l'inverse, quand le dominant n'a pas vu où était caché le fruit, alors le subordonné s'empresse de s'en saisir pour le consommer derrière l'obstacle. Un chimpanzé reconnaît donc ce qu'un autre peut vouloir ou savoir.

Désirs et croyances ont un rôle causal sur les comportements. Rappelons-nous toutefois qu'il s'agit d'entités inobservables, à l'instar des forces physiques. Des chimpanzés sont capables de coopérer pour déplacer un lourd objet, mais on ne les voit jamais communiquer à propos de leurs motivations dans cette situation. Pour rendre compte des performances des chimpanzés et de leurs limites, nous devons dépasser l'alternative simple qui leur prête soit une

## LES SINGES ET LES LOIS DE LA PHYSIQUE

Un chimpanzé ne comprend pas les lois de la physique. Un singe doit attraper une banane (a) située à proximité d'une corde (b), attachée à la corde (c) ou au contact de celle-ci (d et e). Les chimpanzés distinguent les cas où la banane touche la corde (c, d et e) de celui où elle en est éloignée (b), mais ils ne font pas la différence entre les cas où la corde est juste au contact de la banane (d et e)



et celui où elle est attachée au fruit (c). Autre test (f) : les chimpanzés doivent reconnaître un râteau fonctionnel (g) d'un autre dont la base n'est pas fixée au manche (h). Bien qu'on ait au préalable montré aux singes que le premier râteau constitue un seul objet, tandis que le second n'est pas monté, les sujets ne montrent aucune préférence pour l'un ou l'autre. Ils n'ont pas la notion de « fixation ».

vision du monde exclusivement fondée sur les actes, soit une théorie de l'esprit semblable à la nôtre.

Les grands singes pourraient attribuer un état intentionnel à autrui sans pour autant posséder notre faculté à comprendre de multiples dimensions psychologiques. S'ils ne peuvent distinguer clairement entre des états tels que penser, croire ou vouloir, ils ne peuvent pas considérer l'emboîtement de différentes intentions dans une même action. Alors qu'un enfant commence dès sa deuxième année à pointer du doigt et à attirer l'attention de ceux qui l'entourent, les grands singes ne semblent pas partager leurs intentions ; ils ne se montrent jamais du doigt.

### Montrer du doigt

Michael Tomasello souligne que des chimpanzés élevés dans un environnement humain peuvent apprendre à pointer ou à nommer un objet à l'aide d'un symbole équivalent à un mot, mais ils s'en servent sur un mode impératif, pour obtenir ce qu'ils désignent. On ne trouve pas chez eux l'intention d'informer, nécessaire à la pratique du langage humain.

Expliquer l'observable par l'inobservable serait donc une spécificité humaine ; c'est aussi le terrain de jeu favori des scientifiques. Dans notre quête des raisons qui animent d'autres primates, nous devons nous assurer que les intentions que nous projetons sur leur réalité ne sont pas seulement

les fantômes de notre imagination. Après l'expérience de Marc Hauser, par exemple, des études supplémentaires restent nécessaires pour vérifier que les macaques regardent le verre plus que le couteau parce qu'ils considèrent – comme nous – qu'il ne peut pas diviser la pomme.

Cependant, multiplier les situations expérimentales ne suffit pas pour évaluer la rationalité des primates. Depuis Hume, on définit la rationalité comme l'aptitude à choisir les moyens corrects en vue d'une fin, ce qui présume que le sujet reconnaisse ses erreurs. Nous étudions la logique des animaux en les testant dans des situations dont ils doivent tirer le meilleur avantage. Mais appliquent-ils les règles d'inférence ? Détectent-ils les contradictions ? Révisent-ils leurs croyances ? Pour interpréter leurs réactions, nous n'avons pas d'autre solution que de présupposer la rationalité de leurs décisions : nous leur prêtons des intentions, par où se réintroduisent subrepticement les fantômes de notre propre raison. L'approche anthropocentrique est riche d'enseignements, mais elle considère la rationalité des animaux comme une version incomplète de la nôtre.

Pour échapper à l'anthropocentrisme, une autre voie est possible, celle de l'évolutionnisme. Les comportements sont le résultat de l'histoire des espèces, ils participent à la survie et à la reproduction des individus. La perspective darwinienne met en



avant l'utilité des comportements, de même que l'économie se fonde sur l'optimisation du profit. Et là où l'approche anthropocentrique s'intéresse aux mécanismes invisibles des décisions, l'approche évolutionniste se concentre sur leurs résultats observables. On juge de la rationalité des animaux à leur aptitude à choisir les solutions qui assurent, au bout du compte, le plus grand nombre de descendants.

Les singes dépendent de ressources alimentaires dont la distribution dans l'espace et dans le temps est difficilement prévisible. Lorsqu'un arbre se couvre de fruits, il représente pendant une courte période un îlot d'abondance dans un océan végétal, bientôt remplacé par d'autres qui apparaissent et disparaissent, les uns au rythme des saisons, les autres de façon non synchronisée. Dans un habitat où la nourriture se concentre selon un mode aussi irrégulier, les déplacements au hasard ne sont pas la meilleure tactique pour se nourrir. Pourtant, nos explications ont longtemps reposé sur des modèles de recherche aléatoire qui supposaient que les singes se rendent sur les sites d'alimentation les plus proches. Aujourd'hui, nous envisageons des stratégies d'exploration plus élaborées.

Les singes s'orientent probablement en mémorisant un réseau fait de pistes, d'intersections et de points de repère; ils naviguent dans leur domaine en passant d'un segment de route à un autre. Les écologistes Elena Cunningham et Charles Janson, de l'Université de New York, énoncent quelques-unes des nombreuses questions que les primates sont susceptibles de considérer. Doivent-ils voyager jusqu'à un site abondant, mais éloigné, ou se rendre sur une parcelle plus réduite, mais proche? Vaut-il la peine de faire un détour par une petite parcelle lorsqu'ils se dirigent vers une ressource importante? Quel chemin prendre pour éviter un groupe concurrent? Doivent-ils suivre leurs compagnons, tenter de les entraîner vers le site qu'ils préfèrent ou prospecter de façon indépendante? S'ils se séparent des autres, comment les retrouver? Depuis leur dernier passage à cet endroit, les fruits auront-ils suffisamment mûri pour mériter une nouvelle visite?

Des êtres capables de répondre à de telles questions augmenteraient le rendement de leurs déplacements. Dès 1991, Charles Menzel, de l'Institut de zoologie de Zurich, avait montré que les macaques du Japon intègrent le mûrissement simultané des fruits d'une même variété dans leur recherche alimentaire.

Certains soutiennent que la sélection naturelle conduit nécessairement à des opérations correctes. Pourtant, la raison évolutionniste ne fait pas toujours bon ménage avec la logique. Le philosophe Stephen Stich, de l'Université Rutgers, remarque qu'il peut sembler irrationnel que des animaux s'enfuient à la moindre alerte alors qu'aucun prédateur n'est

présent... mais il vaut mieux croire de façon erronée à un danger que faire l'erreur contraire et s'apercevoir trop tard que le prédateur est là. Une même aversion au risque nous fait commettre de semblables délits

d'irrationalité! En sciences économiques, il est établi qu'on a tendance à demander un prix plus élevé pour céder un bien que l'on possède, comparé à celui qu'on est prêt à payer pour acquérir le même bien. Ce qui apparaît comme un calcul incohérent devient légitime dans une perspective évolutionniste où éviter les risques est une priorité.

Réduire la rationalité à l'adaptation pose d'autres problèmes. En supposant que la sélection naturelle favorise la meilleure solution, nous jugeons si une décision est bonne ou mauvaise, mais au prix du retour des fantômes de notre raison qui prennent cette fois la forme de stratégies optimales – nous nous mettons à la place de l'animal. L'optimisation est un idéal qui dépend des connaissances du milieu accessibles à l'individu; plutôt que de poursuivre des stratégies optimales, les singes s'accommodent souvent de stratégies suffisantes pour leur survie.

## Irrationnelle dame Nature

La démarche évolutionniste, comme la démarche anthropocentrique, nous conduit donc à la notion de rationalité limitée. Une décision n'est rationnelle qu'en référence à des conditions données, en dehors desquelles elle perd son sens. Le lieu de décision représente un facteur d'incertitude supplémentaire. En dépit de la logique cartésienne qui sépare le mental invisible du matériel visible, l'intelligence ne se réduit pas à une fonction enfermée dans le cerveau; les comportements résultent des interactions des individus avec leur environnement. Nous l'avons montré en 2004 chez des macaques de Tonkean, originaires d'Indonésie, et élevés en semi-liberté au Centre de primatologie de Strasbourg.

Dans des tests où ils doivent localiser des sites d'alimentation, les macaques se décident en fonction du comportement de leurs compagnons. Les choix sont rarement le fait d'un seul singe dans les groupes. Chacun s'exprime par sa position, ses regards ou la direction de ses mouvements. En dépit des savoirs et des besoins parfois divergents des protagonistes, un groupe arrive à des décisions qui sont le résultat combiné de processus cognitifs et sociaux. Les relations entre partenaires jouent un rôle aussi important que leur mémoire ou leur motivation. C'est un modèle d'intelligence distribuée.

Notre compréhension de la raison des primates a accompli de réelles avancées ces dernières années. Ce n'est que le début d'une lente progression à travers les lianes enchevêtrées de leurs actes et de leurs intentions, dans une jungle hantée qui nous réserve encore de nombreuses surprises.

## Les singes s'accommodent de stratégies qui suffisent à leur survie plutôt que de poursuivre les optimales.

### livres

- S. HURLEY et M. NUDDS, *Rational animals ?*, Oxford University Press, 2007.
- E. WASSERMAN et T. ZENTALL, *Comparative cognition*, Oxford University Press, 2006.

### articles

- A. BULLINGER et al., *Chimpanzees (Pan troglodytes) instrumentally help but do not communicate in a mutualistic cooperative task*, in *J. Comp. Psychol.*, vol. 128, pp. 251-260, 2014.
- BOURJADE et al., *Are monkeys able to plan for future exchange ?*, in *Animal Cognition*, vol. 15, pp. 783-795, 2012.
- E. MACLEAN et al., *How does cognition evolve ? Phylogenetic comparative psychology*, in *Animal Cognition*, vol. 15, pp. 223-238, 2012.

# Les chimpanzés : des grands singes pétris de culture

Les éthologues ont longtemps été réticents à attribuer une culture aux singes. Pourtant, depuis les années 1960, les études s'accumulent pour montrer que les chimpanzés notamment ont bien une culture : ce « propre de l'homme » n'en est plus un.

Christophe BOESCH  
est directeur du Département  
de primatologie de l'Institut  
Max-Planck d'anthropologie  
évolutionniste, à Leipzig,  
en Allemagne.

*« Il y a deux éducations qui me paraissent devoir être distinguées, parce que leurs produits sont fort différents : l'éducation de l'individu qui est commune à l'homme et les animaux, et l'éducation de l'espèce qui n'appartient qu'à l'homme. »*

Buffon, *Histoire naturelle des quadrupèdes*, 1762.

*« Il n'y a rien de barbare et de sauvage en cette nation, à ce qu'on m'en a rapporté, sinon que chacun appelle barbarie ce qui n'est pas de son usage ; comme de vrai, il semble que nous n'avons d'autre mire de la vérité et de la raison que l'exemple et idée des opinions et usages du pays où nous sommes. Là est toujours la parfaite religion, la parfaite police, le parfait et accompli usage de toutes choses. »*

Montaigne, *Des Cannibales*, *Essais*, 1595.

La culture a toujours été un domaine réservé aux humains, contribuant pour beaucoup au succès incroyable de notre espèce dans la conquête de la planète. De fait, cette culture qui serait l'exclusivité de notre espèce sert souvent à nous distinguer du règne animal. Les différences d'opinion exprimées par Buffon et Montaigne en

préambule sont typiques du débat qui, depuis des millénaires, clive les philosophes, les scientifiques et même les religieux.

D'un côté, ceux qui, tel Buffon, prônent une approche, aujourd'hui étiquetée comme cartésienne, placent l'homme seul à distance du reste du règne animal et qui s'en diffère qualitativement par ses facultés intellectuelles. De l'autre, ceux qui, à l'exemple de Montaigne, préfèrent une approche plus continue, dite aujourd'hui évolutive. Selon eux, l'homme appartient au règne animal et aurait donc hérité, par descendance, de beaucoup de ses facultés intellectuelles, que nous partagerions avec nos proches parents biologiques, les singes et plus particulièrement les grands singes.

## Être juge et partie ?

La théorie de l'évolution darwinienne est bien acceptée de nos jours en ce qui concerne les aspects liés à notre constitution morphologique et à nos capacités physiques et physiologiques. En revanche, les opinions sont beaucoup plus partagées quand on en vient à nos facultés intellectuelles. Beaucoup ont vu dans ces réticences une influence de la





**PÊCHER LES TERMITES**  
avec une baguette, comme  
le fait ce chimpanzé, relève  
bien d'une culture, car ce  
comportement est transmis  
par apprentissage.

© DALLIC/Corbis

culture judéo-chrétienne qui reste importante dans le monde occidental dès qu'il est question des différences entre humains et animaux.

Toutefois, je crois que l'on doit ajouter une difficulté particulière pour les humains à être « juges et partie ». Placés dans une telle situation, l'impartialité n'est plus qu'un rêve lointain ! Le philosophe Bertrand Russell résumait cet état de fait en 1918 dans *Proposed Roads to Freedom* : « Si on propose à un homme un fait qui va à l'encontre de ses instincts, il va le scruter de très près et, sauf si les preuves sont accablantes, il refusera d'y croire. Si, en revanche, on lui présente quelque chose qui va dans le sens de ses instincts, il l'acceptera avec même le minimum de preuve. L'origine des mythes s'explique de cette façon. »

En cela, Desmond Morris le rejoint quand il dit, dans *Le Singe Nu* : « L'histoire de notre parcours évolutif vers le haut est une histoire de nouveau riche, et comme tout nouveau riche, nous sommes très susceptibles quant à nos origines. » En d'autres mots, de nombreux scientifiques sont prisonniers d'une logique comparative égoïste plaçant l'homme à part et reniant notre parenté en survalorisant des

études au départ défavorables aux autres espèces animales. Le principe central à toute justice, qui exige des juges impartiaux, est systématiquement violé quand l'homme juge les animaux.

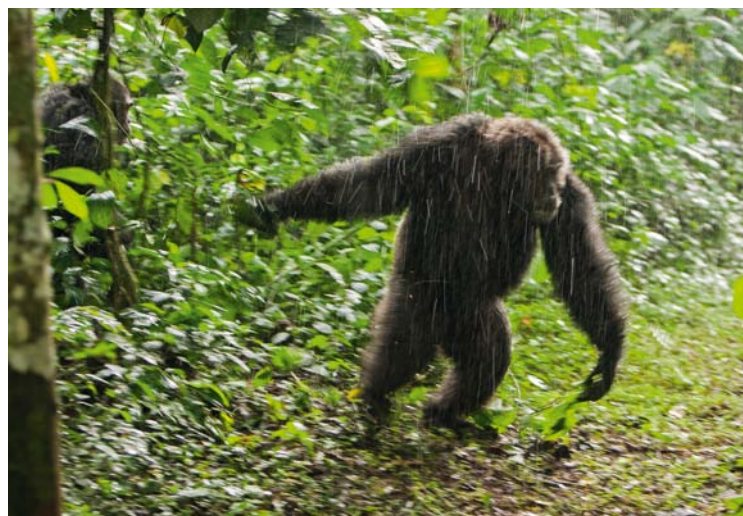
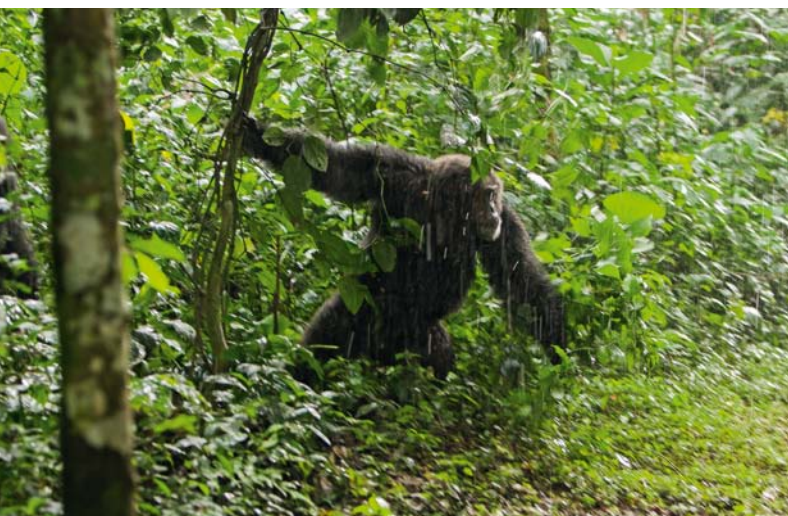
La conséquence de cette attitude cartésienne n'est pas d'interdire les travaux scientifiques, mais plus d'empêcher une réponse à la question du « propre de l'homme » fondée sur l'explosion de nouvelles connaissances en éthologie depuis l'émergence des études d'animaux sauvages dans leur milieu naturel dans les années 1960. En fin de compte, beaucoup des réponses données aujourd'hui ne sont que le reflet de nos *a priori* sur nous-mêmes. Elles ne s'appuient pas sur une approche comparative avec nos plus proches parents, qui est pourtant la seule méthode à même de mettre en évidence les similitudes et les différences existant entre l'homme et ses plus proches parents animaux.

Nous nous intéresserons ici à la culture chez les singes, afin de comprendre comment les progrès qui nous permettraient de révéler la spécificité de la « culture humaine » ont été bloqués ou retardés par les cartésiens qui ont oublié certains

## L'ESSENTIEL

- L'être humain n'a pas l'exclusivité des comportements culturels.
- Des *a priori* et des préjugés ont néanmoins interdit de les reconnaître chez les singes.
- En se débarrassant de ces barrières, on peut constater que la culture existe aussi chez les singes, tels les macaques et les chimpanzés.
- Mieux, chez ces derniers, on a découvert des processus d'accumulation culturelle et les prémices d'une culture symbolique.





des fondements élémentaires d'une approche scientifique bien comprise.

Le mur de la culture a été ouvert en premier par Imo, une jeune femelle juvénile d'un groupe de macaques du Japon de l'île de Koshima. Elle appartenait à une troupe qui était régulièrement approvisionnée en patates douces par des humains. Ces patates qui étaient étalées sur le sable de la plage étaient une délicatesse pour eux, mais à cause de l'humidité du matin, du sable les recouvraient. Pour faciliter leur consommation, Imo eu l'idée de transporter les patates dans l'eau de la mer et de les laver afin de les manger sans avoir à en retirer fastidieusement le sable à la main.

Les scientifiques japonais décrivent comment alors les camarades de jeux d'Imo furent les premiers à copier ce comportement nouveau pour manger les patates. Une fois ce comportement introduit dans les lignées maternelles, qui représentent l'unité sociale de base de la société des macaques, les jeunes frères et sœurs ont imité leur aînée. Dans un troisième temps seulement, les mères dominantes de ces matrilignages ont acquis ce comportement, alors que les mâles adultes présents à ce moment sont restés imperméables à cette innovation.

Pour les éthologues japonais, ces observations représentaient une belle démonstration d'une propagation culturelle à l'intérieur d'un groupe de singes. Cependant, pour leurs confrères occidentaux, la conclusion fut critiquée à partir de deux arguments. D'abord, la propagation aurait été trop lente pour une propagation culturelle. Ensuite, le comportement nouveau avait été introduit par les humains et n'était donc pas une innovation des macaques.

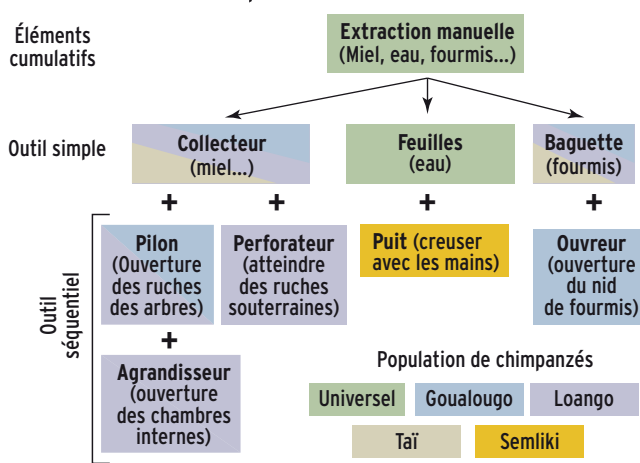
### Une situation de luxe

Comme souvent en science, des observations supplémentaires avec d'autres espèces de singes ont montré que la culture chez les macaques n'avait rien d'exceptionnelle et que la vraie question était plutôt de comprendre quels aspects du phénomène culturel sont plus particuliers aux humains. Parmi ces autres espèces de singes, on trouve les chimpanzés.

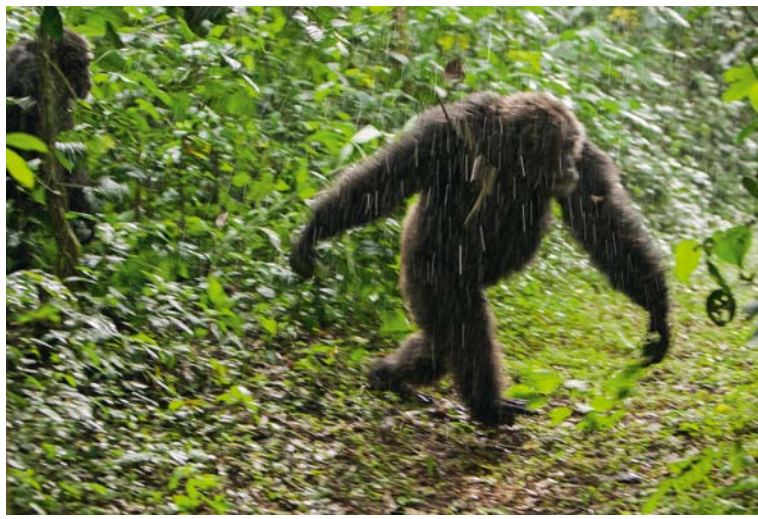
La proche parenté entre les chimpanzés et l'être humain explique que nous nous trouvons avec cette espèce dans une situation de luxe, car plusieurs équipes suivent en parallèle neuf populations différentes, aussi bien en Afrique de l'Ouest, que centrale et de l'Est. Cette configuration exceptionnelle permet de mettre les observations en

## La culture cumulative chez les chimpanzés

Dans le cas de l'extraction de nourriture (insectes, miel, eau...), que ce soit dans les arbres ou dans le sol, une technique est observée dans toutes les populations de chimpanzés connues : ce comportement universel (*en vert*) consiste à sortir la nourriture directement avec la main. Cette technique est améliorée par accumulation progressive, c'est-à-dire par étapes. D'abord, un premier outil est utilisé : un collecteur de miel ou une baguette chez les chimpanzés des populations de Taï (*en gris*), de Loango (*en violet*) et de Goualougo (*en bleu*). Ensuite, un deuxième outil est ajouté, tel qu'un pilon cassant l'entrée de la ruche à Goualougo et à Loango, un perforateur du sol à Loango ou ouvreur à Goualougo. Parfois, un troisième outil est observé, par exemple un agrandisseur de chambre à miel dans la ruche chez les chimpanzés de Loango. De même, les chimpanzés de Semliki (*en orange*) creusent un puits pour mieux récupérer l'eau avec des feuilles, un comportement, lui, universel. Un processus similaire d'accumulation a été proposé pour aboutir au cassage de noix avec un bâton utilisé au départ comme arme.







commun et de constater la très grande variabilité des comportements au sein de ces populations.

Cette diversité s'explique facilement quand il s'agit pour les chimpanzés de s'adapter à des habitats différents, allant de la forêt tropicale humide aux savanes boisées. En revanche, les observateurs furent surpris de constater que plusieurs de ces comportements ne pouvaient être associés à des caractéristiques de l'environnement : ces comportements ne pouvaient être que culturels, c'est-à-dire que les chimpanzés les avaient appris en copiant les membres de leur groupe.

Un des exemples classiques de ces comportements culturels est la pêche aux fourmis magnans par les chimpanzés. Ces fourmis magnans sont abondantes dans toutes les forêts tropicales africaines et vivent en grandes colonies de plus de un million d'individus, dans des nids souterrains. Pour éviter les morsures douloureuses des soldats qui protègent l'entrée des nids, les chimpanzés utilisent des baguettes pour « pêcher » ces soldats qui montent sur la brindille. C'est ensuite que les gestes diffèrent. Les chimpanzés de la région de Taï, en Côte d'Ivoire, prennent les fourmis directement dans la bouche, alors que les chimpanzés de Gombe, en Tanzanie, les prélèvent d'abord avec leur main libre.

Quant à eux, les chimpanzés de Goulougo, au Nord du Congo, utilisent une deuxième baguette pour, d'abord désorganiser les soldats magnans, avant d'utiliser avec l'autre baguette une technique proche des chimpanzés de Gombe. Enfin, les chimpanzés de Bossou, en Guinée, utilisent des baguettes de tailles distinctes selon qu'ils pêchent les magnans directement dans le nid ou sur des colonnes de fourmis parties en exploration. Toutes ces techniques sont exécutées par des chimpanzés sur des mêmes fourmis qui construisent un nid de structure très similaire. Ces diverses techniques sont un bel exemple de différence culturelle où l'apprentissage social domine.

Nous pourrions multiplier de tels exemples qui tous montrent cette grande flexibilité du comportement des chimpanzés indépendamment des conditions écologiques. Le plus récent dénombrement

**LA DANSE DE LA PLUIE** est un comportement culturel, c'est-à-dire qu'on ne l'observe que dans certaines populations. On ignore sa signification.

comptabilise 41 différences culturelles matérielles et 43 différences culturelles sociales établies à partir de l'étude de dix groupes de chimpanzés. On peut citer le cassage de noix avec des pierres, l'extraction de la moelle des os des proies, l'utilisation de feuilles pour chasser les mouches, la danse sous la pluie, la poignée de main au-dessus de la tête pendant la toilette, le pansage de plaies avec des feuilles parfois mâchées...

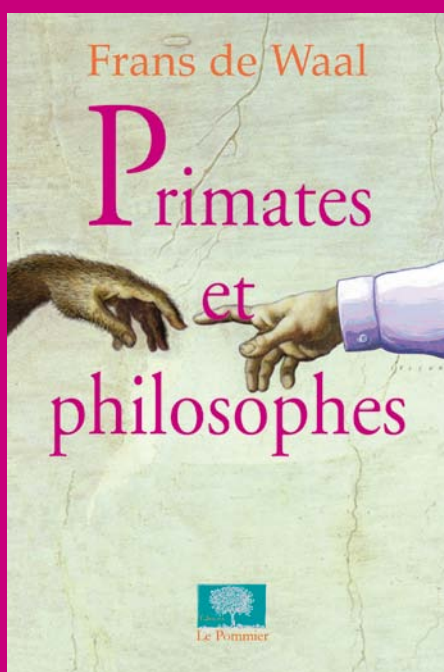
## Cumul et symboles

En conséquence, aujourd'hui, la discussion n'est plus d'attribuer ou non une culture aux chimpanzés, mais de comprendre plus précisément quelles sont les capacités culturelles des chimpanzés et en quoi elles se distinguent des facultés culturelles de l'homme. Récemment, deux aspects particuliers ont été proposés comme restant uniques à l'homme : la culture cumulative et la culture symbolique. Voyons ce qu'il en est.

L'être humain serait le seul à accumuler progressivement des innovations pour améliorer une même technique. Ce processus aurait abouti aux importantes innovations culturelles qui nous entourent, tels les maisons, les voitures, les ordinateurs... Cette faculté unique de l'homme serait fondée sur nos compétences spéciales en termes d'imitation, d'enseignement, de conformité et de normes sociales.

Et pourtant, plusieurs chaînes d'accumulation de techniques ont été observées chez les chimpanzés. Ces primates suivraient parfaitement un schéma d'accumulation culturelle, où une technique relativement simple est progressivement compliquée par l'accumulation d'éléments qui en augmentent l'efficacité et la spécialisation. C'est, par exemple, le cas de l'extraction de la nourriture dans des trous de différentes natures, comme des trous dans les troncs d'arbres ou dans le sous-sol, chez les chimpanzés de différentes populations en Afrique (*voir l'encadré page ci-contre*).

En accord avec un processus d'accumulation, les formes les plus simples d'extraction ont une répartition spatiale beaucoup plus large que les formes spécialisées. De plus, les différentes formes sont toujours utilisées, démontrant qu'elles ne



260 pages - 24 euros

**Un livre stimulant sur les fondements biologiques d'une des caractéristiques humaines les plus estimées : la moralité.**

S'appuyant à la fois sur Darwin et sur certaines découvertes récentes, de Waal démontre qu'il existe une forte continuité entre les comportements animaux et humains.

Une réflexion qui va bien au-delà de l'opposition simpliste entre nature et culture et qui voit l'alliance novatrice de la philosophie et de la biologie au service de l'éthique.



Retrouvez toutes nos nouveautés sur  
[www.editions-lepommier.fr](http://www.editions-lepommier.fr)

peuvent pas être le produit de l'innovation d'un seul individu. C'est bien un processus social d'accumulation progressive.

L'autre aspect proposé pour distinguer la culture humaine de celle des chimpanzés est l'importance de la culture symbolique à travers les langues, les mythes, les croyances, l'art... Le langage parlé étant effectivement absent chez les animaux, cette forme de culture leur a été déniée fréquemment. Toutefois, une approche ethnographique de différentes populations a révélé d'intrigantes homologues qui suggèrent un début de culture symbolique chez les chimpanzés.

Ainsi, les chimpanzés de trois populations distinctes produisent du son en déchirant des feuilles dans trois contextes différents, le bruit ayant à chaque fois une signification particulière. À Mahale, en Tanzanie, les mâles l'utilisent pour attirer des femelles. À Bossou, le déchirement d'une feuille est une invitation à jouer. Enfin, à Taï, les mâles annoncent de la sorte une parade. Une même action sur une feuille, émettant un son, a donc trois significations différentes. Qui plus est, les femelles de Taï répondent à un frappement du doigt d'un mâle contre un tronc d'arbre en se présentant à lui. Ici deux actions différentes peuvent avoir une même signification.

Une approche intégrative tenant compte des nouvelles observations obtenues auprès de plusieurs populations de chimpanzés a mis en évidence une complexité de la culture chez cette espèce qui n'était pas soupçonnée il y a seulement encore quelques années. Ce n'est sans doute qu'un début, car toute nouvelle population de chimpanzés étudiée nous surprend en montrant des comportements inconnus, révélant ainsi de nouvelles facettes des capacités des chimpanzés.

Ces nouvelles découvertes que l'on doit à notre approche ethnographique des populations de chimpanzés montrent une espèce aux comportements très variés et capable d'adaptation culturelle à des milieux divers. Elles nous obligent à réévaluer nos approches souvent simplistes des animaux. Toutefois, des résistances persistent et alimentent un débat animé sur la réalité d'une culture animale.

La formule de René Descartes : « Les animaux sont comme des machines », suggère que les animaux se développent entièrement selon un plan rigide, aujourd'hui on dirait génétique, indépendamment des conditions de vie et des expériences vécues. À l'inverse, l'homme serait « une feuille blanche » qui est façonnée par les expériences de la vie.

Du temps de Descartes, dans la première moitié du XVII<sup>e</sup> siècle, les scientifiques devaient souvent se contenter d'informations incomplètes sur ce que sont réellement les animaux. D'une certaine façon, ils ont dû être frustrés de devoir spéculer



sur ce que sont les animaux et échanger des arguments sans pouvoir se référer à des observations directes. Cette situation a encore prévalu pour des philosophes plus récents, tel Karl Engels, qui disait en 1934, dans *La dialectique de la Nature* : « Le plus que peut faire l'animal est de récolter, alors que l'homme produit, prépare les moyens de la vie... force l'environnement à servir ces buts ».

Tous seraient sans doute ravis d'avoir accès aux informations qui ont été accumulées depuis les années 1960 sur les animaux sauvages, et plus spécialement sur les grands singes. Cette moisson répond à beaucoup des interrogations qu'ils avaient à l'époque et leur aurait permis d'avancer dans leur quête du « propre de l'homme. »

Étonnamment, beaucoup de spécialistes des sciences comportementales et cognitives montrent un intérêt limité pour ces contributions nouvelles. Où est passé cette curiosité pour la Nature ? Ce plaisir de voir de nouvelles données mettre à mal nos hypothèses les plus chères ? Les grands singes, et surtout le chimpanzé, étaient inconnus du temps d'Aristote ou de Descartes, et il paraît singulier que la découverte de leurs comportements culturels soit ignorée par certains des plus grands scientifiques.

### Des expériences contrôlées ?

La plus grande découverte de ces 50 dernières années sur le chimpanzé, notre plus proche parent vivant, concerne son incroyable diversité comportementale et sociale. Chaque population de chimpanzés étudiée apporte son lot de surprises en termes de techniques d'utilisation et de fabrication d'outils, d'organisation sociale et de position sociale des femelles, de chasse et de coopération ou de leurs facultés de connaissance spatiale et de planification.

La science a souvent souffert d'approximations, avec des théories fondées sur des anecdotes ou des faits qui se sont révélés inexacts. Les statistiques ont acquis beaucoup d'importance justement pour éviter cette subjectivité. Simultanément, les expérimentations animales ont aussi gagné en popularité, car elles représentaient un progrès pour tester précisément les facteurs qui influencent le comportement.

Les sciences du comportement animal ont rapidement intégré les expériences dans l'étude des animaux sauvages grâce à des pionniers, tels Niko Tinbergen ou Konrad Lorenz. Mais ce fut plus délicat quand il s'est agi d'analyser des comportements plus complexes des singes.

Beaucoup privilégièrent les expérimentations avec des individus en captivité, où il serait plus simple de simuler des situations permettant de tester l'influence de tel ou tel facteur sur le comportement. Toutefois, on s'est rapidement

aperçu que ce type d'expérimentations se heurtait à des difficultés aujourd'hui encore sous-estimées. D'abord, il est souvent impossible de reproduire des comportements connus des animaux sauvages avec les individus en captivité. Ainsi, les scientifiques ont paradoxalement étudié les capacités culturelles

## Une approche ethnographique a révélé un début de culture symbolique chez les chimpanzés.

d'animaux captifs à l'aide de comportements qui n'existent pas dans les populations sauvages ! Cette position est aujourd'hui intenable.

Ensuite, les procédures expérimentales imposées aux animaux ont toujours été différentes de celles utilisées pour les humains. Or le but ultime de ces expériences est de comparer les animaux avec les humains. On peut le comprendre, mais on ne peut ignorer ces importantes différences dans les conclusions.

Enfin, on a ignoré l'effet de la captivité sur le développement cognitif et comportemental des individus. Pourtant, de nombreuses études récentes ont démontré dans le détail les handicaps que la captivité représente pour les chimpanzés. Par exemple, l'une a montré que tous les chimpanzés vivant dans six zoos américains et anglais présentaient en moyenne cinq différents comportements anormaux.

Une autre étude a révélé que des chimpanzés vivant dans des sanctuaires, avec des conditions de vie meilleures que celles offertes par les zoos, montraient des signes clairs de dépression et de syndrome de stress post-traumatique. Ces résultats sont très préoccupants.

Lors de mon dernier séjour en Afrique auprès d'une nouvelle population de chimpanzés en Guinée, j'ai vu pour la première fois des chimpanzés utiliser de fines baguettes pour pêcher des algues au fond de l'eau des rivières. Nos ancêtres n'ont pas été les premiers grands singes à comprendre la valeur des ressources aquatiques ! Après plus de 33 années de recherche avec les chimpanzés, je découvre toujours des comportements nouveaux.

Seule une étude plus complète des chimpanzés sauvages nous aidera à comprendre ce qui nous rapproche d'eux et ce qui nous en différencie. Seuls les chimpanzés, nos plus proches parents nous aideront à comprendre ce qu'est le « propre de l'homme ».

En aurons-nous seulement le temps ? Partout en Afrique, nos plus proches parents sont exterminés avec la destruction de leurs habitats forestiers et la chasse, et l'humanité en est la première responsable, détruisant ainsi le dernier lien vivant à notre propre histoire évolutive.

### livres

• Ch. BOESCH, *Wild cultures : a comparison between chimpanzee and human cultures*, Cambridge University Press, 2012.

• Ch. BOESCH, E. GRUNDMANN et B. MULHAUSER, *Manifeste pour les Grands Singes*, PPUR 2011.

### articles

• K. JANMAAT et al., *Wild chimpanzees plan their breakfast time, type and location*, in PNAS, prépublication en ligne, 2014.

• A. KALAN et Ch. BOESCH, *Do wild Chimpanzees have functionally referential food calls ?* in *Folia primatologica*, vol. 84, p. 290, 2013.



**PHARMACIE VERTE.**

Cette femelle chimpanzé sauvage de la communauté de Kanyawara, dans le parc national de Kibale, en Ouganda, chique des feuilles, dotées de vertus pharmacologiques, avec de la viande de colobe.



SABRINA KRIEF est maître de conférences au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris. JEAN-MICHEL KRIEF est photographe. Les images de ce portfolio sont extraites de leur livre : *Les chimpanzés des Monts de la Lune* (Belin/MNHN).



# LES CHIMPANZÉS

## DES MONTS DE LA LUNE

Sabrina et Jean-Michel Krief étudient et photographient les chimpanzés depuis de longues années. Ils ont mis en évidence plusieurs pans insoupçonnés de leur vie quotidienne. Quelques exemples en images.





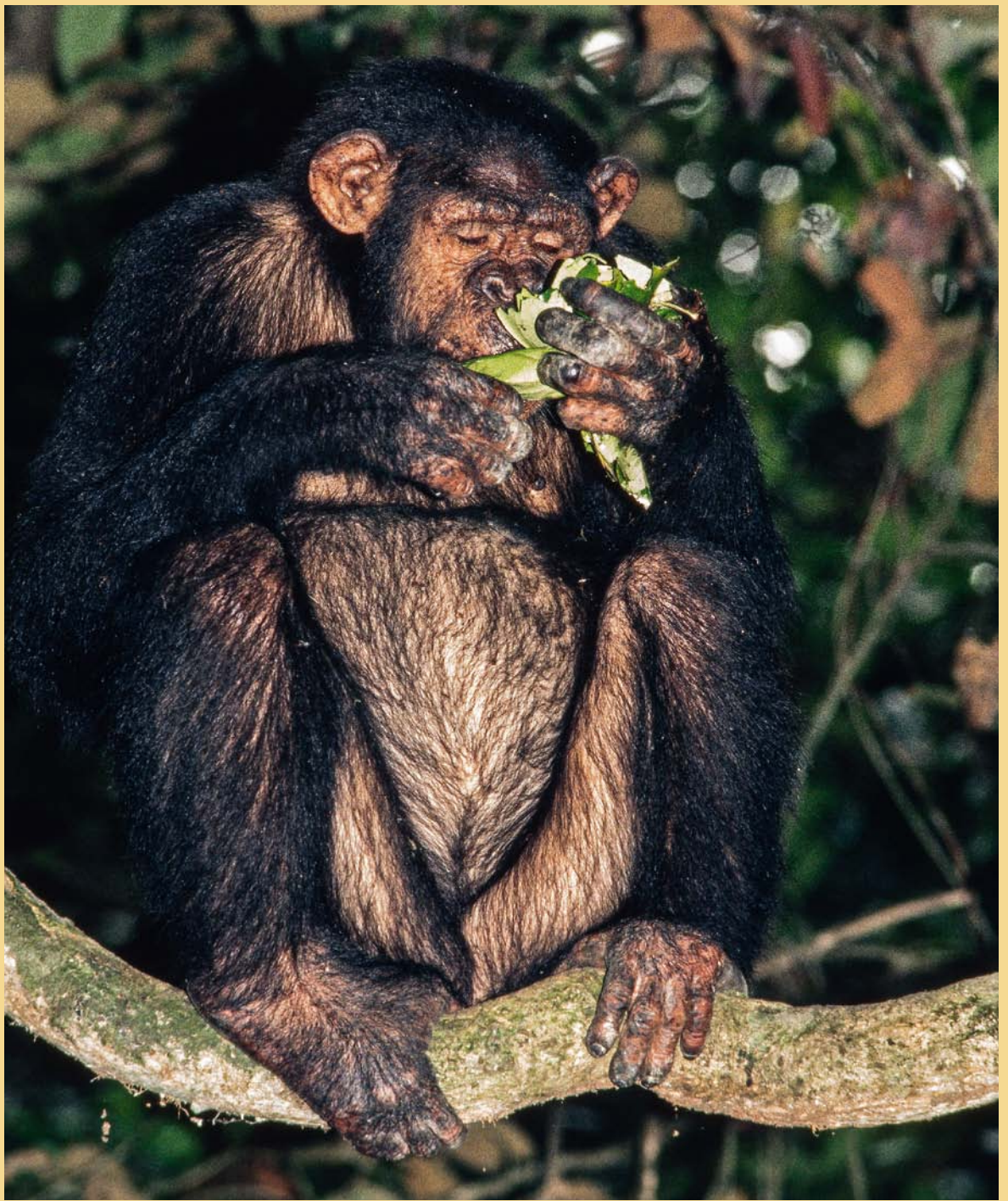


#### SAVEURS ÉTRANGÈRES.

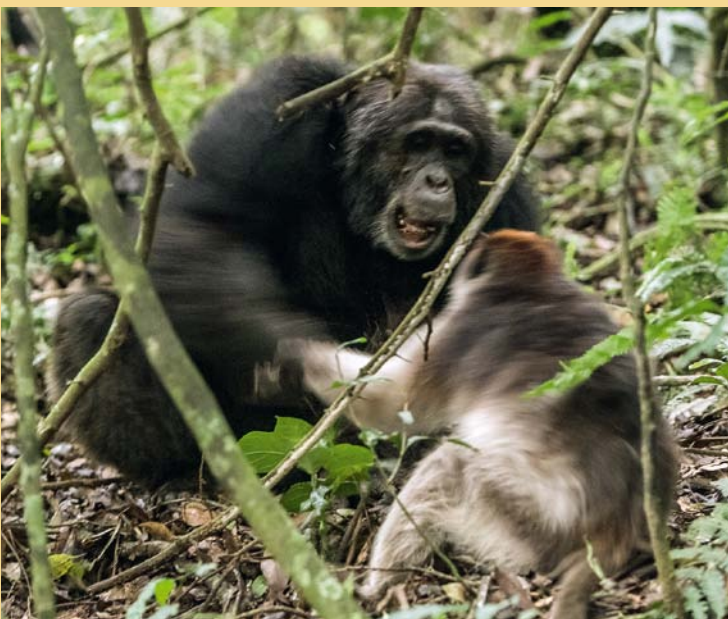
Les cultures humaines, ici du maïs beaucoup plus nourrissant que les fruits sauvages, sont appréciées des chimpanzés. Ce n'est pas sans poser des problèmes de cohabitation. Les travaux de Sabrina et de Jean-Michel Krief ont pour objectif de réduire les conflits entre les hommes et les chimpanzés.





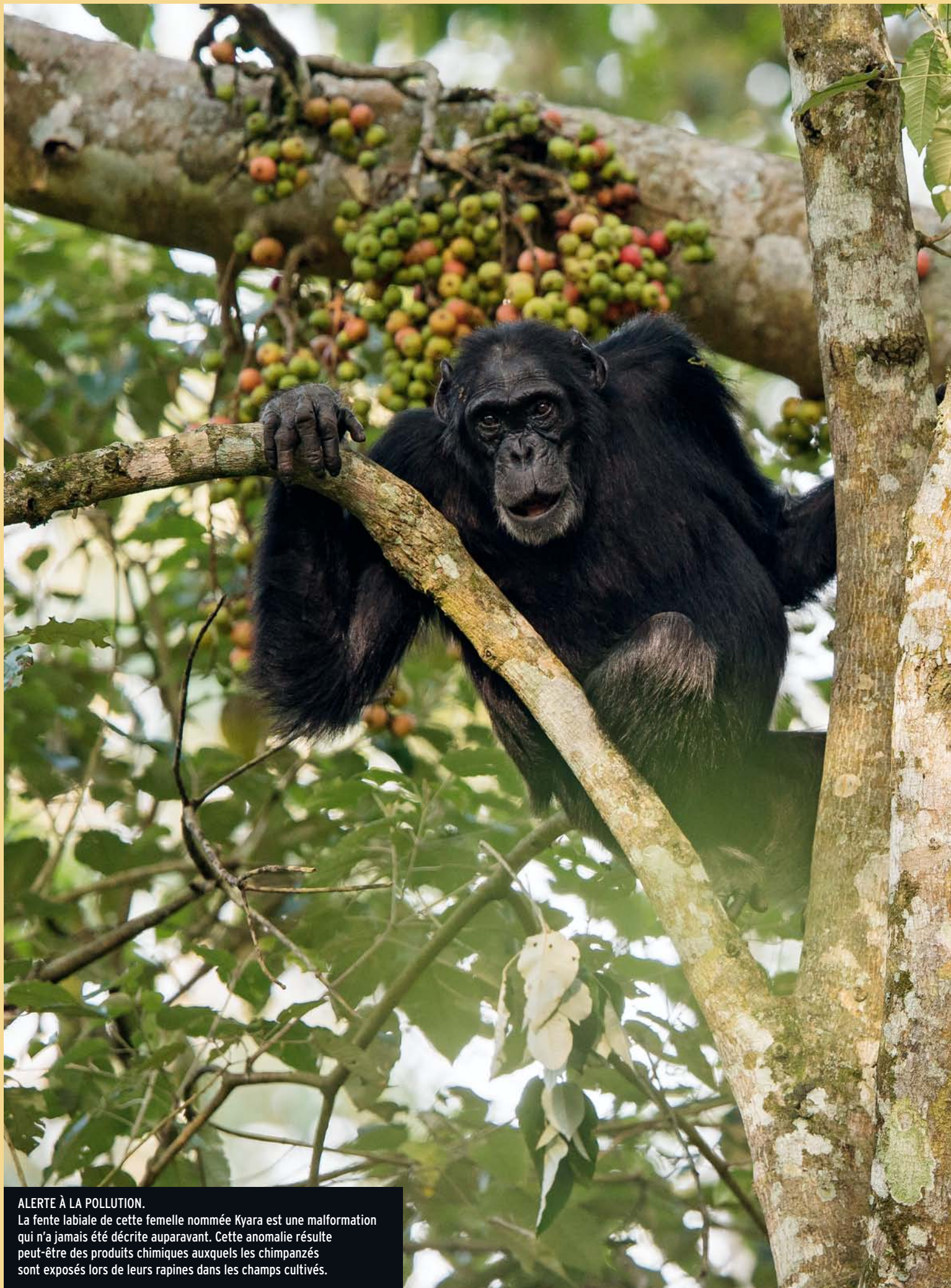


**FRIANDISES.**  
Cette femelle,  
nommée Jeannette,  
orpheline relâchée  
dans la zone du Triangle,  
au Congo, se nourrit  
de fourmis tisserandes  
du genre *Ecophylla*, dont  
les nids sont faits  
de feuilles collées.  
Ces insectes sont  
une source importante  
de protéines.



**PARTIE DE CHASSE.**  
Un groupe de chimpanzés  
sauvages de Kanyawara prend  
en chasse un singe  
colobe bai qui ne pourra pas  
en réchapper. Capturé après  
s'être vaillamment défendu,  
il est tué et sa chair  
est partagée entre  
les membres du groupe  
qui ont participé à la traque,  
mais aussi avec les femelles  
et leurs petits qui viennent  
quémander.

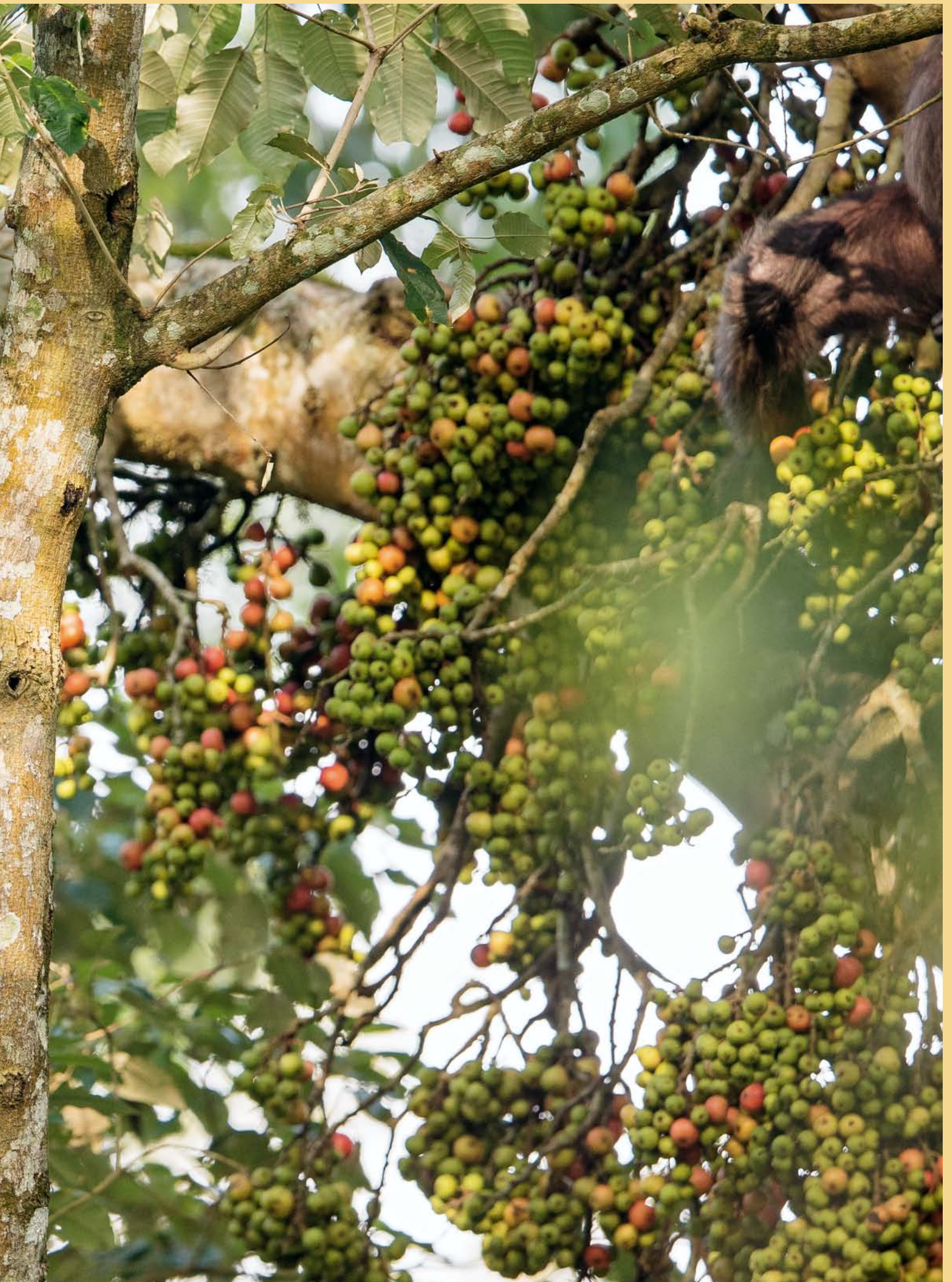




#### ALERTE À LA POLLUTION.

La fente labiale de cette femelle nommée Kyara est une malformation qui n'a jamais été décrite auparavant. Cette anomalie résulte peut-être des produits chimiques auxquels les chimpanzés sont exposés lors de leurs rapines dans les champs cultivés.









LE PLAISIR DE JOUER.  
Ces deux chimpanzés  
jouent, se chatouillent  
et « rient » aux éclats !







**BAIGNADE AUTORISÉE.**

Les chimpanzés évitent d'ordinaire l'eau. Celui-ci, orphelin recueilli dans le sanctuaire HELP, au Congo, vit sur une île dans la lagune de Konkouati : il brave son aversion pour récupérer de la nourriture distribuée depuis une pirogue.



# Un pouvoir au féminin

Chez les bonobos, les femelles s'occupent de la chasse et président au partage des ressources. Pourquoi dominent-elles les communautés ? Parce que les mâles ignorent précisément quand elles sont fertiles.



MÈRE ATTENTIONNÉE,  
une femelle Bonobo partage  
de la viande (celle d'un  
colobe) avec son petit.



Barbara FRUTH

travaille au Centre de recherches et de conservation (CRC) de la Société royale de zoologie d'Anvers (KMDA), en Belgique, et à l'Université Ludwig Maximilian, à Munich, en Allemagne.

Un long bêlement retentit et brise le silence de la forêt. C'est le cri d'alarme d'une antilope des forêts, un céphalophe. Au même moment, la clameur assourdissante d'un groupe de bonobos se fait entendre. Stridents et soutenus, ces sons à haute fréquence nous guident vers un spectacle déconcertant... un enchevêtrement de bras et de jambes. Le bêlement est toujours audible et il vient du cœur de la mêlée. L'attroupement se relâche parfois, nous donnant l'occasion d'identifier certains des bonobos en pleine action. Ici, Zora presse fermement l'antilope contre son corps. Encore en vie, elle lutte de toutes ses forces, mais pas pour très longtemps. Malgré le poids de sa victime, Zora parvient à frotter ses organes génitaux, frénétiquement, contre ceux des autres femelles.

Le tumulte s'estompe. La femelle en profite pour grimper dans un petit arbre avec le corps sans vie de l'antilope et s'éloigner ainsi de ses congénères. Pour un temps seulement, car le cercle se reforme vite autour d'elle : Lolema et Thabita, deux autres femelles, quémangent un morceau de viande et disparaissent promptement avec un cuissot qu'elles ont réussi à arracher de la carcasse. Les jeunes passent par-dessus les têtes des femelles adultes et glissent de temps en temps leurs doigts dans le ventre ouvert de la proie pour récupérer un peu de sang.

Karl, un mâle adulte, est assis à l'écart de la cohue, apparemment désintéressé. Le seul autre mâle que nous apercevons, parmi les cinq que compte la communauté, est Max. À l'inverse de Karl, lui essaie sans cesse de se rapprocher du groupe de femelles. Il tourne nerveusement autour de Lolema et des autres. Il émet régulièrement un son dont la fréquence et l'intensité croissent pour culminer en un appel de détresse qui est consciencieusement ignoré par les femelles.

Cette scène donne un aperçu d'un épisode de partage de viande par des bonobos (*Pan paniscus*). Elle se déroule dans la forêt de Lomako, en République démocratique du Congo, où mon mari, Gottfried Hohmann, et moi avons effectué nos recherches entre 1990 et 1998. Que nous apprend-elle ?

Pour répondre, nous devons nous tourner vers l'anthropologie. La chasse et le partage de la nourriture ont joué un rôle clé dans l'évolution de l'espèce humaine. Cette pratique serait allée de pair avec l'émergence de la spécialisation de certains éléments d'un groupe. De fait, plutôt que de rivaliser pour des ressources identiques, des membres d'une société donnée se sont spécialisés dans l'acquisition de nourriture, un phénomène

qui a eu pour conséquence la division du travail selon les sexes, les mâles devenant les chasseurs.

Ce processus a été décrit en 1966, à l'Université de Chicago, lors du symposium *Man the Hunter* (*L'homme, le chasseur*) organisé par les anthropologues Richard Lee et Irven DeVore. Ils en ont tiré un livre éponyme publié deux ans plus tard. Responsables de l'acquisition et de la distribution d'une nourriture à haute valeur nutritive, en l'occurrence de la viande, les hommes ont assis leur domination, faisant de ce partage une arme politique pour s'attirer les bonnes grâces d'alliés et de partenaires.

Et en effet, les chimpanzés (*Pan troglodytes*), un modèle actuel pour imaginer notre passé lointain d'humain, sont en adéquation parfaite avec cette vision des choses : la capture de proies et le partage sont essentiellement le fait des mâles, la quantité de viande reçue par les femelles dépendant de leur statut

social dans le groupe. La chasse aurait été une stratégie politique et sexuelle utilisée par les mâles pour s'assurer le soutien d'alliés et attirer des femelles pour se reproduire.

Qu'en est-il des bonobos ? Séparé phylogénétiquement du chimpanzé par environ 1,2 million d'années, le dernier grand singe découvert (en 1929) ne vit qu'au Sud de la rivière Congo. À l'origine, on n'imaginait pas que les bonobos chassaient. Les conditions écologiques de leur environnement, riche en fruits toute l'année et où la végétation herbacée est une source abondante de protéines, auraient favorisé le gréganisme et les alliances entre femelles. De la sorte, l'agressivité, indispensable au comportement de chasseur, aurait été absente chez cette espèce.

## Chasse à l'antilope

Pourtant, en 1984, Noel Badrian et Richard Malenkey, de l'Université Stony Brook, à New York, ont annoncé avoir observé, à Lomako, trois cas de consommation de jeunes céphalophes infantiles. Quelques années après, Hiroshi Ihobe, de l'Université de Kyoto, au Japon, a décrit des bonobos se nourrir d'écureuils volants sur le site de Wamba. Peu après, en 1989 et en 1990, Magdalena Bermejo et German Illera, de l'Université de Barcelone, ont vu, à Lilungu, un bonobo portant, en guise de jouets, deux espèces de singes vivants (*Colobus angolensis* et *Cercopithecus ascanius*). Les bonobos seraient donc carnivores ?

Ces exemples ne suffisent pas à convaincre les spécialistes. Selon eux, les bonobos ne chassaient pas et ne pouvaient encore moins faire de la viande un outil politique. Pourtant, dans ces exemples, les bonobos qui détenaient les proies étaient des mâles, rappelant en cela le modèle des chimpanzés. Mais

Les jeunes glissent  
leurs doigts dans le ventre  
de la proie pour récupérer  
un peu de sang.

## L'ESSENTIEL

- Les bonobos ne sont pas que végétariens : ils chassent l'antilope et le petit singe.
- Cette activité est conduite par les femelles qui s'occupent ensuite du partage de la proie.
- Elles privilégient les femelles avec qui elles n'ont pas de liens familiaux au détriment des mâles.
- Ce matriarcat résulte notamment de l'absence de signal fiable de la fertilité des femelles.

cela ne coïncidait pas avec ce que l'on admettait, à savoir que les bonobos mâles sont le plus souvent soumis aux femelles quand il s'agit de nourriture. Pourquoi le partage à des fins politiques serait-il l'apanage des mâles ? Et pourquoi la viande serait-elle la seule monnaie d'échange possible pour un usage politique ?

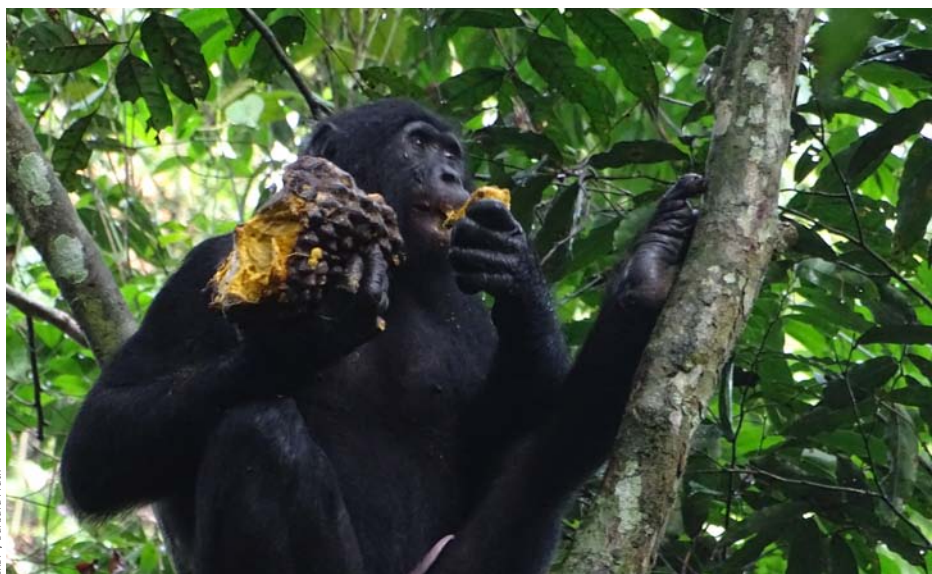
Ce bref retour vers les études pionnières des bonobos sauvages explique pourquoi nos observations, décrites en introduction, étaient révolutionnaires. À Lomako, à l'évidence, les bonobos femelles chassent, gardent la main sur les proies et distribuent le butin. Entre 1990 et 1998, nous avons observé neuf cas de partage de viande, dont sept concernaient celle de céphalophes adultes. À chaque fois, les femelles étaient maîtres du jeu et partageaient surtout avec des femelles, les mâles ne recevant une part qu'occasionnellement.

Outre la viande, les membres de la communauté Eyengo, à Lomako, partagent les fruits dont ceux de *Treculia africana* et de *Anonidium mannii*, qui pèsent de 5 à 10 kilogrammes, et jusqu'à 30 kilogrammes pour la deuxième espèce. De tels partages sont 15 fois plus fréquents que celui de la viande, mais ils sont là aussi sous l'autorité des femelles.

Les observations sur notre deuxième site, LuiKotale, où nous avons commencé nos études en 2002, ont confirmé nos premières conclusions. Comme à Lomako, les proies sont des mammifères (à l'exception d'un oiseau), principalement des céphalophes adultes, mais aussi des rongeurs, un primate (*Galago demidovii*) et d'autres mammifères. De même, les proies sont réparties entre les membres du groupe, les femelles monopolisant la ressource. Dans les deux sites étudiés, les bonobos partagent souvent les fruits de grande taille des deux espèces précédentes et se distinguent ainsi des chimpanzés.

Sans surprise, en 2008, à LuiKotale, Martin Surbeck, un de nos étudiants, a finalement observé les premières chasses alimentaires. Les proies étaient des primates tels que des colobes du genre *Piliocolobus*, des cercopithèques *Cercopithecus mona* et des mangabeys *Lophocebus aterrimus*. En fin de compte, après plus d'une décennie d'études et de publications, la communauté scientifique admettait l'idée de partage de viande chez les bonobos. Ces grands singes n'étaient plus seulement des « hippies pacifiques » de la forêt tropicale, une image qui leur collait à la peau depuis les observations pionnières de Frans de Waal.

Aujourd'hui, nous n'avons plus de difficulté à imaginer que, à l'instar des hommes, des femelles chassent, tuent et partagent des proies. Cependant, nous devons comprendre comment les bonobos femelles ont surmonté l'héritage phylogénétique d'une domination masculine. Dans une espèce, les relations entre mâles et femelles sont le plus souvent



LWBP / Barbara Fruth

caractéristiques d'un système social et ont des implications pour tout individu en ce qui concerne son accès aux ressources, ses stratégies d'accouplement et son cycle de vie. C'est donc dans cette direction que nos investigations devaient nous mener.

**LE PARTAGE DES FRUITS**  
(ici *Anonidium mannii*) est  
l'apanage des femelles.

## Matriarcat chez les bonobos

Comme les chimpanzés, les bonobos mâles ne quittent que très rarement leur communauté d'origine. Cette philopatrie masculine signifie que les mâles adultes sont susceptibles d'être entourés de parents (mâles) proches. En revanche, les bonobos femelles quittent leur groupe une fois qu'elles sont matures sexuellement. De la sorte, grâce à cette exogamie, les groupes réunissent des femelles non apparentées. Or la parenté est un paramètre important des relations sociales. En effet, les individus proches se soutiennent et coopèrent plus souvent que ceux sans liens. Aussi, dans les deux espèces du genre *Pan*, on peut supposer que les mâles s'associent plus facilement que les femelles. C'est bien ce que l'on observe chez les chimpanzés sauvages, mais pas chez les bonobos où les relations entre mâles semblent ténues. Ils se tolèrent, rien de plus.

Par contraste, et en contradiction avec le modèle standard, les femelles bonobos s'associent fréquemment et établissent des liens hiérarchiques fondés sur des comportements amicaux, tels l'épouillage et le partage d'aliments. Ainsi, elles surmontent la domination masculine à travers la coopération et les coalitions. Selon certains primatologues, notamment Amy Parish, de l'Université de Californie, à Davis, la hiérarchie au sein d'un groupe de bonobos se fonde sur la domination des femelles. D'autres, dont nous faisons partie, pensons que cette hiérarchie résulte d'une codomination des deux sexes : les individus dominants sont le plus souvent les femelles, même si dans certaines communautés sauvages, des mâles peuvent parfois prendre l'ascendant sur des femelles.



La domination des femelles est rare non seulement chez les primates, mais aussi chez les autres mammifères sociaux. Les mécanismes ayant conduit à cette situation sont encore discutés. Le dimorphisme sexuel des bonobos est aussi une exception : les mâles sont seulement un peu plus gros que les femelles et ont des canines légèrement plus grandes. Un tel dimorphisme est supposé être la conséquence d'une sélection intrasexuelle, lorsque des mâles sont en compétition pour l'accès aux femelles. Dans ce cadre, les individus agressifs et plus forts physiquement sont avantagés et dominent souvent les femelles, surtout quand il s'agit de les « monopoliser », c'est-à-dire d'en garder l'exclusivité. Cependant, quand les mâles ne peuvent pas se réserver l'accès aux femelles fertiles, la domination des mâles s'estompe. C'est sans doute le cas chez les bonobos.

### Un honnête signal de fertilité ?

Pour quelles raisons les mâles bonobos ne peuvent-ils pas monopoliser les femelles alors que cela leur serait d'autant plus « facile » que le gonflement des organes génitaux indique leur fertilité ? En 2002, Karin Reichert a apporté des éléments de réponse en étudiant 23 cycles ovulatoires de huit femelles bonobos en captivité. Dans 30 pour cent de ces cycles, le jour présumé de l'ovulation ne coïncidait pas avec la tumescence maximale. Ainsi, bien que l'attractivité sexuelle prolongée des femelles, indiquée par le gonflement génital, soit un signal honnête de la probabilité de l'ovulation, il n'est pas un signal fiable de sa synchronisation.

Cette fenêtre de probabilité correspond à la durée pendant laquelle un mâle dominant devrait garder à ses côtés une femelle pour s'assurer de sa paternité. Mais ce laps de temps est important (une dizaine de jours) chez les bonobos, interdisant un investissement des mâles dans un gardiennage aussi long. Par comparaison, chez les chimpanzés, la fenêtre de probabilité est de trois jours seulement, ce qui autorise des accouplements exclusifs.

Ces études levaient un voile sur les mystères du pouvoir féminin chez les bonobos, mais elles ont été contestées, car effectuées avec des animaux en captivité. Toutefois, les résultats préliminaires obtenus récemment par une de nos étudiantes, Pamela Heidi Douglas, à LuiKotale, confirment ces conclusions dans des conditions naturelles. En affichant la probabilité de leur ovulation avec des périodes étendues de tumescence, les bonobos femelles attireraient plusieurs mâles, tandis qu'en dissimulant le moment précis de l'ovulation, elles réduiraient le risque d'infanticide.

Revenons aux liens entre femelles non apparentées, qui seraient la clé de la domination des femelles chez les bonobos. Quel est le rôle du partage de la nourriture dans ce processus ? Pour

répondre, nous devons examiner brièvement les mécanismes qui expliquent l'apparition de cette pratique au cours de l'évolution.

### La naissance du partage

La parenté est, nous l'avons dit, un paramètre important des relations sociales. Les individus d'une même fratrie, par exemple, sont plus susceptibles de coopérer que ceux dépourvus de liens. À propos de la nourriture, le partage entre parents est habituel, notamment entre une mère et sa progéniture, mais aussi entre adultes. Il existe à travers tout le règne animal et s'explique par les avantages qu'il procure à la parentèle (l'ensemble des individus ayant des gènes en commun).

Pourtant, chez les bonobos, le partage a lieu entre les femelles, c'est-à-dire des individus non apparentés ! Plusieurs hypothèses ont été avancées pour l'expliquer, dont l'une met en avant la mutualisation des efforts nécessaires pour se procurer de la nourriture. Nicholas Blurton Jones, de l'Université de Californie, à Los Angeles, a quant à lui développé l'idée de « vol toléré » : un individu accepte la perte d'une partie de sa ressource afin de gagner du temps pour profiter d'une part importante. Dans nos observations, nous avons inscrit ce concept dans le cadre plus large d'un mutualisme particulier où les deux protagonistes profitent de la ressource. C'est le cas lorsque la nourriture devient une monnaie d'échange, contre, par exemple, un accès à des partenaires ou un épouillage.

Ces hypothèses ont été confortées en 2011 par Adrian Jaeggi et Carel van Schaik, de l'Université de Zurich, en Suisse, qui se sont intéressés à l'évolution du partage de la nourriture chez 68 espèces de primates. Ils ont montré que parmi les 38 espèces où de la nourriture est partagée avec la progéniture, le partage entre adultes est plus probable dans le sous-ensemble des espèces où le choix du partenaire est libre. On en déduit que le partage de la nourriture aiderait à séduire un partenaire ou, indirectement, à créer des coalitions à des fins reproductives. Ce dernier scénario s'accorde avec les observations récentes du groupe de Roman Wittig et Catherine Crockford, de l'Université de Saint Andrews, en Écosse : le partage de nourriture augmente la libération d'ocytocine – l'hormone des relations sociales – chez le donneur et le receveur. Le partage de nourriture serait donc bien une monnaie d'échange, mais aussi un facilitateur de relations sociales.

Quelles sont les conséquences pour les bonobos ? Ces grands singes vivent selon un modèle de société dit de fission-fusion, dans lequel les membres choisissent avec qui ils voyagent. De la sorte, les tensions et les conflits sont plus rares, mais le tissu social est brouillé. En effet, quand des individus se retrouvent après des semaines, voire des mois d'éloignement, certaines choses, telles les alliances, ont pu changer.



**LA TUMESCENCE** des organes génitaux des femelles indique une probabilité de fertilité, mais elle dure trop longtemps pour que les mâles sachent précisément quand a lieu l'ovulation. Ils ne peuvent donc monopoliser les femelles.

LKB / Lieven Devreese

Bien que l'étape de fission soit intéressante quand les ressources alimentaires viennent à manquer, les bonobos sont réputés pour leur gréganisme et leur niveau élevé de tolérance sociale. Dans ce contexte, la nourriture est un outil politique : son partage renforce la cohésion, consolide des amitiés et confirme les statuts individuels.

Pendant huit ans, nous avons observé des événements de partage de viande et de végétaux. Nous avons décrit les techniques de chasse et examiné la répartition des rôles entre le détenteur de la proie et les participants, en tenant compte des relations (parenté, rang social...). Que constate-t-on ? Les femelles ont la mainmise sur la ressource et elles la partagent surtout avec, d'une part, leur propre progéniture et, d'autre part, des femelles indépendantes. Les mâles viennent ensuite.

Grâce à ces données, nous avons testé quatre hypothèses sur les raisons qui favorisent le partage de la nourriture chez les bonobos : la réciprocité, la sélection de parentèle, le mutualisme et le « vol toléré ». Quelques observations plaident pour un partage sous pression, les détenteurs de la ressource acceptant les demandes de quémandeurs pour se nourrir tranquillement (c'est le « vol toléré »), et d'autres sont en accord avec une sélection de parentèle. Toutefois, la majorité des partages renforceraient les liens entre femelles.

En 2014, à LuiKotale, Lucas Goldstone, du *University College*, à Londres, a examiné une autre hypothèse qui avait été proposée par Maria van Noordwijk, de l'Université de Zurich, et par Carel van Schaik : le partage de la nourriture constituerait une sorte de test de la personnalité du détenteur. Au départ formulée à propos des orangs-outans, cette idée stipule que les femelles acquièrent des informations sur l'agressivité d'un mâle. Qu'en est-il quand la relation est inversée ?

## Pourquoi me dévisages-tu ?

Les bonobos sont peu agressifs et pour nombre d'entre eux, on ignore leur statut. En outre, le modèle de fusion-fission rend incertaine la persistance des relations hiérarchiques. Le partage, notamment dans un contexte d'alimentation, peut donc être un moyen pour les bonobos d'évaluer les liens avec d'autres membres de la communauté. De fait, la proximité physique associée à la mendicité, avec en particulier le fait de dévisager le détenteur de nourriture, oblige ce dernier à réagir : la nature de la réponse, tolérante ou non, renseigne le demandeur sur le statut de l'autre. De même, celui qui détient la ressource peut éprouver la patience de celui qui la sollicite. C'est particulièrement intéressant pour les femelles et

Les mâles tolérants ont plus de chances de séduire que ceux dont la domination est fondée sur la puissance.

cela explique pourquoi, dans notre introduction, Max a été complètement ignoré.

Bien que les gestes de mendicité et les sollicitations soient rarement récompensés, les bonobos sont souvent intéressés par la nourriture qui est dans les mains d'un autre, le regardent avec insistance à une distance minimale ou en tendant le bras pour atteindre la ressource. Très fréquente, l'action de dévisager chez les bonobos n'est pas encore bien comprise, d'autant plus que ce comportement, qui reflète les relations de dominance, est flexible. Le refus de transférer de la nourriture suscite parfois l'agressivité du demandeur.

Lucas Goldstone a montré que le taux de sollicitation des femelles ne dépend pas de leur état sexuel (organes génitaux tumescents ou non). Étonnamment, et malgré les chances très faibles de succès, les bonobos de bas rang social mendent beaucoup plus souvent que les bonobos de haut rang, et ce, même lorsque les ressources alimentaires sont très accessibles par ailleurs.

Les bonobos mâles restent toujours vigilants, regardant en permanence ce que font les autres, et surtout les femelles adultes, qui sont au centre de leur attention. Grâce à la longueur de leur fenêtre ovulatoire, les femelles préservent l'intérêt des mâles et construisent ainsi des relations mâles-femelles fortes. La signification biologique est évidente : les mâles profiteraient davantage de possibilités d'accouplement et donc accroîtraient leur succès reproducteur.

## De l'avantage d'être tolérant

Mais le plus intéressant, au-delà de ces bénéfices immédiats, est ailleurs. Les mâles s'associent avec des femelles quand elles sont enceintes ou allaitantes. Ces alliances, sans doute opportunistes, sont parfois limitées à quelques mois, mais elles peuvent aussi durer un an, voire plus. Nous ignorons ce qui arrête ces unions et comment de nouvelles se forment. En revanche, nous voyons que les mâles tolérants qui entretiennent de bonnes relations avec les femelles ont plus de chances de devenir leurs partenaires sexuels que les mâles dont la domination est fondée sur la puissance physique.

En somme, les femelles bonobos ont surmonté la domination physique des mâles grâce à la disparition des signaux fiables de leur fertilité. Les conditions écologiques ont favorisé la sociabilité chez les individus non apparentés *via* la mendicité et le partage de nourriture. Ce faisant, la sélection a privilégié les mâles tolérants et coopératifs avec les femelles indépendamment de leur état reproducteur. En conséquence, les relations sociales entre mâles et femelles sont caractérisées par des liens sociaux différenciés et mutualistes. Un beau modèle, non ? ■

### articles

- B. FRUTH *et al.*, *New evidence for self-medication in bonobos : Manniophyton fulvum leaf- and stemstrip-swallowing from LuiKotale, Salonga National Park, DRC*, in *American Journal of Primatology*, vol. 76, pp. 146-158 2014.
- M. WILSON *et al.*, *Lethal aggression in Pan is better explained by adaptive strategies than human impacts*, in *Nature*, vol. 513, pp. 414-417 2014.
- D. BEAUNE *et al.*, *Ecological services performed by the bonobo (Pan paniscus) : seed dispersal effectiveness in tropical forest*, in *Journal of Tropical Ecology*, vol. 29(5), pp. 367-380, 2013.



# UNE AVENTURE SCIENTIFIQUE ET PHOTOGRAPHIQUE EXCEPTIONNELLE !

avec Sabrina Krief et Jean-Michel Krief



Éditions Belin  
264 pages - 30€  
ISBN 978-2-7011-8308-4



**FLASHEZ CE QR CODE  
ET COMMANDEZ  
DIRECTEMENT VOTRE LIVRE**



## BON DE COMMANDE

À découper ou à photocopier et à retourner accompagné de votre règlement à :  
Groupe Pour la Science • 628 avenue du Grain d'Or • 41350 Vineuil  
E-mail : [pourlasciencevpc@audin.fr](mailto:pourlasciencevpc@audin.fr)

POUR LA  
**SCIENCE**

☒ **Oui**, je commande l'ouvrage *Les Chimpanzés des Monts de la Lune* de Sabrina Krief et Jean-Michel Krief



exemplaires x 30 € (Réf. 70118308)	=	€
Frais de port (3€ France - 12€ Étranger)	+	€
<b>Total à régler</b>		€

**J'indique mes coordonnées :**

Nom : \_\_\_\_\_  
Prénom : \_\_\_\_\_  
Adresse : \_\_\_\_\_  
CP : \_\_\_\_\_ Ville : \_\_\_\_\_  
Pays : \_\_\_\_\_ Tél. : \_\_\_\_\_  
Pour le suivi client (facultatif)

**Je choisis mon mode de règlement :**

☐ Par chèque à l'ordre de *Pour la Science*

☐ Par carte bancaire

Numéro : \_\_\_\_\_

Date d'expiration : \_\_\_\_\_

Cryptogramme : \_\_\_\_\_

**Signature obligatoire**

En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe Pour la Science. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher la case ci-contre ☐.

**Mon e-mail** pour recevoir la newsletter *Pour la Science* (à remplir en majuscule).

@

# La pharmacopée des chimpanzés

Les chimpanzés herborisent et cueillent des plantes pour soigner diverses affections (paludisme, parasites intestinaux, toux...). Cette pratique d'automédication pourrait conduire à la découverte de principes actifs destinés aux humains.

Sabrina Krief, MNHN.



ethnopharmacologia.org

## *Aspilia mossambicensis*

En 1977, Richard Wrangham observe un singe ingérer des feuilles de cette plante et leur attribue un effet vermifuge. En 1985, on pense avoir isolé de ce végétal un antibiotique et un antiparasitaire, mais des analyses ultérieures seront moins probantes. En 1992, on détecte dans les feuilles deux substances qui stimulent les contractions utérines.



ethnopharmacologia.org

## *Vernonia amygdalina*

Cette plante qui n'appartient pas au régime alimentaire habituel des chimpanzés est dotée de vertus antiparasitaires. Les feuilles sont d'ailleurs utilisées en médecine traditionnelle par les populations humaines locales. On a isolé de cette espèce végétale des composés actifs.



ethnopharmacologia.org

## *Acanthus pubescens*

Les chimpanzés de Sonso, en Ouganda, consomment les fleurs de cette espèce et bénéficient ainsi des propriétés antibiotiques que nous avons mises en évidence. Étonnamment, ce comportement ne se retrouve nulle part ailleurs, même dans des communautés proches. L'automédication serait donc un phénomène culturel.



Muhammad Mahdi Karam

## *Aneilema aequinoctiale*

Les chimpanzés, à jeun, avalent sans les mâcher les feuilles de cette plante qu'ils plient avec leur langue. Ces feuilles sont hérissées de petits poils qui entraînent les parasites intestinaux. De plus, elles favorisent le transit et les sécrétions.





### *Albizia grandibracteata*

Cette espèce est un arbre dont les singes arrachent à grand-peine l'écorce avec les dents. Puis ils lèchent la résine ainsi découverte. Des analyses ont mis en évidence dans cette résine des molécules (des saponosides) qui tuent les vers parasites. Mieux, ces composés actifs ralentissent la croissance des cellules cancéreuses, du moins *in vitro*. Des analyses plus poussées sont nécessaires.

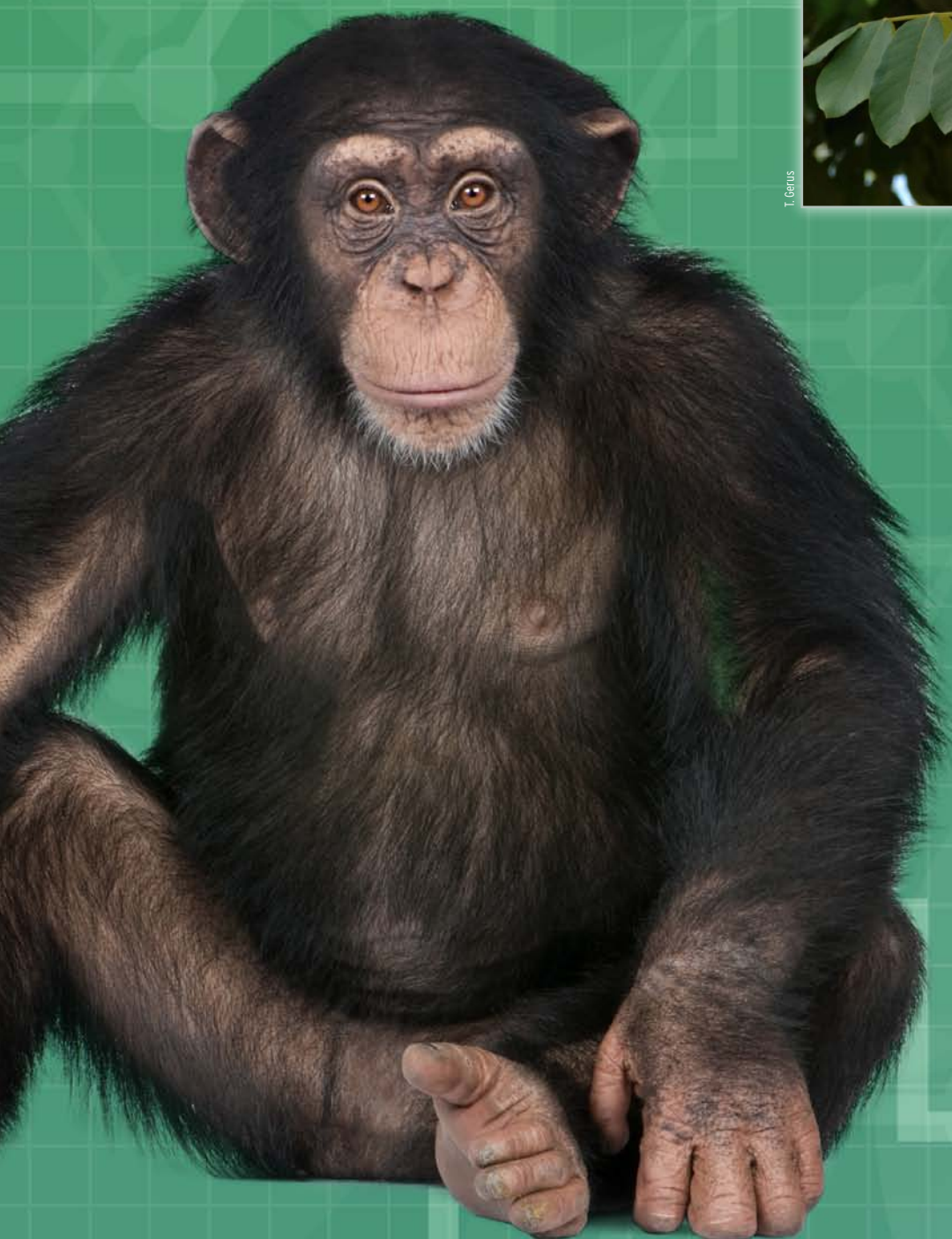


T. Gerus

### *Markhamia platycalyx*

Lorsqu'ils toussent, des chimpanzés arrachent l'écorce des arbres de cette espèce et se frottent le dos contre le tronc mis à nu. Certains lèchent ce dernier ou mâchent le bois. Les villageois font exactement de même en cas de maux de gorge !

Les composés isolés de cette plante sont à la disposition de la communauté scientifique.



# Shelly Masi

## La culture chez les gorilles

Les comportements culturels appris socialement restent encore mystérieux chez les gorilles. Les mécanismes d'apprentissage liés aux plantes médicinales diffèrent notablement de ceux observés chez les chimpanzés. Comment l'expliquer ? Par une faible tolérance sociale et... des intestins résistants !

### ■ Peut-on définir ce qu'est une culture ?

**Shelly Masi :** La réponse dépend de la discipline ! Par exemple, selon les anthropologues, la culture est liée au « propre de l'homme » et trouve ses racines dans la politique, le savoir écrit, le langage... C'est une définition un peu radicale qui, selon les zoologistes, empêche de comprendre les racines évolutives de la culture. À l'inverse, quelques biologistes prêtent une culture à des organismes très simples, tels des insectes, voire des bactéries !

La définition des primatologues est entre ces deux extrêmes : la culture est un ensemble de comportements observés dans certaines populations d'une même espèce et pas dans d'autres. Mais plusieurs conditions doivent être remplies.

D'abord, ces comportements s'acquièrent par apprentissage social auprès des congénères et sont transmis de génération en génération. Ensuite, ces comportements culturels ne doivent pas dépendre du contexte écologique et environnemental. Enfin, ils ne sont pas programmés génétiquement.

Une image peut aider à comprendre. Les Européens et les Asiatiques sont de la même espèce, mais habitent des régions distinctes. Les premiers mangent avec une fourchette, les seconds avec des baguettes : ces habitudes relèvent de la culture.

Quand les diverses conditions sont satisfaites, les primatologues peuvent traquer et étudier les comportements culturels.

### ■ Plusieurs comportements culturels des chimpanzés impliquent des outils. Les gorilles en utilisent-ils ?

**Shelly Masi :** Les témoignages sont rares, mais on peut aujourd'hui en citer trois. Chez les gorilles de l'Ouest de la République du Congo, une femelle a un jour employé un bâton pour sonder un plan d'eau qu'elle voulait traverser pour en estimer la profondeur. Un autre cas chez les gorilles des montagnes (la sous-espèce de la deuxième espèce de gorilles, les gorilles de l'Est), au Rwanda : une femelle a pris une tige en bambou pour en faire un escalier destiné à son petit pour qu'il accède à de la nourriture.

Ces exemples illustrent une différence majeure entre les gorilles et les chimpanzés. Ces derniers, ainsi que les orangs-outans d'ailleurs, recourent à des outils le plus souvent pour se nourrir, tandis que les gorilles le font surtout lorsqu'ils font face à des obstacles. Cependant, cette distinction n'est pas stricte.

En effet, la première utilisation d'outils en lien avec de la nourriture chez les gorilles vient d'être publiée ! Selon ce troisième témoignage, une jeune gorille de montagne femelle, qui se faisait piquer par les fourmis qu'elle essayait de manger, a pris un bâton, pour « pêcher » ces insectes, de la même façon que les chimpanzés.

Ces pratiques montrent que, même s'ils le font rarement, les gorilles ont les

capacités cognitives requises pour imaginer des outils. La différence entre les deux espèces est sans doute plus une question de nécessité. Je ne serais pas étonnée si, à l'occasion d'études sur le long terme, on découvrirait encore de nouvelles utilisations d'outils de la part des gorilles !

### ■ Quels sont les autres comportements culturels liés à l'alimentation ?

**Shelly Masi :** Précisons tout de suite que les études sur la culture chez les gorilles n'en sont qu'à leur début, alors que beaucoup ont été faites chez les chimpanzés et les orangs-outans. Néanmoins, des observations récentes chez les gorilles et seront bientôt publiées. L'ensemble de ces comportements culturels identifiés par toutes les équipes de primatologues qui s'intéressent aux gorilles sont en cours d'inventaire.

De mon côté, j'étudie cet aspect dans deux paires de populations de gorilles, l'une en République centrafricaine, dans le parc national de Dzanga-Ndoki, et l'autre en République du Congo, dans le parc national de Nouabalé Ndoki.

Nous pouvons d'ores et déjà faire état de préférences alimentaires. Ainsi, deux groupes voisins de gorilles vivant dans la même forêt privilégient chacun un type de plantes, alors que les deux espèces végétales sont disponibles en même abondance pour l'un et pour l'autre. Nous avons également repéré des différences dans la façon d'extraire la nourriture.





## » Bio express

1977 Naissance à Rome, en Italie.

2000 Première mission d'observation des gorilles de plaine occidentaux en République centrafricaine, dans le parc national de Dzanga-Ndoki.

2008 Thèse sur l'influence de la saison sur l'alimentation, l'activité et la dépense énergétique des gorilles de plaine occidentaux.

2013 Maître de conférence au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris.

### ■ Quels sont les usages des gorilles avec les plantes médicinales ?

**Shelly Masi :** C'est là aussi un domaine où apparaissent des différences essentielles avec les chimpanzés. Elles se situent plus particulièrement dans les mécanismes de l'observation des congénères, la clef de l'apprentissage social.

Nous avons sélectionné un certain nombre de plantes consommées de façon inhabituelle et examiné comment ces comportements sont transmis. Les différences entre les deux espèces sont étonnantes !

Chez les gorilles, cette étape d'observation des congénères n'a lieu que chez les

immatures. Les adultes sont très conformistes quant aux plantes qui peuvent être consommées. Une telle transmission d'informations, de type plutôt horizontal, à l'origine d'une sorte de « savoir des enfants », avait déjà été mentionnée chez des populations de Pygmées chasseurs-cueilleurs au Cameroun.

On ignore ce qui se passe ensuite, quand les jeunes gorilles grandissent, car les adolescents mâles (les dos noirs) et les femelles quittent le giron familial. Après une période d'éloignement et de vie en solitaire pour les jeunes dos argentés, ils fondent un nouveau groupe. Les femelles quittent le groupe de naissance pour se joindre à un autre mâle (solitaire ou non).

Je crois qu'une fois adulte, une femelle conserve le comportement acquis s'il n'est pas nocif et pourrait le transmettre à sa descendance.

En revanche, chez les chimpanzés, l'observation des congénères dans le cadre de la consommation de plantes médicinales persiste après la puberté. Les plus scrutés sont les adultes avant leur sénescence qui, on peut le supposer, sont au mieux de leur forme. C'est d'ailleurs une stratégie que l'on retrouve chez les êtres humains : les plus performants sont érigés en modèles.

### ■ Comment expliquer ces différences ?

**Shelly Masi :** Les raisons se situent à deux niveaux, l'un est physiologique, l'autre est social. En ce qui concerne le premier, les intestins des gorilles sont dotés d'une capacité de fermentation unique qui neutralise les toxines que peuvent constituer les composés secondaires issus de la digestion des plantes ingérées. De fait, les gorilles peuvent se permettre de manger des plantes potentiellement toxiques avec moins de risques que les chimpanzés. Ces derniers, dépourvus de cette faculté de détoxification, sont plus prudents et s'appuient plus sur les interactions sociales pour consommer des plantes qu'ils ne connaissent pas et qui sont donc peut-être dangereuses.

En effet, l'autre aspect qui explique les différences de comportement des gorilles et des chimpanzés est lié aux interactions sociales. Les chimpanzés profitent plus des enseignements tirés de l'observation de leurs congénères : ils le font plus longtemps ; ils sont plus nombreux à regarder la consommation par un congénère d'une plante médicinale... De fait, ils peuvent se permettre d'être très proches des autres, car la compétition pour les ressources alimentaires est moindre que chez les gorilles de l'Ouest.

Les membres d'un groupe de gorilles sont très soudés, ils restent ensemble en permanence : ils mangent au même endroit, dorment dans la même zone. Ce n'est pas le cas chez les chimpanzés chez qui la sociabilité est plus forte, mais plus dynamique. On parle de fission-fusion. Un groupe se scinde facilement, les sous-groupes pouvant choisir des parcelles différentes pour dormir ou rechercher de la nourriture. Ce modèle de société diminue la pression de la compétition alimentaire.

En conséquence, les gorilles de l'Ouest sont moins tolérants à la proximité d'un congénère. Une mère en train de manger repoussera, voire mordra, un jeune qui n'est pas le sien. Cette situation n'est pas propice à la transmission d'informations sociales par des observations rapprochées ! Les mécanismes distincts d'apprentissage alimentaire chez les deux espèces résultent de ces différences physiologiques et sociales.

### ■ Ce sont deux « conceptions » différentes de ce qu'est une plante médicinale ?

**Shelly Masi :** Oui, elles reflètent les processus d'apprentissage. Dans le cadre de la consommation de plantes médicinales, les chimpanzés acquièrent des informations durant toute leur vie, tandis que les

nutritive ou leur goût, mais pour leurs bienfaits sur notre état de santé.

Les différences physiologiques et sociales entre les chimpanzés et les gorilles peuvent éclairer d'un jour nouveau l'origine de la médecine traditionnelle chez les humains. De par la proximité phylogénétique plus forte de l'homme avec le chimpanzé qu'avec le gorille, on peut imaginer que l'automédication est apparue chez l'ancêtre commun aux chimpanzés et aux humains, après la divergence avec la lignée des gorilles. Ces ancêtres communs avaient probablement un niveau élevé de tolérance sociale, autorisant l'apprentissage des comportements « à risque » à l'âge adulte, et une absence d'adaptation intestinale qui les obligeaient à consommer les plantes médicinales/toxiques en petites quantités.

poignées d'herbe qu'ils jetaient en l'air et vers l'humain qu'ils voulaient intimider.

On peut s'interroger sur la transmission de ces stratégies. Quand un danger menace, par exemple un mâle solitaire en recherche de femelles à recruter, les jeunes mâles aident à chasser l'intrus et aident le dos argenté. À cette occasion, les dos noirs peuvent apprendre à charger en regardant faire leur père.

Un autre exemple de comportement que je pense être culturel est la façon de monter dans les arbres. Dans une population en République du Congo, les gorilles grimpent en s'aidant de leurs dents. Leur bouche devient ainsi une cinquième main ! Je n'ai jamais rien vu de tel dans les groupes que j'observe en République centrafricaine.

Pourtant, cette pratique n'est pas dépendante de l'environnement, car les



## « Dotés d'intestins résistants, les gorilles peuvent se permettre de manger des plantes potentiellement toxiques avec moins de risques que les chimpanzés. »

gorilles de l'Ouest, la phase d'apprentissage s'arrête à l'âge adulte. Au regard des plantes médicinales, nous pensons que les chimpanzés peuvent consommer des végétaux dans d'autres circonstances que la seule alimentation. Par exemple, ils pourraient associer une plante à un état de santé.

À l'inverse, chez les gorilles qui ont des intestins notablement plus tolérants aux toxines que ceux des chimpanzés, les habitudes de consommation de plantes inhabituelles (et possiblement à vertus thérapeutiques) sont acquises avant l'âge adulte. Les plantes médicinales favorables au maintien d'un bon état de santé font partie du régime ordinaire. Ces espèces seraient consommées en mode préventif, en « traitement de fond », sans être associées à des symptômes particuliers.

La façon dont les chimpanzés consomment les plantes médicinales est peut-être à rapprocher de l'habitude qu'ont les êtres humains de consommer des épices ! En effet, beaucoup de ces substances que l'on ajoute aujourd'hui à nos plats ont des propriétés antiparasitaires, antifongiques... Par le passé, nous aurions alors pris l'habitude d'en consommer non pas pour leur valeur

### ■ Dans quels autres domaines a-t-on vu des comportements culturels chez les gorilles ?

**Shelly Masi :** Les comportements que l'on peut qualifier de culturels et dont je peux parler, car je les ai moi-même observés, sont le plus souvent à caractère social. Ainsi, la façon qu'ont les jeunes de jouer ensemble peut varier selon les populations de gorilles.

C'est aussi le cas des manifestations agressives de puissance de la part des dos argentés, les mâles dominants d'un groupe. Pendant mes travaux sur cinq dos argentés, j'ai pu noter que les techniques sont propres à chaque individu et peuvent trahir un comportement culturel ! Par exemple, chaque dos argenté a sa façon de charger l'observateur. *Makumba*, un gorille que j'étudie depuis longtemps en République centrafricaine, a l'habitude de charger en trois étapes, se rapprochant un peu plus à chaque fois, alors que d'autres, tel *Milima*, se contentent d'une charge unique.

La façon de charger en utilisant de l'eau pour prouver sa force serait aussi d'ordre culturel. D'autres ont observé au Cameroun des gorilles charger en arrachant des

forêts sont semblables dans les deux pays et abritent en majorité les mêmes essences.

Enfin, je peux citer également la façon dont certaines femelles portent leur bébé. Dans un groupe que nous avons étudié, une des quatre femelles transporte son jeune accroché à son bras et non pas sur le dos comme on le voit d'ordinaire. C'est probablement aussi un comportement culturel. En fin de compte, la plupart de ces pratiques ne sont pas liées à des outils, mais à des interactions sociales entre individus, quel que soit leur âge ou leur statut.

### ■ A-t-on observé des processus cumulatifs d'amélioration de pratiques ?

**Shelly Masi :** C'est difficile de répondre. Les comportements culturels observés n'impliquent que rarement des outils. Or on perfectionne plus facilement un ustensile qu'un choix alimentaire ! En outre, les études de la culture chez les gorilles n'en sont qu'à leur début. Nous ne sommes sans doute pas au bout de nos surprises. ■

Propos recueillis  
par Loïc MANGIN

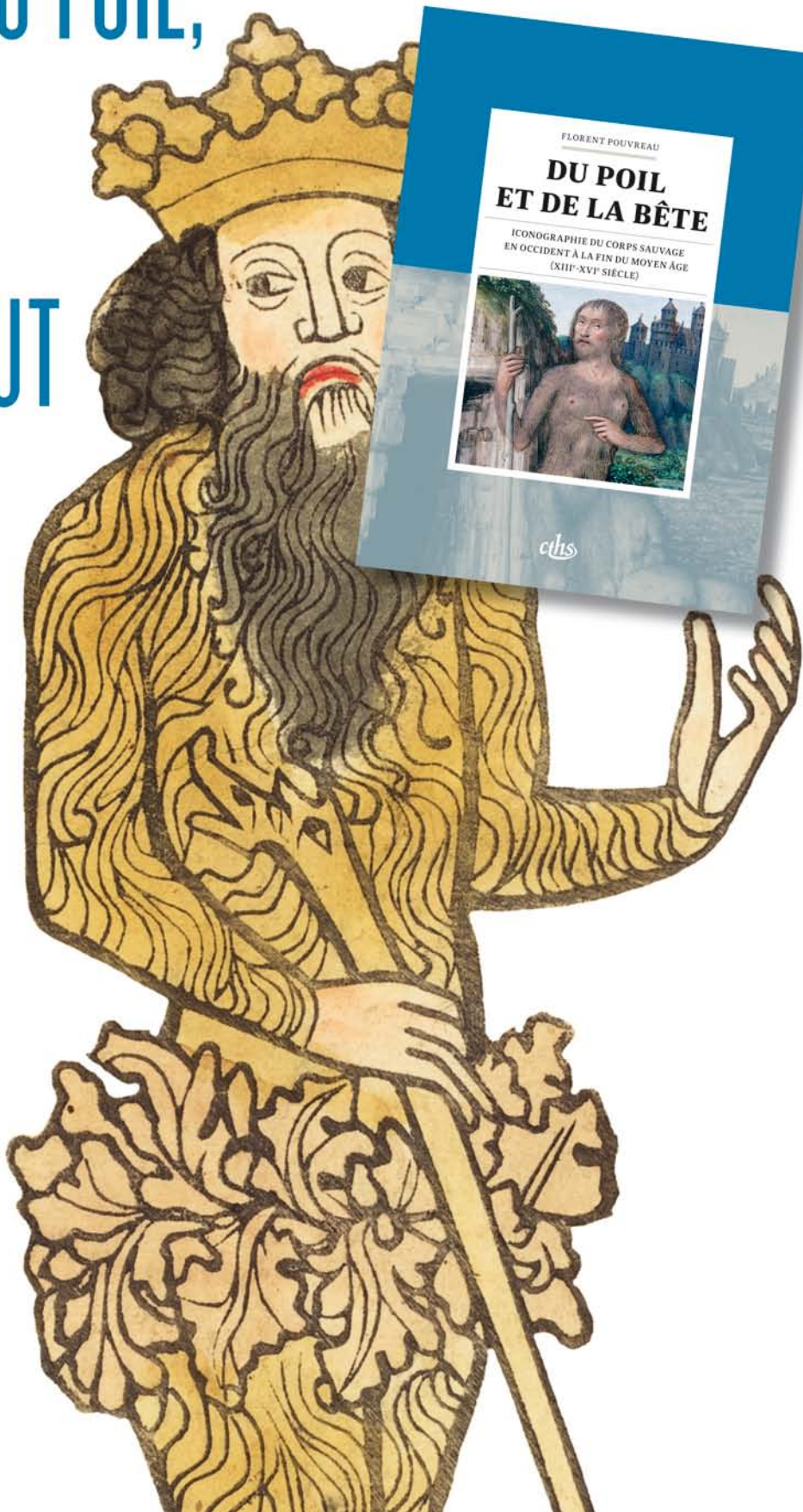


# UNE HISTOIRE ILLUSTRÉE DU POIL, DE LA BÊTE, MAIS SURTOUT DE L'HOMME.

EN LIBRAIRIE  
LE 29 JANVIER 2015

432 pages, 39 €,  
80 illustrations  
format 17 x 24 cm

cths





# L'homme : un singe à un poil près

Pourquoi, à l'inverse des autres primates, les humains ont-ils perdu leur fourrure ? Quand la peau nue est-elle apparue ? Des découvertes récentes répondent et révèlent les avantages de la disparition du pelage.

Nina JABLONSKI dirige le Département d'anthropologie à l'Université d'État de Pennsylvanie, aux États-Unis.

## L'ESSENTIEL

- La fourrure réchauffe le corps et protège de l'humidité, des rayons du soleil et des microbes.
- Pourtant, l'homme en est dépourvu. Il maintient constante sa température corporelle grâce à une transpiration unique et efficace.
- Les longs trajets des premiers hommes auraient favorisé la sélection d'une peau sans fourrure.
- À son tour, cette particularité aurait aidé au développement d'un grand cerveau.

**L'**orang-outan est doté d'une belle toison cuivrée. Les gorilles, les chimpanzés et les bonobos sont parés d'une fourrure brune ou noire. Et vous ? Seulement des cheveux et quelques régions pileuses bien localisées... Rien de plus. L'être humain est le seul primate à avoir une peau presque glabre. Plus encore, il se différencie de la sorte de la quasi-totalité des autres mammifères. Pourquoi l'homme est-il dépourvu de fourrure ? On s'interroge sur cette particularité depuis des siècles... en vain. Le registre fossile n'est d'aucun secours : la plupart des transitions importantes dans l'évolution humaine, telle l'émergence de la bipédie, y sont inscrites, mais il ne recèle aucune trace de peau humaine. Dès lors, doit-on renoncer à retracer l'histoire de la disparition de la pilosité humaine ?

## Une histoire au poil !

Non, car depuis quelques années, des paléontologues ont remarqué que les fossiles contiennent des preuves indirectes de la transformation de la peau humaine. Grâce à ces indices que nous décrirons et aux résultats obtenus depuis dix ans en génétique et en physiologie, nous pouvons aujourd'hui expliquer pourquoi les êtres humains ont perdu leur fourrure et estimer la période à laquelle cela s'est produit. En outre, selon le scénario que nous avons élaboré, l'apparition d'une peau quasi glabre a favorisé l'évolution d'autres caractéristiques humaines, notamment un cerveau très développé.

Pour comprendre pourquoi les ancêtres de l'homme ont perdu leur fourrure, voyons d'abord pourquoi d'autres espèces en ont une. Les poils sont un revêtement corporel spécifique des mammifères. En fait, avec l'allaitement des petits, ils en définissent la classe : tous les mammifères présentent au moins quelques poils (parfois temporairement) et la plupart en sont

shutterstock.com/eric lisseee (orang-outan)/kietr (homme)



abondamment pourvus. Les poils sont de bons isolants thermiques et protègent le corps contre l'abrasion, l'humidité, les rayons du soleil, les parasites et les microbes pathogènes. Ils servent aussi de camouflage et de moyen de communication.

Cependant, quelques lignées de mammifères ont acquis au fil du temps une fourrure si clairsemée et aux poils si fins qu'elle n'a plus aucun rôle. C'est le cas des animaux souterrains, tel le rat-taupe, et marins, notamment les baleines et les dauphins. Chez ces derniers, la peau lisse facilite la nage et la plongée. Pour compenser l'absence d'isolation thermique externe, ces animaux ont une couche de graisse sous la peau. En revanche, les animaux semi-aquatiques, par exemple les loutres, ont une fourrure dense étanche, qui emprisonne l'air pour permettre à l'animal de flotter plus facilement. Cette fourrure protège aussi la peau sur le sol.

Les plus grands mammifères terrestres (les éléphants, les rhinocéros...) ont également une peau nue, si bien qu'ils n'ont pas trop chaud. En effet, plus un animal est grand, plus sa surface corporelle est petite par rapport à sa masse, et plus il a des difficultés à évacuer l'excès de chaleur interne. Au Pléistocène – il y a entre deux millions et 10 000 ans –, les mamouths et autres parents des éléphants et des rhinocéros avaient de la fourrure, ce qui leur permettait de vivre dans des environnements froids. Leur isolation externe les aidait à conserver la chaleur du corps et à réduire leurs besoins alimentaires.

La peau quasi nue de l'homme n'est pas une adaptation à la vie souterraine ou aquatique, bien que certains pensent, à tort, que les ancêtres de l'homme soient passés par une phase aquatique au cours de leur évolution. Elle n'est pas non plus le résultat d'une grande taille. La peau est devenue presque glabre parce que l'homme a acquis un système de régulation efficace de sa température corporelle. C'est en tout cas ce que suggère l'efficacité de la transpiration humaine.

Garder une température corporelle basse est difficile pour de nombreux mammifères, et pas seulement pour les plus grands d'entre eux, en particulier lorsqu'ils vivent dans des régions chaudes et produisent beaucoup de chaleur en marchant et en courant longtemps. Ces animaux doivent réguler leur température interne, leurs tissus et organes,

notamment le cerveau, pouvant être endommagés par un excès de chaleur.

Les mammifères utilisent différentes tactiques pour diminuer leur température interne : les chiens halètent, certains félins vivent la nuit et beaucoup d'antilopes peuvent transférer la chaleur du sang artériel vers le sang veineux, rafraîchi lors de son passage dans les naseaux. Chez les primates, y compris l'homme, la principale stratégie est la transpiration. Elle rafraîchit l'organisme *via* un liquide, la sueur, qui s'évapore à la surface de la peau et, ce faisant, évacue de l'énergie thermique. Ce mécanisme est très efficace.

Mais la sueur diffère selon les espèces. La peau des mammifères contient trois types de glandes sudoripares (qui produisent la sueur) : les glandes sébacées, apocrines et eccrines. Les glandes sébacées et apocrines dominent chez la plupart des espèces. Situées près des follicules pileux – là où naît le poil –, elles produisent un mélange huileux qui enrobe le poil (*voir l'encadré page 80*). Cette sueur rafraîchit un peu l'animal à fourrure, mais la capacité de cette substance à dissiper la chaleur est faible.

Dans les années 1980, Edgar Folk, de l'Université de l'Iowa aux États-Unis, et ses collègues ont montré que l'efficacité du rafraîchissement diminue à mesure que la fourrure de l'animal se mouille et s'emmêle sous l'effet de cette sueur épaisse et huileuse. En effet, dans ce cas, l'évaporation a lieu à la surface de la fourrure et non à la surface de la peau, ce qui réduit le transfert de chaleur. Pour compenser cette perte d'efficacité thermique et se rafraîchir, l'animal doit boire beaucoup d'eau et réduire ses déplacements.

## De l'huile ou de l'eau ?

Chez l'homme, l'absence de fourrure améliore l'efficacité de la sueur. Qui plus est, l'homme a de nombreuses glandes eccrines, entre deux et cinq millions. Ces glandes peuvent produire jusqu'à 12 litres de sueur aqueuse par jour. Elles ne se trouvent pas près des follicules pileux, mais près de la surface de la peau où elles libèrent la sueur à travers de minuscules pores. La combinaison d'une peau presque nue et d'une sueur fluide qui se répand à sa surface, au lieu de s'accumuler dans une fourrure, permet à l'homme d'éliminer efficacement la chaleur en excès. Ce système de refroidissement de l'homme est si performant que lors d'un marathon, un jour de forte chaleur, l'homme gagnerait contre un cheval.

Qu'est-ce qui a favorisé l'émergence d'une peau presque nue et riche en glandes eccrines chez les

LA GLABRETÉ  
est l'apanage  
de l'être humain.



## UNE PEAU NUE POUR MIEUX SE DÉPENSER

**B**ien que les données fossiles ne préservent aucune trace directe de la peau humaine, on peut estimer à quelle époque est apparue la peau quasi nue en étudiant d'autres indices fossiles. Les pré-humains, tels que les australopithèques (a), avaient probablement des vies sédentaires, à l'instar des grands singes actuels, car ils vivaient près d'environnements boisés, riches en végétaux et en eau douce. Cependant, quand les forêts se sont réduites et que les prairies se sont étendues, les hominidés qui leur ont succédé, tel *Homo ergaster* (b), ont dû parcourir des distances de plus en plus importantes pour trouver de la nourriture, notamment de la viande. Ces hominidés, apparus il y a 1,6 million d'années, étaient probablement les premiers à avoir une peau presque nue et une sueur eccrine; cela leur aurait permis d'évacuer la chaleur corporelle engendrée par une activité physique importante.

**AUSTRALOPITHECUS AFARENSIS**, représenté ici par le fossile de Lucy (ci-dessous) datant d'il y a 3,2 millions d'années, ressemblait aux grands singes avec ses membres courts, peu adaptés pour parcourir de longues distances.



ancêtres de l'homme moderne alors que leur plus proche parent, le chimpanzé, conservait sa fourrure? Probablement un changement climatique.

Il y a trois millions d'années, la Terre s'est refroidie, entraînant l'assèchement de l'Afrique orientale et centrale où vivaient les ancêtres de l'homme. Moins arrosés, les environnements boisés des premiers hominidés ont laissé place à des prairies de savane ouvertes, et les aliments des australopithèques (fruits, feuilles, tubercules et graines) sont devenus rares et saisonniers. Ce fut aussi le cas pour l'eau douce. En conséquence, les ancêtres de l'homme ont abandonné leurs habitudes sédentaires pour un mode de vie plus actif. Ils ont recherché de la nourriture et de l'eau en parcourant des trajets de plus en plus longs.

C'est aussi à cette époque que les hominidés ont commencé à introduire la viande dans leur alimentation, comme en attestent les vestiges d'outils. Les aliments carnés sont plus riches en calories que les végétaux, mais ils sont plus rares. Les animaux carnivores doivent donc parcourir un plus vaste territoire que les herbivores pour se procurer assez de nourriture.

En outre, les proies animales, mobiles, obligent les prédateurs à dépenser plus d'énergie pour obtenir leur repas. Ainsi, le corps des hominidés chasseurs ou charognards, qui passaient encore du temps dans les arbres, était proche de celui des grands singes, mais il a évolué en un corps muni de longues jambes, adapté à la marche et à la course soutenues.

Toutefois, cette augmentation importante de l'activité des hominidés avait un prix : une élévation de la température corporelle et un risque

de surchauffe. Au début des années 1980, Peter Wheeler, de l'Université John Moore de Liverpool, en Angleterre, a simulé la chaleur à laquelle les ancêtres de l'homme ont dû résister dans la savane. En 1994, en utilisant ses résultats, nous avons montré que l'intensification de la marche et de la course aurait nécessité que les hominidés perdent leur fourrure et améliorent leur capacité de transpiration eccrine pour éviter la surchauffe.

### La première peau nue

Quand cette métamorphose s'est-elle produite? Des études indépendantes de D. Lieberman et de Christopher Ruff, de l'Université Johns Hopkins aux États-Unis, ont révélé qu'il y a environ 1,6 million d'années, un premier membre du genre humain, nommé *Homo ergaster*, avait acquis des proportions corporelles modernes favorisant des marches et des courses prolongées (voir l'encadré ci-dessus). En outre, des détails des surfaces articulaires de la cheville, du genou et de la hanche confirment que ces hominidés pratiquaient de telles activités. On en déduit que la transition vers la peau nue et un système de transpiration eccrine devait déjà être amorcée il y a 1,6 million d'années.

Les recherches en génétique sur la couleur de la peau fournissent un autre indice pour dater l'émergence de la peau presque glabre. En 2004, Alan Rogers, de l'Université de l'Utah aux États-Unis, et ses collègues ont examiné des séquences du gène humain *MC1R*, qui participe à la pigmentation de la peau. L'équipe a montré qu'un variant particulier du gène, toujours présent chez les Africains à pigmentation foncée, est





apparu il y a 1,2 million d'années. On pense que les premiers ancêtres humains avaient une peau rosée couverte d'une fourrure noire, un peu comme les chimpanzés aujourd'hui ; après la perte de la fourrure, l'acquisition d'une peau foncée, faisant écran au soleil, aurait été bénéfique.

Quelles ont été les autres évolutions ? La comparaison des génomes de différents organismes fournit quelques indices. Ainsi, l'une des différences les plus importantes entre l'ADN du chimpanzé et celui de l'homme réside dans les gènes codant des protéines qui contrôlent les propriétés de la peau. Les variants humains de certains de ces gènes codent des protéines qui rendent la peau étanche à l'eau et résistante aux éraflures, des propriétés importantes en l'absence de fourrure. L'apparition de ces variants aurait contribué à l'origine de la nudité en atténuant ses conséquences.

La peau humaine est une barrière importante grâce à la structure et à la composition de sa couche la plus externe, la couche cornée de l'épiderme. Cette couche contient plusieurs épaisseurs de cellules mortes aplaties renfermant de la kératine – une protéine fibreuse – et d'autres substances. En outre, des couches ultraminces de lipides entourent chacune de ces cellules.

La plupart des gènes contrôlant le développement de la couche cornée sont anciens et très bien conservés chez les vertébrés. Mais ceux qui déterminent la structure de la couche cornée humaine sont particuliers : leur apparition était probablement importante pour la survie. Ces gènes codent une combinaison unique de protéines qui ne sont présentes que dans l'épiderme, notamment de nouveaux types de kératine.

Plusieurs équipes étudient aujourd'hui les mécanismes de la fabrication de ces protéines. D'autres s'intéressent à l'évolution des kératines des poils corporels pour déterminer pourquoi les poils de la peau humaine sont épars et fins. En 2008, Roland Moll et ses collègues, de l'Université Philipps à Marburg, en Allemagne, ont montré que les kératines des poils corporels humains sont fragiles : ces derniers cassent facilement comparés à ceux d'autres animaux. Les kératines des poils humains n'auraient donc pas été aussi importantes pour la survie que les kératines des poils d'autres primates.

On cherche aussi à savoir comment la peau humaine a développé une telle abondance de glandes eccrines. Cette accumulation résulte probablement de modifications dans les gènes qui déterminent le devenir des cellules souches chez l'embryon.

### Des zones de pilosité préservées

Toutefois, les êtres humains n'ont pas totalement perdu leur fourrure : ils conservent quelques zones pileuses. Comment l'expliquer ? Les poils sous les aisselles et sur le pubis faciliteraient la propagation des phéromones – des composés chimiques qui déclenchent une réaction comportementale chez de potentiels partenaires sexuels – et permettraient de lubrifier des régions nécessaires à la locomotion. Quant aux cheveux, ils auraient été conservés pour éviter une chaleur excessive au sommet de la tête : en effet, une épaisse chevelure crée une couche d'air entre le cuir chevelu transpirant et la surface chaude des cheveux.

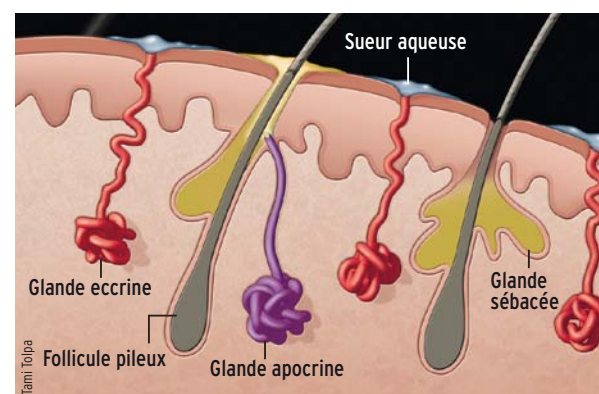
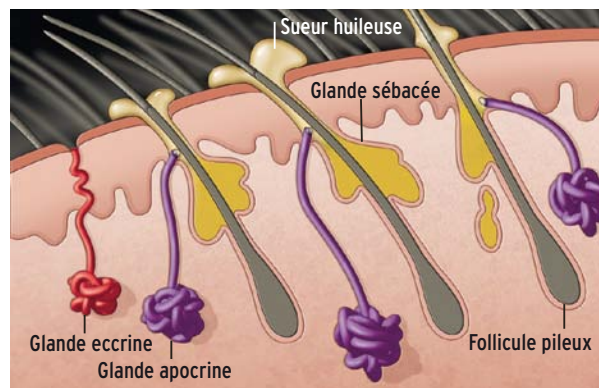
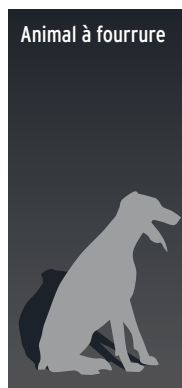
Des cheveux bouclés sont les plus efficaces, car ils augmentent l'épaisseur de l'espace entre la

## TRANSPIRER SANS FOURRURE

La peau humaine, dépourvue de fourrure, évacue mieux l'excès de chaleur de l'organisme qu'une peau couverte de fourrure. Les mammifères possèdent trois types de glandes sudoripares : les glandes apocrines, sébacées et eccrines.

Chez la plupart des mammifères, la couche la plus externe de la peau, nommée épiderme, contient un grand nombre de glandes apocrines, regroupées autour des follicules pileux. Ces glandes, avec les glandes sébacées, enrobent les poils de la fourrure d'une sueur huileuse. L'évaporation de cette sueur, qui rafraîchit l'animal en évacuant la chaleur de la peau, se produit à la surface de la fourrure.

Cependant, plus l'animal transpire, moins l'élimination de la chaleur est efficace, parce que la fourrure s'emmêle et gêne l'évaporation. En revanche, dans l'épiderme humain, ce sont les glandes eccrines qui prédominent. Ces glandes, situées près de la surface de la peau, libèrent une sueur fluide et aqueuse par de minuscules pores. Outre son évaporation directe sur la peau, cette sueur s'évapore plus facilement que la sueur apocrine, améliorant ainsi le rafraîchissement.



### livre

• N. JABLONSKI, *Skin: a natural history*, University of California Press, 2006.

### articles

• D. LIEBERMAN et D. BRAMBLE, *The evolution of marathon running: capabilities in humans*, in *Sports Medicine*, vol. 37, pp. 288-290, 2007.

• CHIMPANZEE SEQUENCING AND ANALYSIS CONSORTIUM, *Initial sequence of the chimpanzee genome and comparison with the human genome*, in *Nature*, vol. 437, pp. 69-87, 2005.

• A. ROGERS et al., *Genetic variation at the MC1R locus and the time since loss of human body hair*, in *Current Anthropology*, vol. 45, pp. 105-108, 2004.

surface des cheveux et le cuir chevelu, permettant à l'air d'y circuler. Néanmoins, l'évolution de la chevelure humaine reste à élucider.

Qu'en est-il des poils sur le corps ? Pourquoi existe-t-il une telle variabilité entre les hommes ? Le plus souvent, les populations ayant le moins de poils corporels vivent sous les tropiques, alors que les plus poilues vivent plutôt dans des régions moins chaudes. Pourtant, les poils ne tiennent pas vraiment chaud... Ces différences de pilosité sont en partie dues à la testostérone, une hormone sexuelle masculine, car, quelle que soit la population, les hommes ont davantage de poils corporels que les femmes. Plusieurs hypothèses ont été proposées quant à ce déséquilibre, mais aucune n'a été testée.

### Un cerveau plus gros, sans surchauffe

L'absence de fourrure a eu des effets importants sur les phases ultérieures de l'évolution humaine. La perte de la plupart des poils et la capacité de dissiper la chaleur corporelle par la transpiration eccrine ont facilité l'accroissement en volume de l'organe le plus sensible à la température, le cerveau.

Alors que les australopithèques avaient un cerveau d'une taille moyenne de 400 centimètres cubes (environ la taille du cerveau d'un chimpanzé), *Homo ergaster* avait un cerveau deux fois plus gros.

En un million d'années supplémentaire, le cerveau humain a gagné encore 400 centimètres cubes pour atteindre sa taille actuelle. Certes, plusieurs facteurs ont influé sur le développement du cerveau, par exemple l'adoption d'une alimentation assez calorique pour nourrir cet organe énergivore. Mais la perte de la fourrure a certainement joué un rôle dans l'évolution du cerveau humain.

L'apparition d'une peau quasi glabre a aussi eu des répercussions sociales. Les poils corporels de l'homme peuvent se hérissier quand les petits muscles à la base des follicules pileux se contractent. Mais ses poils sont si fins que l'homme ne communique pas aussi bien que les chats, les chiens ou les chimpanzés de cette façon. Il ne peut pas non plus paraître agressif ou se camoufler, comme le font le zèbre ou le léopard avec leur fourrure rayée ou tachetée.

En fait, des traits humains universels, tels le maquillage et les expressions faciales complexes, ont peut-être évolué après que l'homme a perdu la capacité de communiquer au moyen de sa fourrure. De même, la peinture corporelle, les cosmétiques, les tatouages et d'autres types de décoration de la peau existent dans toutes les cultures humaines, parce qu'ils véhiculent l'appartenance à un groupe, le statut et d'autres informations sociales importantes, autrefois codés par la fourrure. La peau nue n'a pas seulement rafraîchi l'homme, elle l'a aussi rendu humain. ■



# La planète des singes

**82** **Pouvons-nous vivre ensemble ?**

S. Krief, F. Pennec, V. Narat,  
M. Cibot et S. Bortolamiol

**90** **Gorilles dans la tempête**

Nelly Ménard  
et Pascaline Le Gouar

**98** **ENTRETIEN AVEC  
Emmanuelle Grundmann  
Les grands singes  
en situation critique**

**102** **PORTFOLIO  
Au secours  
des orangs-outans**

Marc Ancrenaz

**106** **À LIRE EN PLUS**



© 1997 CERN (Licence : CC-BY-SA-4.0)

**La domination de l'homme sur ses cousins et l'ensemble de la planète est lourde de conséquences : les grands singes sont menacés par la pollution, le braconnage, la déforestation... ainsi que par des maladies dont le virus Ebola. Les primates ont certes des bonnes capacités de résistance, mais ces dangers sont trop importants pour qu'ils puissent y faire face seuls.**

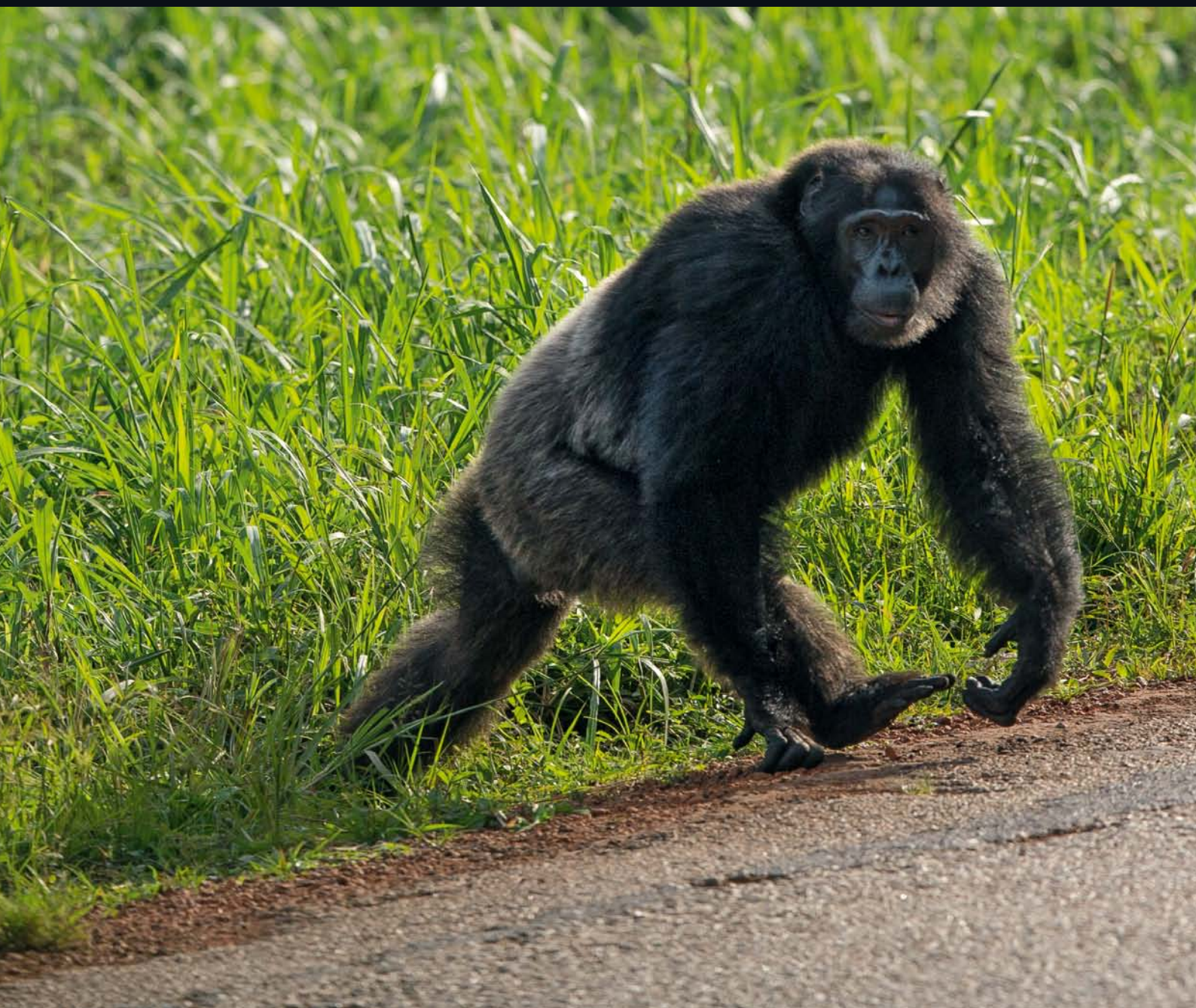


# Pouvons-nous vivre ensemble ?

S. KRIEF, F. PENNEC,  
V. NARAT, M. CIBOT  
et S. BORTOLAMIOL  
travaillent au Laboratoire  
écoanthropologie et  
ethnobiologie (UMR 7206),  
au Muséum national  
d'histoire naturelle, à Paris.

Les grands singes sont de plus en plus confrontés à la proximité avec les humains. Comment réagissent-ils aux menaces que représentent les activités humaines et quelles sont leurs capacités de résilience écologique ? Nos travaux répondent.

Jean-Michel Krief





**M**ercredi 20 février 2013, 15 heures. À mesure que nous avançons, la forêt fraîche et sombre laisse place à des buissons bas, les feuilles craquent sous nos pas. Des épis de maïs rongés jonchent le sol, mais on ne détecte aucune trace récente de chimpanzés. Au bord de la tranchée de deux mètres de profondeur qui marque la bordure du parc, le boîtier qui contient la caméra infrarouge est toujours solidement cadenassé à un tronc d'eucalyptus. Nous retirons la carte mémoire de l'appareil et l'introduisons dans le lecteur branché à notre petit ordinateur portable : 45 séquences ont été enregistrées...

Nous nous serrons autour de l'écran, impatients de découvrir si des chimpanzés sont venus pendant la semaine, attirés par le maïs mur.

Des images de nuit, une civette et, soudain, sur le troisième clip, des yeux brillants et des silhouettes imposantes, sombres. Ce sont bien des chimpanzés qui reviennent du champ de maïs en pleine nuit, saisis sur le fait par la caméra. Les images infrarouges ne sont pas bien nettes, mais on reconnaît Neptune, le vieux mâle, avec six épis dans les bras, et Butchaman, le mâle amputé par un piège, suivi par une mère portant son enfant. Nous sommes stupéfaits, l'enregistrement a eu lieu à 20 h 30, soit deux heures après le moment où les chimpanzés se couchent habituellement !

Cet exemple montre que les chimpanzés font preuve d'une étonnante flexibilité comportementale. Ils vont jusqu'à modifier leur rythme d'activité, habituellement uniquement diurne,

UNE ROUTE NATIONALE coupe le territoire des chimpanzés de Sebitoli, en Ouganda. Les singes la traversent parfois. C'est l'une des occasions où les villageois les rencontrent.

## L'ESSENTIEL

- Les grands singes sont de plus en plus confrontés à la proximité avec les humains.
- Pour la première fois, on découvre que les chimpanzés peuvent modifier leur rythme d'activité pour piller les champs de maïs une fois la nuit tombée.
- Des études poussées de cette cohabitation révèlent qu'elle n'est pas sans risques. Ainsi, certains chimpanzés pâtiraient des produits phytosanitaires.
- Toutefois, quand les populations humaines locales sont à l'initiative de la protection des primates, une cohabitation en bonne intelligence est possible.



pour limiter les risques engendrés par le gardiennage des villageois et se procurer une nourriture très calorique, en l'occurrence du maïs cultivé. En élargissant la problématique, on peut s'interroger sur la cohabitation des grands singes avec l'être humain. Est-elle possible? À quel prix? Peut-on l'aménager pour que tous en bénéficient? Doit-on au contraire ériger une barrière étanche?

### Deux régions, deux contextes

Pour répondre à ces questions, notre équipe étudie deux espèces de grands singes, les chimpanzés *Pan troglodytes* et les bonobos *Pan paniscus*, dans deux pays voisins, mais dans des contextes et des habitats très différents. Voyons dans le détail les situations locales.

En Ouganda, nous étudions la communauté de chimpanzés de Sebitoli, dans le parc national de Kibale. D'une superficie de 795 kilomètres carrés, il est entouré de régions à forte densité de population humaine (plus de 300 habitants au kilomètre carré). Composée d'environ 80 individus dont le territoire est situé

à l'extrême Nord du parc, la communauté de chimpanzés vit donc dans une zone subissant une forte pression anthropique.

En République démocratique du Congo (la RDC), nos travaux portent sur la communauté de bonobos de Manzano qui vit dans une zone de protection communautaire (gérée par l'association *Mbou-Mon-Tour*), dans une zone mosaïque de forêts et de savanes, à 300 kilomètres au Nord de Kinshasa. Ici, à l'inverse de la zone d'étude ougandaise, la densité de population humaine est faible, avec environ trois habitants au kilomètre carré.

Dans ces deux sites d'étude, les populations locales (les Tékés en RDC; les Toros et les Kigas en Ouganda) ne consomment pas de viande de grands singes. Une légende assez similaire dans les deux zones rapporte que les bonobos (ou les chimpanzés) seraient issus d'un homme et de sa femme qui, endettés, se seraient cachés dans la forêt. Là, nus et sans nourriture, à force de vivre dans cet environnement, ils seraient progressivement devenus des grands singes et se seraient ensuite multipliés.

À KIBALE, en Ouganda, les surfaces exploitées par l'homme (ici, une plantation de thé) entourent le parc national où vivent les chimpanzés de Sebitoli.





Cependant, les occasions de rencontre entre humains et grands singes diffèrent. En RDC, les activités traditionnelles (pêche, cueillette de feuilles de marantacées, chasse du petit gibier) sont pratiquées régulièrement dans l'habitat des bonobos. En revanche, en Ouganda, l'accès à la forêt, protégée par le statut de parc national, est strictement interdit aux populations locales. En RDC, les hommes et les femmes vont donc régulièrement en forêt, mais ils évitent la rencontre avec les bonobos, qui peut porter malheur. En Ouganda, les humains (en dehors des braconniers) voient uniquement les chimpanzés qui sortent des zones de forêt lors d'incursion dans leurs plantations agricoles ou lorsque ceux-ci traversent la route nationale très fréquentée qui coupe leur territoire.

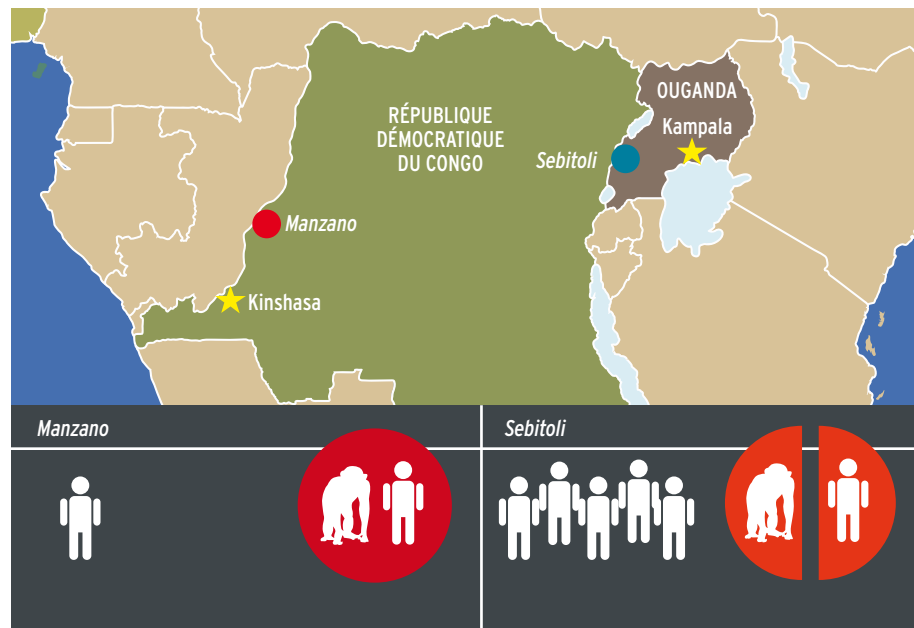
Par conséquent, le territoire des bonobos est englobé dans celui des villageois congolais, alors que le recouvrement du territoire des Ougandais et des chimpanzés est faible. En RDC, même si le territoire des bonobos est fréquemment parcouru par les humains, les occasions de rencontre sont peu nombreuses. À l'inverse, en Ouganda, les champs et les bords de route concentrent les zones d'usage commun entre les chimpanzés et les villageois. Les rencontres sont fréquentes entre, d'une part, les grands singes qui consomment la végétation herbacée du bord de la route très utilisée et pillent les champs et, d'autre part, les humains qui cultivent et surveillent ces champs et ceux qui empruntent la route.

### Drôle d'endroit pour une rencontre

Dans les deux sites, les grands singes ont eu l'occasion de voir des humains, en forêt pour les bonobos et dans les zones de contact pour les chimpanzés. Sauf dans les cas de pillages des cultures par les chimpanzés, les populations humaines ne sont pas directement menaçantes pour les grands singes. Ces derniers peuvent néanmoins être victimes de pièges, de véhicules ou de maladies humaines. Le plus souvent, les humains manifestent de l'indifférence vis-à-vis de ces « presque humains », voire les évitent. En effet, les femmes congolaises et ougandaises les craignent tout particulièrement. Enfin, le contexte local d'interdit alimentaire et d'absence de chasse des grands singes est favorable à leur étude.

Dans les deux sites, nous avons commencé en 2009 l'habituation, c'est-à-dire le fait de rendre les grands singes indifférents à nos observations. Les bonobos, d'une structure sociale plus cohésive permettant la rencontre d'une forte proportion de la communauté à chaque contact, ont rapidement toléré notre présence à une trentaine de mètres d'eux.

Quant aux chimpanzés, nombreux sont ceux qui, après cinq ans, fuyaient les observateurs se



trouvant à cette distance. Certains individus chimpanzés ne sont rencontrés que très rarement et souvent seuls. Cependant, d'autres, notamment des mâles adultes et des vieilles femelles, sont désormais bien habitués et leur présence dans un des sous-groupes rassure les individus les plus craintifs.

Sur les deux sites, des méthodes comparables d'étude de la composition et de la structure de la végétation ont été utilisées. Des recensements de l'ensemble des arbres (espèce, hauteur, diamètre à hauteur de poitrine...) ont été effectués dans des parcelles de 50 mètres de côté afin de connaître la répartition spatiale des ressources alimentaires disponibles. Nous avons aussi déterminé la disponibilité temporelle de celles-ci.

À Sebitoli, la forêt a été exploitée commercialement dans les années 1970, entraînant l'endommagement de près de la moitié des arbres du territoire des chimpanzés. De façon à mieux comprendre les facteurs expliquant la densité des chimpanzés, nous avons comparé trois sites dans le parc national de Kibale où les chimpanzés ont été habitués et pour lesquels les densités en chimpanzés varient : Sebitoli (densité de 4,1 grands singes au kilomètre carré), Kanyawara (densité de 1,5) et Ngogo (densité de 5,1).

Aujourd'hui, 70 pour cent du territoire des chimpanzés de Sebitoli (25 des 795 kilomètres carrés du parc) sont constitués à part égale de forêt en régénération et de forêt dégradée, alors que la végétation terrestre herbacée et la forêt mature ne représentent que 14 pour cent chacune de la zone. Ces proportions sont similaires à Kanyawara, alors que Ngogo compte trois fois plus de surface de forêt mature. La diversité en arbres est cependant plus élevée à Sebitoli que dans les autres sites.

LES DEUX ZONES où nous étudions la cohabitation humains-chimpanzés diffèrent notablement. À Manzano, en République démocratique du Congo, la densité humaine est faible, mais les territoires des deux espèces se recoupent. À l'inverse, à Sebitoli, en Ouganda, la densité humaine est importante, mais les territoires sont distincts.

La somme des surfaces terrières qu'occupent les 18 espèces d'arbres alimentaires les plus consommées par les chimpanzés de Sebitoli est deux à dix fois inférieure à celles des deux autres sites. Toutefois, parmi ces 18 espèces les plus consommées à Sebitoli, sept sont des ficus. Or ces espèces produisent des ressources alimentaires de façon asynchrone : ils fournissent des aliments tout au long de l'année. Ces ficus sont particulièrement présents dans les zones de forêt dégradée ou en régénération. Par ailleurs, les surfaces qu'ils couvrent sont deux à trois fois plus importantes à Sebitoli que dans les deux autres sites. Leur densité est également plus importante.

À Manzano, le groupe de bonobos étudié utilise 20 kilomètres carrés d'un fragment de forêt d'environ 30 kilomètres carrés entouré de savane arbustive. On trouve dans leur territoire des forêts caractéristiques du bassin du Congo, telles les forêts mixtes de terre ferme avec un sous-bois ouvert ou dense en marantacées (les grands singes en apprécient les fruits et la moelle des tiges), ainsi que les forêts périodiquement inondables où *Gilbertiodendron dewevrei* est parfois la seule espèce. Les bonobos en mangent les graines.

Leur habitat est également composé de forêts où la densité en arbres est plus faible, notamment avec peu de petits arbres, et où le sous-bois est dominé par des marantacées à lianes. La structure clairsemée des forêts à marantacées, qui présentent la plus forte diversité d'espèces d'arbres comparée aux autres types de forêts présents, peut être liée aux activités humaines comme l'extraction sélective de certaines essences d'arbres et la création de champs en bordure de savane. Des phénomènes naturels peuvent aussi être en cause, notamment la chute d'arbres (on parle alors de chablis). Les lisières sont constituées d'associations d'espèces végétales particulières, avec notamment la présence de *Pentaclethra eetveldeana*, une espèce colonisatrice de la savane.

Alors que les types de forêts rencontrés à Manzano ont une diversité spécifique plus faible que les autres sites d'étude, les bonobos étudiés ont montré une adaptation à cet écosystème particulier puisqu'ils utilisent des espèces végétales des savanes et de la lisière en plus des espèces alimentaires de forêt de terre ferme.

## Problèmes sanitaires

Nous nous attendions à ce que les chimpanzés pâtissent des conséquences de l'exploitation forestière sur leur territoire à Sebitoli. Pourtant, 40 ans après ces activités, la régénération de la forêt fournit une alimentation suffisante, expliquant une densité de population élevée. Quant aux bonobos, jamais décrits dans ce type d'habitat mosaïque, leur régime alimentaire montre qu'ils tirent bénéfice des lisières, intégrant dans les ressources alimentaires des espèces présentes uniquement dans cet écosystème. Quels risques naissent des proximités géographique et phylogénétique entre humains et grands singes ?



À MANZANO, en République démocratique du Congo, les bonobos partagent la forêt avec les humains.

shutterstock.com/Sergey Urjadinikov



Les plus importants sont d'ordre sanitaire. Dans les deux sites, nous avons étudié les parasites digestifs (les vers helminthes) des humains et des grands singes à partir de prélèvements fécaux analysés au microscope et par biologie moléculaire. En RDC, bien que les habitats des humains et des bonobos se chevauchent notablement, nous n'avons pas repéré de transmission d'helminthes entre les deux espèces. Pourtant, elles partagent des parasites des mêmes genres (*Necator* et *Enterobius*).

La situation est tout autre en Ouganda. Humains et chimpanzés partagent de faibles surfaces de territoire, mais des helminthes habituellement retrouvés chez les humains (*Oesophagostomum bifurcum* et *Ascaris lumbricoides*) ont été observés chez les chimpanzés. De même, un helminthe de chimpanzés (*Oesophagostomum stephanostomum*) a été isolé chez des humains vivant en lisière du parc. Ainsi, dans le cas où une conservation stricte est appliquée (en Ouganda), la probable transmission de parasites digestifs entre humains et chimpanzés est vraisemblablement due à l'utilisation commune et simultanée de petites zones (tels les champs que les humains protègent et que les chimpanzés pillent) et à la très forte densité humaine. En RDC, une densité humaine 100 fois inférieure, une répartition des activités humaines dans toute la forêt et l'évitement des rencontres expliquent le faible risque de transmission.

### Vols de nuit

Encerclé par des plantations de thé, de bananes plantains, d'eucalyptus ou de maïs au Nord, à l'Est et à l'Ouest et par la route au Sud, le Nord du territoire des chimpanzés de Sebitoli est un îlot de forêt dégradée et en régénération. Nous avons étudié leur utilisation du territoire afin de déterminer s'ils évitent cette zone confinée, les lisières de la forêt et le risque de rencontre avec les humains.

Les résultats montrent que le cœur de l'activité des chimpanzés que nous avons suivis au quotidien se situe au Nord de la route, au contact avec la lisière Ouest. À proximité de cette zone, nous avons posé une caméra vidéo à détection de présence et équipée d'un capteur à infrarouges en bordure d'un pré planté de maïs et séparé du parc par une tranchée de deux mètres de profondeur et autant de largeur. Ce fossé est destiné à empêcher l'intrusion des éléphants dans les cultures.

Le piège vidéo a été placé en face d'un arbre tombé qui formait un pont au-dessus de la tranchée. En 20 jours d'étude, 120 séquences ont enregistré la présence des chimpanzés. Les images

montrent des chimpanzés vigilants, se dressant en parfois bipédie avant de traverser la tranchée, puis faisant le guet dans un arbre afin de détecter la présence éventuelle de gardiens dans le pré, des grattages vigoureux et des diarrhées traduisant également leur anxiété.

Les chimpanzés perçoivent donc le risque associé au pillage, mais mâles et femelles de toutes les classes d'âge, y compris les individus mutilés, participent aux rapines en groupe d'en moyenne huit individus (le double des groupes observés en train de se nourrir en forêt).

Le plus inattendu, nous l'avons vu, est le fait que plus de 40 pour cent des pillages ont eu lieu après le coucher du soleil. Aucun de ces vols de nuit ne se déroule pendant la pleine lune et plus d'un tiers des sessions nocturnes se passent entièrement après le crépuscule, lorsque l'obscurité est totale. Les chimpanzés semblent beaucoup plus détendus que pendant la

journée et ils restent en moyenne deux fois plus longtemps dans le pré que lors des pillages diurnes. Ils rapportent moins d'épis et de tiges de maïs, préférant sûrement les consommer sur place.

Pourtant, les chimpanzés sont uniquement diurnes et moins de dix cas d'activités nocturnes ont été rapportés dans la littérature. Cette adaptation comportementale leur offre des ressources hautement nutritives en limitant les risques de détection. En effet, les villageois mentionnent des pillages nocturnes, mais toujours en précisant qu'il s'agit des nuits de pleine lune. Est-ce que les chimpanzés auraient commencé par piller au crépuscule et lorsque la nuit est claire avant de se livrer au pillage en pleine obscurité ?

### Victimes des pesticides ?

En procédant de la sorte, les chimpanzés évitent ainsi le risque d'être poursuivis par les chiens, les gardiens armés de lances et de pierres, mais un autre effet, insidieux, peut les toucher.

Quelque dix pour cent des chimpanzés de Sebitoli ont une apparence atypique, avec une face très aplatie et une réduction des narines. Mâles et femelles sont atteints dès la naissance par cette malformation faciale, et le plus âgé des chimpanzés atteints est un jeune adulte de 17 ans. En outre, une femelle arbore une fente labiale (un bec-de-lièvre) et plusieurs autres n'ont pas de cycle sexuel. Parmi les étiologies évoquées pour ces anomalies congénitales, nous envisageons l'intoxication des femelles pendant les premiers mois de gestation (par des produits phytosanitaires par exemple), mais nous n'excluons pas la

Pour expliquer  
les malformations  
congénitales,  
on incrimine  
les produits phytosanitaires.

consanguinité induite par le « cul-de-sac » que représente la zone de Sebitoli, phénomène encore amplifié par la route.

Dans ce contexte, le Projet *Conservation des Grands Singes* a mis en place des actions d'information et de sensibilisation à la conservation des grands singes et de leur habitat. Avec le Muséum national d'histoire naturelle, le programme développe une station de recherche et un centre d'information qui permettent aux populations locales de mieux connaître la faune sauvage et d'interagir avec les chercheurs et les gestionnaires pour limiter les conflits d'usage de territoires.

## Mobilisation générale

Dans la région de Manzano, les populations locales ont constaté une diminution importante des ressources alimentaires (gibiers et poissons) depuis près de 20 ans. L'augmentation de la population humaine, le passage d'une agriculture de subsistance à une autre plus commerciale, notamment pour alimenter la capitale Kinshasa, implique une augmentation des surfaces défrichées. Suite à ce constat, les villageois se sont mobilisés pour créer l'association *Mbou-Mon-Tour* en 1997, dans le but de mettre en place des activités alternatives de subsistance et de diminuer leur dépendance à la forêt.

C'est dans le cadre de ce projet que la protection communautaire des forêts et des bonobos a été mise en place à partir de 2001. Dans cet espace fragmenté, à l'extrême périphérie Sud-Ouest de l'aire de répartition des bonobos et très proche du fleuve Congo, la pression humaine est de plus en plus forte. Mais, la conservation communautaire peut favoriser la protection d'espaces forestiers où certaines activités humaines, telles l'agriculture et la chasse, sont interdites et d'autres, comme la cueillette, autorisées. Parallèlement ont été mises en place des activités alternatives de subsistance, parmi lesquelles l'agroforesterie, la pisciculture...

Des champs cultivés de façon traditionnelle, c'est-à-dire couvrant des petites surfaces et avec des longs temps de jachère, aideraient la régénération d'espèces alimentaires de base pour les bonobos. En effet, dans cet habitat particulier, nous avons mis en évidence la consommation toute l'année d'espèces pionnières, souvent retrouvées dans les anciens champs et les châblis : *Musanga cecropioides*, *Haumania liebrechtsiana*, *Pentaclethra eetveldeana*...

Les bonobos de Manzano, au sein de leur domaine vital, n'évitent pas particulièrement les zones les plus fréquentées par les humains, ni les lisières. En revanche, des observations ponctuelles

ont montré que les bonobos se déplaçaient à quelques dizaines de mètres lorsqu'ils entendaient des villageois arriver en forêt.

De plus, à une occasion, nous avons pu observer les bonobos traverser une route en terre d'environ six mètres de largeur. Bien que le trafic soit faible, un adulte a fait le guet pendant 35 minutes avant de traverser au sol avec sept congénères. Puis un cycliste est passé et les quatre autres individus n'ont pas traversé au sol, mais sont montés à environ 15 mètres de hauteur pour sauter par-dessus la route, entraînant la chute au sol du dernier juvénile. Bien que les humains ne représentent pas une menace directe pour les bonobos, ces derniers restent craintifs et prêts à une prise de risque importante pour les éviter.

En conclusion, en Ouganda, les chimpanzés de Sebitoli adaptent leurs comportements pour utiliser des ressources riches en énergie, mais présentes en dehors de la forêt, entraînant des transmissions de maladies et potentiellement des malformations dues aux produits phytosanitaires.

À l'inverse, en RDC, les bonobos de Manzano n'ont pas de conflits directs avec les humains, où les territoires sont partagés, mais les rencontres sont évitées. Ils ont adapté leur régime alimentaire à cet écosystème particulier dans lequel les activités humaines favorisent la régénération de la forêt. Ce sont les populations locales qui se sont mobilisées pour mettre en place des activités alternatives de subsistance et protéger les forêts et les bonobos.

## Les populations locales se mobilisent pour protéger les forêts et les bonobos.

## La cohabitation est possible

L'étude de ces deux communautés de grands singes montre que le genre *Pan* peut bien s'adapter à la proximité des humains. Cependant, leur tolérance aux menaces qui s'accumulent n'est pas illimitée. La mise à distance des humains et de la faune sauvage a parfois semblé être un moyen de protéger les espèces menacées. Toutefois, nos travaux montrent que la protection intégrale érode la connaissance qu'ont les populations locales des animaux sauvages et que leurs interactions se réduisent à des situations conflictuelles de pillage. Pourtant, dans un contexte d'autorégulation des activités, on peut protéger une espèce emblématique.

Néanmoins, les contextes sont uniques et nos deux sites d'études révèlent qu'il est indispensable que les populations locales soient informées et impliquées dans les actions de préservation des grands singes. Dans le meilleur des cas, elles devraient être à l'origine de projets qui associent santé, éducation, développement et conservation de la nature. ■

## articles

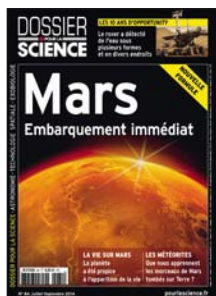
• S. KRIEF *et al.*, *Wild chimpanzees on the edge : nocturnal activities in croplands*, in *PLoS ONE*, vol. 9(10), e109925, 2014.

• S. BORTOLAMIOL *et al.*, *Suitable habitats for endangered frugivorous mammals : small-scale comparison, regeneration forest and chimpanzee density in Kibale National Park, Uganda*, in *PLoS ONE*, vol. 9(7), e102177, 2014.





N° 85 - oct.-déc. 2014  
□ réf. M0770685



N° 84 - juill.-sept. 2014  
□ réf. M0770684



N° 83 - avr.-juin 2014  
□ réf. M0770683



N° 82 - janv.-mars 2014  
□ réf. M0770682



N° 81 - oct.-déc. 2013  
□ réf. M0770681



N° 80 - juill.-sept. 2013  
□ réf. M0770680



N° 79 - avr.-juin 2013  
□ réf. M0770679



N° 78 - janv.-mars 2013  
□ réf. M0770678



N° 77 - oct.-déc. 2012  
□ réf. M0770677



N° 76 - juill.-sept. 2012  
□ réf. M0770676



N° 75 - avr.-juin 2012  
□ réf. M0770675



N° 74 - janv.-mars 2012  
□ réf. M0770674



N° 73 - oct.-déc. 2011  
□ réf. M0770673



N° 72 - juill.-sept. 2011  
□ réf. M0770672



N° 71 - avr.-juin 2011  
□ réf. M0770671



N° 70 - janv.-mars 2011  
□ réf. M0770670



N° 69 - oct.-déc. 2010  
□ réf. M0770669



N° 68 - juill.-sept. 2010  
□ réf. M0770668

**Nouveau ! Toutes les archives depuis 1996 sur [www.pourlascience.fr](http://www.pourlascience.fr)**

## BON DE COMMANDE

à découper ou à photocopier et à retourner accompagné de votre règlement à : Groupe Pour la Science • 628 avenue du Grain d'Or • 41350 Vineuil

**DOSSIER  
POUR LA  
SCIENCE**

☐ Oui, je commande des numéros de *Dossier Pour la Science* au tarif unitaire de 5,90€ dès le 2<sup>e</sup> acheté.

Je reporte ci-dessous les références à 6 chiffres correspondant aux numéros commandés et au format souhaité :

1<sup>re</sup> réf. \_\_\_\_\_ 01 x 6,95 € = \_\_\_\_\_ 6,95 €

2<sup>e</sup> réf. \_\_\_\_\_ x 5,90 € = \_\_\_\_\_ €

3<sup>e</sup> réf. \_\_\_\_\_ x 5,90 € = \_\_\_\_\_ €

4<sup>e</sup> réf. \_\_\_\_\_ x 5,90 € = \_\_\_\_\_ €

5<sup>e</sup> réf. \_\_\_\_\_ x 5,90 € = \_\_\_\_\_ €

6<sup>e</sup> réf. \_\_\_\_\_ x 5,90 € = \_\_\_\_\_ €

Frais port (4,90€ France - 12€ étranger) + \_\_\_\_\_ €

Je commande la reliure *Pour la Science* (capacité 12 n°) au prix de 14 €

**TOTAL À RÉGLER**

= \_\_\_\_\_ €

**J'indique mes coordonnées :**

Nom : \_\_\_\_\_

Prénom : \_\_\_\_\_

Adresse : \_\_\_\_\_

C.P. : \_\_\_\_\_ Ville : \_\_\_\_\_

Pays : \_\_\_\_\_ Tél. : \_\_\_\_\_

Pour le suivi client (facultatif)

**Mon e-mail pour recevoir la newsletter *Pour la Science* :**

\_\_\_\_\_ \* à remplir en majuscules

**Je choisis mon mode de règlement :**

☐ par chèque à l'ordre de *Pour la Science*

☐ par carte bancaire

Numéro \_\_\_\_\_

Date d'expiration \_\_\_\_\_

Code de sécurité \_\_\_\_\_

(les 3 chiffres au dos de votre CB)

Signature obligatoire

En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe Pour la Science. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher la case ci-contre ☐.



# Gorilles dans la tempête

Tous les gorilles sont actuellement menacés d'extinction.  
Comment expliquer un statut aussi précaire ?  
Entre le braconnage, la déforestation et les maladies,  
ces primates ont bien du mal à survivre.

Nelly MÉNARD  
est directrice  
de recherche CNRS.

Pascaline LE GOUAR  
est maître de conférence et  
coordinatrice de l'ANR IDiPop.  
Toutes deux travaillent  
à la Station biologique  
de Paimpont, au Laboratoire  
ECOBIO (CNRS/Université  
de Rennes 1).

## L'ESSENTIEL

- On distingue quatre sous-espèces de gorilles qui vivent du golfe de Guinée à la région des grands lacs, en Afrique.
- Toutes sont menacées par divers dangers : la fragmentation des habitats, le braconnage et plusieurs maladies.
- Parmi ces maladies, plusieurs, tel Ebola, touchent les humains.
- L'organisation sociale de ces primates rend difficile la récupération des populations.
- Les mesures de protection existent, mais elles manquent de financement.

**E**n 2004, un des groupes de gorilles que nous étudions a été affecté par Ebola. Ce fut une hécatombe : en quelques mois, l'effectif est tombé de 400 à 38 individus. Ainsi, le virus qui a fait près de 6 900 décès pour environ 19 000 cas selon le bilan officiel de l'Organisation mondiale de la santé (le 15 décembre 2014), essentiellement en Guinée, au Liberia et en Sierra Leone, n'est-il pas un fléau que pour l'être humain, il décime également les gorilles, parmi d'autres espèces. Les fièvres hémorragiques ne sont pas les seules menaces pesant sur l'avenir de ces grands singes qui sont actuellement en danger d'extinction selon les critères de l'Union internationale pour la conservation de la nature (l'UICN).

De fait, plusieurs raisons expliquent le statut aussi précaire de ces grands primates qui ne craignent pas beaucoup d'autres animaux hormis l'homme. Après avoir décrit l'organisation sociale des gorilles (un paramètre important de leur survie), nous verrons que ces animaux pâtissent de la disparition et de la fragmentation des forêts dues à l'agriculture et à l'exploitation forestière commerciale, mais aussi du braconnage et, nous l'avons vu, des maladies. De plus, ils vivent dans des pays instables où les guerres civiles exacerbent encore ces menaces et réduisent l'efficacité des politiques de conservation.


## Vie en société

Les gorilles sont des animaux sociaux, à l'instar de la plupart des primates. Cependant, alors que les femelles et les immatures mènent obligatoirement une vie de groupe, tous les mâles expérimentent plusieurs années de vie solitaire au cours de leur existence. Ce sont les mâles à dos noir lorsqu'ils sont adolescents ou à dos argenté à l'âge adulte.

Les groupes sont de type harem, dominés par un seul mâle à dos argenté, et parfois deux, notamment chez les gorilles de montagne, l'une des quatre sous-espèces de gorilles que les spécialistes distinguent (*voir l'encadré page 92*). Ces assemblées sont des entités sociales temporaires, car tous les individus qui y naissent, mâles et femelles, s'en éloignent au moment de leur maturité sexuelle. Ce phénomène est

Shutterstock.com/Eliot Hurwitt



A close-up photograph of a silverback gorilla. The gorilla has dark grey fur and a prominent reddish-brown patch on its forehead. It is looking directly at the camera with a serious expression. Its hands are raised to its head, with fingers spread. The background is a blurred green forest.

UNE FOIS DOS ARGENTÉ, un gorille prend la tête d'un groupe reproducteur après avoir passé plusieurs années en solitaire.



nommé dispersion natale. Les femelles adultes du harem quittent également le mâle après quelques années de reproduction pour s'associer à un mâle solitaire ou rejoindre un autre groupe. On parle alors de dispersion secondaire.

La première étape de la formation d'un harem, la phase « naissante », débute donc quand un mâle solitaire réussit à retenir une ou deux femelles adultes. Un groupe moyen parvenu à « maturité » peut réunir huit femelles adultes et leurs descendants chez le gorille des plaines de l'Ouest, la sous-espèce la plus représentée.

À l'inverse, à l'approche de la fin du harem, pendant la phase « sénescence », le mâle perd progressivement les membres de son groupe. Il redevient

alors solitaire après avoir présidé un harem durant une dizaine d'années. Chez ces gorilles, dans une population à un moment donné, environ 40 pour cent des mâles adultes sont exclus de la reproduction, la plupart menant une vie solitaire pré ou postreproductrice. Néanmoins, une petite partie d'entre eux vit dans des groupes non reproducteurs, composés essentiellement d'immatures en cours de migration auxquels la vie en groupe procure une certaine sécurité.

Dans ce type de société, les femelles adultes d'un groupe n'ont aucun lien de parenté et ce sont les relations entre le mâle et les femelles qui maintiennent la cohésion du groupe. À l'occasion des rencontres entre groupes, les femelles peuvent juger des qualités des mâles à dos argenté du voisinage

## Des situations bien différentes

On distingue quatre sous-espèces de gorilles. Deux sont localisées dans la partie orientale de l'Afrique et deux dans la partie occidentale. Trois d'entre elles sont en danger critique d'extinction et la quatrième (*Gorilla beringei graueri*) en danger. Leur distribution géographique est désormais relativement bien dessinée, mais leur densité n'est le plus souvent connue que pour quelques sites et périodes donnés. La carte montre que la taille et la continuité des forêts, et donc celles des populations de gorilles, varient notablement selon les sous-espèces. Chaque situation reflète l'histoire, notamment climatique, et les pressions humaines contemporaines.



La sous-espèce *Gorilla gorilla gorilla*, ou **gorille des plaines de l'Ouest**, a la plus large distribution. Elle occupe de vastes forêts au Gabon, au Congo, en Guinée équatoriale et au Sud du Cameroun. Les plus fortes densités sont supérieures à cinq individus par kilomètre carré et peuvent diminuer jusqu'à 0,2 individu par kilomètre carré. Toutefois, certaines zones de cette vaste aire de répartition restent

encore peu explorées. On estime actuellement la population totale de gorilles de plaine de l'Ouest à environ 150 000 à 200 000 individus.



Les **gorilles de la rivière Cross** *Gorilla gorilla diehli* ont une distribution discontinue de part et d'autre de la frontière du Nigeria et du Cameroun. Il ne resterait qu'environ 300 individus sur un territoire de moins de 10 000 kilomètres carrés. La fragmentation de la population est importante puisque les gorilles sont répartis en 12 à 14 sous-populations. Des études génétiques récentes

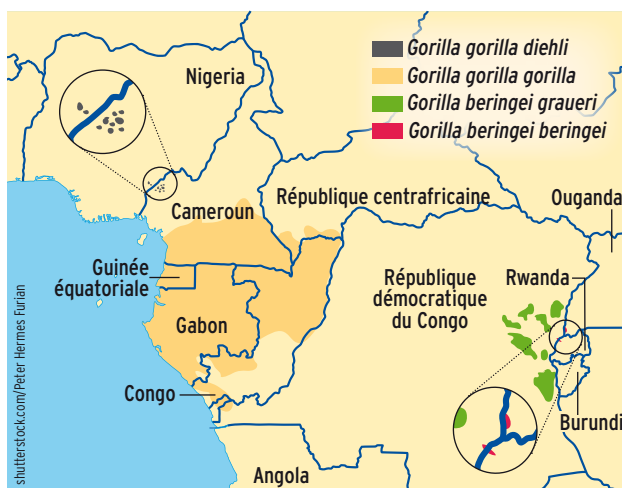
suggèrent néanmoins que certaines sous-populations échangent encore occasionnellement quelques individus. En effet, le principal facteur de fragmentation des populations semble être lié plutôt aux perturbations par les activités humaines (braconnage, usage des ressources forestières) qu'à la dégradation de la forêt et au manque de ressources alimentaires pour les gorilles. En fait, une part importante de milieux écologiquement favorables pour ces gorilles reste inoccupée. Ces territoires sont une opportunité pour une plus grande population de gorilles, à supposer que les pressions anthropiques et la chasse diminuent.



Le **gorille de montagne** *Gorilla beringei beringei* est la sous-espèce la plus étudiée et sur laquelle de gros efforts de conservation ont été consentis au cours des 40 dernières années. La population est fragmentée en deux sous-populations distinctes : celle du massif des Virunga, au Rwanda, est estimée à 480 gorilles ; celle de la forêt de Bwindi, en Ouganda, rassemble environ 300 gorilles.



La population totale de **gorille des plaines de l'Est** *Gorilla beringei graueri* a décliné de façon dramatique au cours des 15 dernières années en raison d'une déforestation accrue et du manque de contrôle pendant la guerre civile. Les besoins en charbon de bois ont augmenté. La population est très fragmentée, en particulier les sous-populations de basse et haute altitudes qui sont désormais totalement isolées.



LA DISTRIBUTION et la taille des populations de gorilles varient selon la sous-espèce. Trois sous-espèces ont une aire de distribution réduite et très fragmentée, ce qui fragilise la résistance de leurs populations aux perturbations.



(force, santé, capacité à les protéger) et décider ou non de changer de groupe. Elles évitent ainsi les risques d'une période de migration solitaire. On ignore la distance totale de migration d'un gorille au cours de sa vie, mais des études génétiques à différentes échelles spatiales ont montré que les mâles migrent plus loin que les femelles. Ils sont en conséquence moins apparentés que celles-ci à une échelle locale. Voyons maintenant les menaces qui pèsent sur les populations et le destin des gorilles.

### La bombe de la fragmentation

La réduction des forêts conduit à une diminution et à une fragmentation des milieux favorables aux gorilles. Les populations sont alors isolées les unes des autres dans des portions de forêt parfois de petite taille. Cependant, pour suivre ce phénomène, on doit connaître la densité et la distribution des gorilles, ce qui représente un vaste défi pour les primatologues. En effet, ces primates vivent dans des forêts denses où il est très difficile de les approcher et de les observer. Pour les recenser, les primatologues optent pour des méthodes indirectes. Ils utilisent des indices de présence récente des gorilles, notamment le « nid » que chaque individu construit tous les soirs sur le sol pour passer la nuit.

Hormis les solitaires qui dorment seuls, les individus d'un même groupe font leur nid les uns à côté des autres. Les enfants dorment avec leur mère. Les sites de nids apportent donc des informations précieuses sur la taille et la composition des groupes. Les primatologues parcourent des circuits rectilignes de plusieurs kilomètres dans la forêt à la recherche de ces indices. Ils répètent l'opération autant de fois qu'il le faut pour obtenir des approximations acceptables de la densité des populations. Plus les densités de gorilles sont faibles, plus ils doivent répéter ces circuits. Des analyses statistiques appropriées permettent ensuite d'estimer les densités, ainsi que leur degré d'incertitude.

Une méthode complémentaire prometteuse permet aujourd'hui d'affiner les estimations de densités et de taille des populations. Il s'agit de la méthode par « capture et recapture » d'échantillons de fèces collectés à plusieurs périodes. Grâce aux développements de la génétique, l'ADN des gorilles peut en effet être extrait de ces prélèvements et analysé afin d'établir des cartes d'identité individuelles. On pourra ainsi mieux estimer les tailles des populations et leurs fluctuations temporelles. Hélas, on peut d'ores et déjà se rendre compte de la situation critique.

Globalement, au cours de la dernière décennie, environ 208 000 kilomètres carrés d'habitats favorables pour les gorilles ont disparu. On estime en particulier à plus de 50 pour cent la perte des habitats des gorilles de la Rivière Cross et des gorilles de plaine de l'Est. La fragmentation des forêts fait

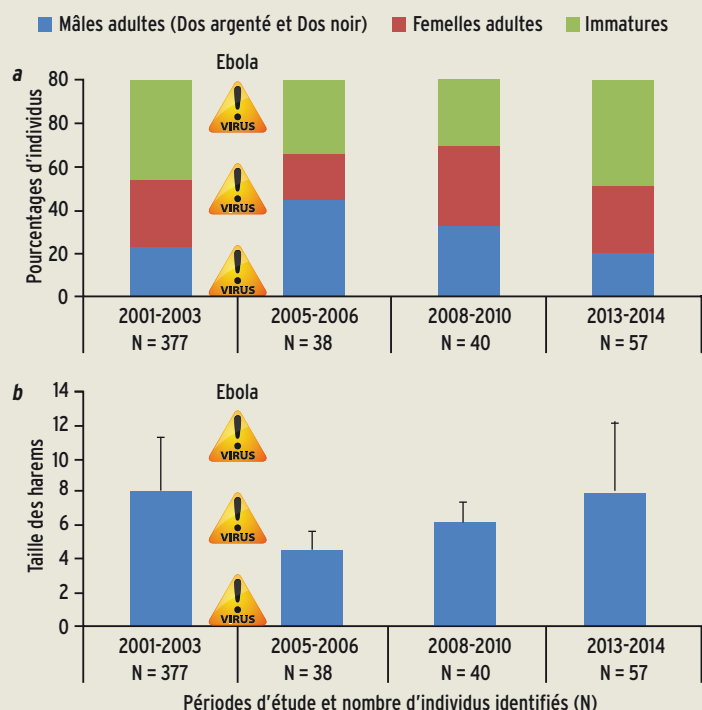
peser de gros risques sur les populations de gorilles, car celles qui vivent dans de très petites forêts ont des probabilités élevées de disparaître totalement à la suite d'une catastrophe démographique (après une épidémie, par exemple) ou environnementale (telle la recrudescence du braconnage).

La fragmentation des forêts augmente les zones de contact avec les activités humaines, les populations des petites forêts étant proportionnellement les plus exposées. Qui plus est, la dynamique sociale de la population est perturbée, car la migration des individus à la recherche de partenaires ne peut plus se faire sur des échelles spatiales suffisantes. Les flux géniques sont restreints et les petites populations sont sujettes à la consanguinité. Cette situation, associée à la lenteur de leur reproduction, fragilise les gorilles lorsqu'ils font face à des pressions évolutives fortes, notamment les maladies émergentes. Avant de voir ce qu'il en est de ces pathologies, examinons d'abord le problème du braconnage.

Moins de 20 pour cent des gorilles vivent dans des aires protégées, et ce n'est pourtant pas

## Les ravages d'Ebola

Les épidémies Ebola bouleversent profondément la structure des populations de gorilles, et la récupération est lente. Dans une population de gorilles des plaines de l'Ouest affectée par le virus Ebola en 2004, les effectifs ont chuté de 377 individus à 38. La récupération est longue et, dix ans après, ils ne sont remontés qu'à 57. En revanche, au terme de cette même période, les proportions des différents types d'individus (*a*, les femelles en rouge, les mâles en bleu et les immatures en vert) sont revenues à ce qu'elles étaient avant l'épidémie. De même, la taille moyenne des harems (*b*), divisée par deux par l'épidémie, a retrouvé des valeurs normales. Les barres verticales, qui indiquent les variations autour de la moyenne, montrent que la population se compose alors de groupes de petite à grande taille, tandis qu'elle ne comprenait que des groupes de petite taille juste après l'épidémie.



un gage de sécurité. En effet, la plupart de ces aires protégées connaissent une recrudescence du braconnage quand la pression par les gardes se relâche. C'est le cas lorsque des conflits armés entraînent de l'instabilité, ou bien quand les entreprises de conservation subissent des difficultés financières. On assiste parfois à des retournements dramatiques quand les désengagements financiers épisodiques des bailleurs de fond encouragent certains gardes, en rupture de salaires, à reprendre leur ancien métier, à savoir braconnier.

## Braconnage et maladies

Le braconnage alimente souvent des trafics commerciaux qui visent à fournir les grandes villes en viande de brousse. La conservation des gorilles s'inscrit donc dans un contexte socio-économique complexe. L'exemple des gorilles de l'Est est édifiant. La guerre civile et l'instabilité politique en République démocratique du Congo (la RDC) et au Rwanda au cours des 25 dernières années ont rendu très difficile le contrôle par les gardes des frontières des aires protégées, où les belligérants armés se sont souvent réfugiés, à l'abri des forêts.

Une autre cause favorisant le braconnage est le développement des exploitations minières, et notamment l'installation d'exploitants illégaux de minerais de grande valeur tels l'or, les diamants, l'étain et le coltan (un alliage prisé pour la construction d'appareils électroniques, dont les téléphones mobiles). Ces activités entraînent l'augmentation des besoins en viande de brousse, tandis que le développement associé d'infrastructures routières profite au trafic à grande échelle.

Le braconnage étant par nature clandestin, le nombre de gorilles tués est difficile à estimer précisément. Cependant, en raison du faible taux de reproduction des gorilles, même un niveau de braconnage restreint peut conduire au déclin d'une population, surtout quand elle est petite. La récupération de la population pourra demander plusieurs générations. De plus, le mode de vie sociale des gorilles fragilise les populations que le braconnage peut déstructurer de façon dramatique. Ainsi, la mort d'un mâle à dos argenté conduit inévitablement à la désintégration de son groupe; les femelles et leurs jeunes se dispersent alors à la recherche d'un nouveau groupe. Cette migration forcée augmente les risques de mortalité et d'infanticide par les mâles lorsque les femelles sont accompagnées d'un enfant non sevré. Enfin, à la fragmentation des habitats et au braconnage s'ajoutent les maladies à la liste des dangers pesant sur les populations de gorilles.

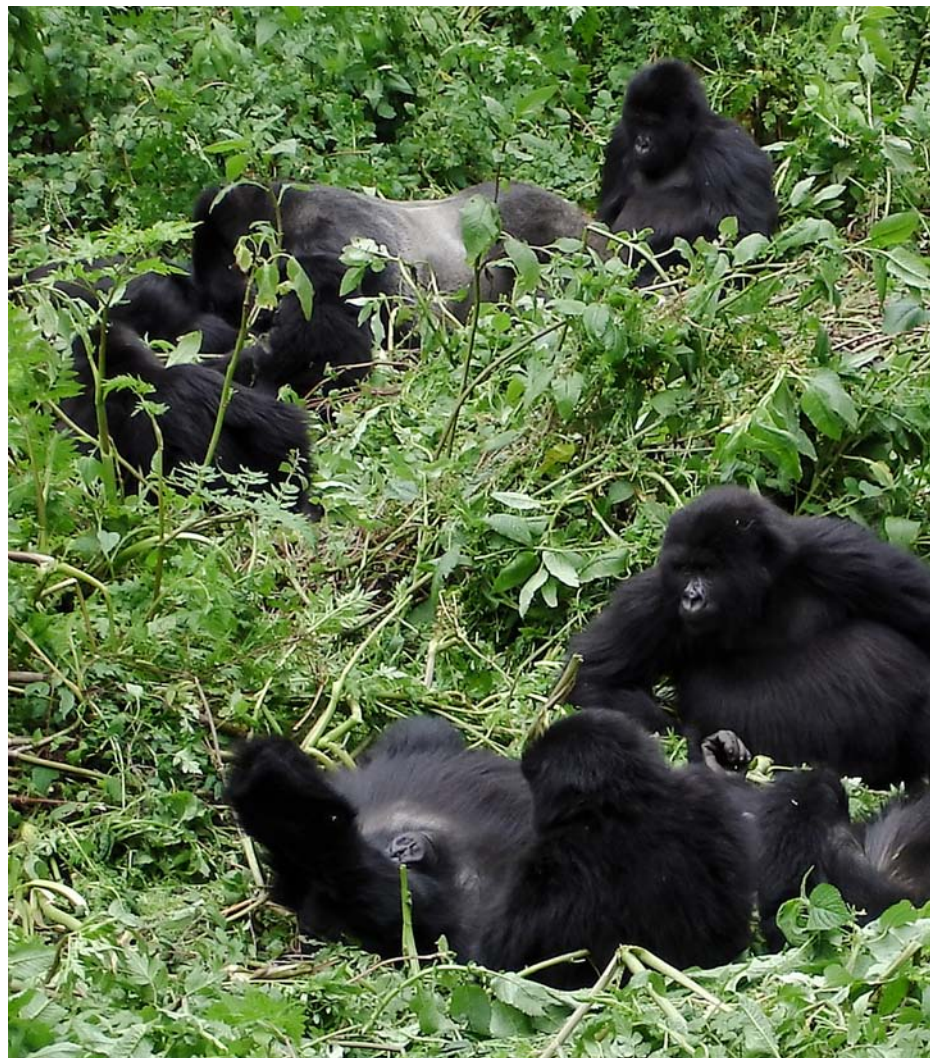
Les hommes et les gorilles partagent 99 pour cent de leurs gènes. Les virus et les agents pathogènes adaptés à l'homme se propagent donc facilement chez le gorille (voir l'encadré page 96), mais les

conséquences diffèrent. Par exemple, un virus le plus souvent anodin et répandu chez l'homme, tel celui de la grippe, peut avoir des effets graves lorsqu'il se propage chez le gorille. Au Rwanda, dans les populations de gorilles des montagnes habitués à la présence de l'homme, 24 des 100 morts recensées entre 1968 et 2004 sont dues à des troubles respiratoires d'origine humaine.

Lorsqu'une espèce et un agent pathogène coexistent depuis longtemps, des stratégies de virulence du pathogène et de défense de l'hôte sont sélectionnées naturellement. Cela se traduit par un équilibre du système, l'agent pathogène devenant un agent régulateur des effectifs des populations hôtes. Chez le gorille des plaines de l'Ouest, des maladies de peau, nommées pian, dues à la bactérie *Treponema pallidum pertenue*, sont fréquentes dans les populations sauvages: environ 17 pour cent des individus sont atteints dans les populations denses. Cette maladie invalidante diminue les performances reproductrices des mâles affectés, mais son impact sur la croissance des populations est faible.

À l'inverse, lorsqu'une nouvelle maladie apparaît, le système immunitaire de l'espèce hôte n'est pas encore armé pour la contrer: la mortalité est très élevée et la démographie s'effondre. La fragmentation des milieux forestiers a augmenté la fréquence des contacts entre l'homme et la faune sauvage, ce qui

LES GORILLES DES MONTAGNES (ici, au Rwanda) constituent l'espèce pour laquelle le plus d'efforts de protection sont consentis.





favorise le risque d'échange de maladies entre les deux espèces. Ainsi, des épidémies touchant les populations sauvages forestières peuvent se propager dans les populations humaines utilisant les mêmes forêts.

C'est le cas lors des épidémies à virus Ebola, où les hommes chassant et consommant de la viande d'animaux infectés sont contaminés. Le virus Ebola a été identifié chez l'homme pour la première fois en 1976, au Zaïre (l'actuelle RDC) et au Soudan, où l'on a comptabilisé 602 cas. Des épidémies ont ensuite eu lieu de 1994 à 1996 au Gabon et en RDC (427 cas), de 2000 à 2004 en Ouganda, au Gabon, au Congo et au Gabon (692 cas), en 2007 et 2008 en RDC et en Ouganda (433 cas) et enfin, depuis décembre 2013 en Guinée, au Liberia et en Sierra Leone (le 12 novembre 2014, l'OMS recensait 14 098 cas pour 5 160 décès). Cette dernière épidémie est la plus importante recensée à ce jour.

Le virus Ebola cause une fièvre hémorragique létale, le taux de mortalité moyen étant de 80 pour cent. Des analyses moléculaires ont révélé que le virus Ebola est vieux de 1 000 à 2 000 ans et qu'il n'aurait émergé que depuis 1970, après une cascade d'événements génétiques. Les réservoirs sains sont encore mal connus, l'hypothèse la plus

**Moins de 20 pour cent des gorilles vivent dans des aires protégées, et ce n'est pas un gage de sécurité.**

fréquemment avancée étant que le virus est présent dans les populations de chauves-souris forestières frugivores. Cette hypothèse est soutenue par la détection d'anticorps dirigés contre les virus Ebola dans le sérum de ces espèces.

La transmission aux autres mammifères (les primates et certains ongulés) s'effectuerait *via* la consommation de fruits souillés par la salive ou les déjections des chauves-souris. Cependant, les conditions d'émergence de la maladie, un événement par définition imprévisible, restent difficiles à élucider, particulièrement en milieu forestier dense. En outre, la courte période d'incubation (de 2 à 21 jours) et une mortalité élevée rendent encore plus complexe la détection des émergences en forêt.

Néanmoins, la phase épidémiologique de propagation est plutôt bien connue. Les individus s'infectent par contact direct avec des liquides organiques d'individus malades (sang, excréments, salive...). Dans le contexte d'épidémie Ebola, la vie en groupe apparaît comme une faiblesse. Chez le gorille, le taux de mortalité des individus vivant en groupe est 20 pour cent supérieur à celui des individus solitaires.

Nous pouvons apporter ces résultats grâce au suivi à long terme que notre équipe a effectué sur des populations de gorilles au sein du parc d'Odzala-Kokoua au Congo. Ce suivi a commencé en 2001 afin de mieux comprendre le fonctionnement des populations de gorilles en milieu naturel. Il est fondé sur l'identification à distance des individus et sur l'analyse génétique de prélèvements de leurs déjections. En fin de compte, nous disposons de cartes génétiques individuelles.

### Une difficile récupération

En 2004, nous l'avons dit, une des populations étudiées a vu ses effectifs s'effondrer de plus de 90 pour cent à cause du virus Ebola. Les densités de gorilles dans les secteurs touchés par ces épidémies sont devenues inférieures à 0,2 individu par kilomètre carré. Ces épidémies contribuent également à fragmenter les populations.

La mortalité différentielle entre individus vivant en groupe et individus solitaires a modifié la structuration sociale de la population (*voir l'encadré page 93*). Ainsi, la proportion de solitaires a triplé après l'épidémie. Les femelles et les immatures qui vivent uniquement dans les groupes sont les plus affectés. La taille des groupes est réduite de moitié, passant de 8,2 individus en moyenne avant épidémie à 4,6 après.

La reproduction et l'immigration baissent également de façon drastique pendant ces périodes. Ces modifications perturbent la



## MALADIES COMMUNES À L'HOMME ET AU GORILLE

**Maladies respiratoires :** la grippe, les pharyngites et conjonctivites à adénovirus, les rhumes et rhinites à rhinovirus, le virus respiratoire syncytial, la pneumonie à pneumocoques, la tuberculose, les herpès, la rougeole, la varicelle, les oreillons, les broncho-pneumonies à cytomégalo-virus, la coqueluche.

**Maladies du système gastro-intestinal :** les gastro-entérites, les virus Coxsackie, les salmonelles, les shigelles, le campylobacter, les hépatites A, B et C, les vers intestinaux, la dysenterie amibienne, la bilharziose.

**Maladies de peau :** les verrues, la gale, le pian (voir l'illustration).

**Autres maladies :** la fièvre jaune, les méningites et encéphalomyélites à poliovirus, la leptospirose, la filariose, Ebola, la malaria.



LES AFFECTIONS cutanées de type pian, dues à une bactérie du genre *Treponema*, peuvent être très invalidantes pour les gorilles lorsqu'elles conduisent à des ulcères et des lésions osseuses et articulaires

dynamique sociale de la population c'est-à-dire les mouvements des individus entre les unités sociales. Ceci a des conséquences importantes sur la redistribution des gènes au sein de la population. Quelles sont les capacités de récupération des populations de gorilles ?

Leur suivi pendant plusieurs années après l'épidémie Ebola permet de répondre. La faible productivité de l'espèce (un petit tous les trois ans en moyenne) se traduit par une récupération très lente. En 2014, c'est-à-dire dix ans après l'épidémie, on dénombrait 55 individus dans la population affectée, soit 350 de moins qu'avant l'épidémie. Les modèles mathématiques décrivant le fonctionnement des populations de gorilles montrent qu'il faut au moins 80 ans pour que la population retrouve son effectif initial, à supposer qu'aucun autre événement ne perturbe cette récupération.

Cependant, plusieurs indices plaident pour le retour d'un fonctionnement identique à celui d'une population saine en seulement six ans. Les valeurs des taux de survie, de reproduction et d'immigration des individus reproducteurs sont revenues à leur niveau d'avant l'épidémie. La proportion de solitaires est elle aussi similaire à celle observée dans les populations saines, grâce à la formation de nouveaux groupes reproducteurs. Ces groupes se sont formés rapidement autour des mâles solitaires survivants avec l'arrivée de femelles des populations environnantes et ont désormais une taille moyenne similaire à celle avant l'épidémie. Les perturbations de la dynamique sociale sont donc temporaires et la flexibilité du système social des gorilles permet un retour à une dynamique de population saine en relativement peu de temps.

Toutefois, les modifications sur la répartition des gènes au sein de la population sont durables. Le développement des techniques de séquençage à partir d'une faible quantité d'ADN, comme celui extrait des déjections, permet aujourd'hui d'étudier à large échelle des gènes impliqués dans les réactions au virus Ebola, ouvrant de nouvelles perspectives de recherche. Par exemple, l'analyse de la diversité des gènes impliqués dans la réponse immunitaire des individus survivants et de ceux morts d'Ebola aidera à quantifier le pouvoir sélectif de la maladie. L'étude de la répartition de ces gènes au sein des nouveaux groupes formés apportera aussi de nouveaux éléments sur le potentiel évolutif de cette espèce. Mais les gorilles seront-ils encore présents ?

## Agir pour préserver

Des lois existent pour la protection des gorilles dans tous les pays hébergeurs, mais les moyens financiers manquent pour les mettre en application de façon efficace. De plus, l'accessibilité des régions où vivent les primates est un frein à leur efficacité. Les actions de préservation des populations de gorilles s'accompagnent souvent du développement d'un tourisme de vision dans un souci de contribution au développement des populations locales des pays hébergeurs de gorilles.

Certaines des prestations touristiques offertes conduisent parfois à une grande proximité physique des visiteurs avec les gorilles. Or, avec le recul, notamment suite à l'expérience avec les gorilles de montagne, on sait que cette proximité n'est pas sans conséquence pour la santé des gorilles, ces animaux contractant des maladies transmises par l'homme.

Des mesures de précautions ont été mises en place depuis les années 2000, qui consistent notamment à limiter le temps de visite (une heure quotidienne) et le nombre de personnes. On veille également à exclure les touristes présentant des signes de maladies (y compris un simple rhume) et à conserver une distance minimale d'approche. Enfin, on enfouit les excréments.

Outre les autres menaces, les effets catastrophiques des maladies émergentes telles qu'Ebola incitent à une grande vigilance quant à la taille minimale des populations à préserver pour qu'elles restent viables et, en corollaire, sur la pertinence des surfaces des aires protégées. Les champs d'intervention pour contrer ce type d'épidémie chez les gorilles sont quasi inexistant. L'application d'un vaccin sur les gorilles, dans l'hypothèse où il deviendrait opérationnel chez l'homme, se heurterait probablement à des difficultés de mises en œuvre du fait de la sensibilité de la cohésion des groupes sociaux face aux perturbations.

## articles

• C. GENTON et al., *How Ebola impacts social dynamics in gorillas: a multistate modelling approach*, in *J. of Animal Ecology*, à paraître, 2015.

• M. GRAY et al., *Genetic census reveals increased but uneven growth of a critically endangered mountain gorilla population*, in *Biological Conservation*, vol. 158, pp. 230-238, 2013.

• S. SAWYER et J. BRASHARES, *Applying resource selection functions at multiple scales to prioritize habitat use by the endangered Cross River gorilla*, in *Diversity and Distributions*, vol. 19, pp. 943-954, 2013.

• C. GENTON et al., *Recovery potential of a Western lowland gorilla population following a major Ebola outbreak: results from a ten year study*, in *PLoS One*, vol. 7, e37106, 2012.

• J. JUNKER et al., *Recent decline in suitable environmental conditions for African great apes*, in *Diversity and Distributions*, vol. 18, pp. 1077-1091, 2012.

• P.-J. LE GOUAR et al., *How Ebola impacts genetics of western lowland gorilla populations*, in *Plos One*, vol. 4, e8375, 2009.



# Offre INTÉGRALE SCIENCE 8€ par mois seulement !

Plus de  
**42%**  
de réduction  
par rapport aux prix  
de vente unitaire



Le magazine *Pour la Science* tous les mois  
+ 4 hors-séries *Dossier Pour la Science* par an  
+ l'accès numérique illimité aux archives  
sur [www.pourlascience.fr](http://www.pourlascience.fr)\*

## + Votre cadeau de bienvenue

**Primates et philosophes** de Frans de Waal  
L'auteur – psychologue, primatologue et éthologue – signe un essai passionnant dans lequel il bat en brèche l'idée que la morale serait le propre de l'homme. S'appuyant à la fois sur Darwin, ses propres observations et certaines découvertes récentes, il explique comment nous sommes issus de l'évolution d'une longue lignée d'animaux qui s'occupent des plus faibles et établissent entre eux des liens de coopération fondés sur des transactions réciproques.

Éditions Le Pommier 2014 (valeur : 24€)

\* Conditions complètes de l'offre sur [www.pourlascience.fr](http://www.pourlascience.fr)

## BULLETIN D'ABONNEMENT

POUR LA  
**SCIENCE**

À découper ou à photocopier et à retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe non affranchie à : Groupe Pour la Science - Service Abonnements - Libre réponse 90 382 - 75 281 Paris cedex 06

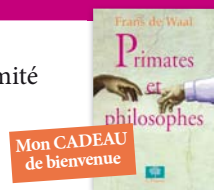
### 1. MA FORMULE

☐ **OUI, je m'abonne à l'offre « Intégrale » à 8 € par mois.** Je reçois le magazine *Pour la Science* (12 n°/an) + son hors-série *Dossier Pour la Science* (4 n°/an) + mon livre offert et bénéficie de l'accès numérique illimité aux archives sur [www.pourlascience.fr](http://www.pourlascience.fr).

Mon e-mail obligatoire pour l'accès aux contenus numériques (à remplir en majuscules)

\_\_\_\_\_@\_\_\_\_\_

À réception de votre bulletin, comptez 5 semaines pour recevoir votre n° d'abonné. Passé ce délai, merci d'en faire la demande à [abonnements@pourlascience.fr](mailto:abonnements@pourlascience.fr)



### 2. MES COORDONNÉES

Nom : \_\_\_\_\_ Prénom : \_\_\_\_\_  
Adresse : \_\_\_\_\_  
Code postal : \_\_\_\_\_ Ville : \_\_\_\_\_ Pays : \_\_\_\_\_ Tél. : \_\_\_\_\_  
Pour le suivi client (facultatif)

### 3. MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ Je règle par prélèvement **8 € par mois** et reçois en cadeau le livre *Primates et philosophes* (réf. 00PRIM).  
Je remplis l'autorisation ci-dessous en joignant impérativement un IBAN/BIC.

\* Pour la France métropolitaine et d'outre-mer. Pour l'Europe (pays de la zone SEPA) : 9,33€ par mois. Abonnement en reconduction tacite dénonçable à tout moment auprès du service abonnement. Conditions complètes sur [www.pourlascience.fr](http://www.pourlascience.fr)

#### AUTORISATION DE PRÉLÈVEMENT PAR MANDAT SEPA

En signant ce mandat SEPA, j'autorise Pour la Science à transmettre des instructions à ma banque pour le prélèvement de mon abonnement dès réception de mon bulletin. Je bénéficie d'un droit de rétractation dans la limite de 8 semaines suivant le premier prélèvement. Plus d'informations auprès de mon établissement bancaire.

#### 1 - COORDONNÉES DU TITULAIRE DU COMPTE

Nom, prénom \_\_\_\_\_  
Adresse \_\_\_\_\_  
Numéro et nom de la rue  
Code postal \_\_\_\_\_ Ville \_\_\_\_\_ Pays \_\_\_\_\_

#### 2 - COORDONNÉES BANCAIRES

IBAN \_\_\_\_\_  
Numéro d'identification international du compte bancaire – IBAN (International Bank Account Number)  
BIC \_\_\_\_\_  
Code international d'identification de votre banque – BIC (Bank Identifier Code)  
Type de paiement Paiement récurrent/répétitif

#### 3 - DATE ET SIGNATURE OBLIGATOIRES

À \_\_\_\_\_  
Date \_\_\_\_\_  
Signature : \_\_\_\_\_  
NOM DU CRÉANCIER ICS N° FR92ZZZ426900  
Pour la Science – 8 rue Férou – 75006 Paris  
N° de référence unique de mandat (RUM)

Partie réservée au service abonnement. Ne rien inscrire

☐ Je préfère régler mon abonnement d'un an en **une seule fois 96 €\*\*** sans bénéficier du cadeau.

\*\* Offre valable en France métropolitaine et d'outre-mer. Pour l'étranger, participation aux frais de port à ajouter : Europe 16€ – autres pays 35€.

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science ☐ Par carte bancaire N° \_\_\_\_\_

Date d'expiration \_\_\_\_\_ Clé \_\_\_\_\_

Signature obligatoire

En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe Pour la Science. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher cette case.

DOS87 Offre réservée aux nouveaux abonnés valable jusqu'au 31.03.2015

# Emmanuelle Grundmann

## Les grands singes en situation critique

Sans mesures efficaces de protection,  
les grands singes sont condamnés à disparaître d'ici 2050.  
La lutte doit s'organiser contre le trafic, la déforestation et... le lobbying des industriels.

### ■ Quelle est la situation des grands singes ?

**Emmanuelle Grundmann :** Ils sont tous menacés ! Certes, ils le sont à des degrés divers, parce que les populations ne sont pas identiques au départ, mais que ce soit le bonobo, le chimpanzé, les gorilles ou les orangs-outans (on distingue aujourd'hui deux espèces pour ces deux derniers), tous sont en déclin. Leur situation est plutôt préoccupante, voire alarmante pour certains.

De façon plus détaillée, on dispose de chiffres. Cependant, on doit préciser qu'ils ne sont que des indications. En effet, l'estimation des populations est une tâche complexe qui se fonde le plus souvent sur des indices indirects, tels que le comptage des nids. Tous les grands singes en construisent un nouveau chaque soir : grâce à des formules mathématiques, on peut approcher la taille d'une population à partir du nombre de nids.

Ces précautions prises, nous pouvons donner quelques chiffres à manipuler avec prudence. Concernant les orangs-outans, la situation est la plus critique pour celui de Sumatra, avec environ 7 300 individus. On compterait entre 45 000 et 69 000 orangs-outans à Bornéo.

Les chimpanzés seraient de 172 000 à 300 000, mais peu de comptages récents ont été réalisés. Quant aux populations de bonobos, elles rassembleraient de 29 000 à 50 000 individus, ce dernier nombre étant sans doute un peu surestimé. Enfin, la situation des gorilles est moins claire, car ils ont été répartis

récemment en deux espèces (les gorilles de l'Ouest et ceux de l'Est), chacune étant elle-même subdivisée en deux sous-espèces. Les gorilles de l'Est seraient environ 17 000 (dont environ 700 gorilles des montagnes). Les cousins de l'Ouest, avec 100 000 individus, sont plus nombreux, mais avec seulement 250 à 300 gorilles de la rivière Cross.

### ■ Quelles menaces pèsent sur eux ?

**Emmanuelle Grundmann :** Elles sont de plusieurs types et sont valables pour toutes les espèces de grands singes africaines et asiatiques. Le premier danger vient de la déforestation qui entraîne la disparition et le morcellement de l'habitat des primates. Cette déforestation a plusieurs causes, par exemple l'exploitation du bois ou bien la conversion de la forêt en zones agricoles. Dans ce dernier cas, il ne s'agit pas de l'agriculture traditionnelle, celle-ci concernant le plus souvent des petites parcelles, mais de monoculture industrielle réclamant de grands espaces.

Le cas emblématique est celui de l'huile de palme. On pense immédiatement à la déforestation en Indonésie et en Malaisie, mais les compagnies de ces pays s'installent aussi en Afrique, notamment au Liberia. Tous les projecteurs sont braqués sur l'Asie du Sud-Est, où, de fait, le recul des zones boisées est spectaculaire. En conséquence, les puissants acteurs de la filière jouent aux bons élèves en initiant des programmes pilotes de reboisement. En revanche, ils sont moins regardants en Afrique...

Une deuxième cause de la déforestation est l'exploitation minière. Ainsi, en République démocratique du Congo (RDC), les gorilles subissent les effets de la course au coltan, un alliage indispensable aux appareils électroniques. Dans ce pays, dans la région du Kivu, s'ajoutent les ravages de la guerre civile dont pâtissent les gorilles.

La déforestation va de pair également avec l'augmentation du braconnage qui profite des nouvelles voies ouvertes pour l'exploitation forestière. Ces pistes deviennent des « autoroutes » pour les chasseurs qui atteignent alors des zones autrefois inaccessibles. Le problème majeur est la chasse commerciale qui alimente un trafic d'ampleur nationale, voire internationale. Ces activités illicites concernent non seulement la viande de brousse, mais aussi le commerce d'animaux vivants, et notamment des bébés. *Interpol* s'intéresse de plus en plus à ces réseaux qui sont parfois parallèles à ceux dédiés à la drogue ou aux armes.

### ■ Où vont ces animaux vivants ?

**Emmanuelle Grundmann :** Ils sont destinés à des zoos privés ou à devenir des animaux de compagnie. En Indonésie, un singe, tel un orang-outan, un gibbon ou un siamang est un signe extérieur de richesse. Le primate est alors enfermé dans une cage. D'autres gardent les singes chez eux et les élèvent comme des enfants ! En Asie, le problème est important. Bangkok est devenu une plaque tournante du trafic de bébés orangs-outans. Dans un parc d'attraction de cette ville, on a vu des





## » Bio express

1973 Naissance à Montreuil-sous-Bois, en Seine-Saint-Denis.

2004 Soutien sa thèse de doctorat sur la réintroduction et la réhabilitation des orangs-outans en Indonésie.

2013 Publie *Un fléau si rentable*, sur l'huile de palme, chez Calmann-Lévy.

2014 Préside l'Association AWELY qui cherche à réconcilier les hommes et les animaux partout dans le monde.

orangs-outans se battre sur un ring pour le plaisir des touristes. D'autres sont exposés dans les vitrines de magasins.

L'Afrique n'est pas épargnée. Il y a quelques années, dans l'avion qui me ramenait de Kinshasa, en RDC, un couple ukraino-congolais était installé deux rangs derrière moi. Il transportait dans un sac un bébé bonobo endormi. Le plus édifiant est ailleurs. Certes, l'animal a été détecté et saisi par les douanes à Roissy, mais les deux contrevenants ont continué leur voyage vers la Russie sans être inquiétés.

Cet exemple révèle la différence de traitement entre, d'une part, le trafic d'animaux sauvages et, d'autre part, celui de drogue ou d'armes. Les sanctions sont sans commune

mesure (au pire une petite amende dans le premier cas) et expliquent l'attrait de ce commerce illicite qui est très rentable.

### ■ Qu'en est-il des maladies ?

**Emmanuelle Grundmann :** Cette problématique est surtout centrée sur l'Afrique centrale où sévit le virus Ebola, un agent pathogène identifié en 1976. Dans les années 1990, une importante épidémie a décimé les populations de chimpanzés et de gorilles. Dans certaines zones, elles ont perdu jusqu'à 80 pour cent de leurs effectifs.

La situation et surtout son évolution sont difficiles à évaluer, car on étudie cette maladie depuis trop peu de temps. On ignore donc si l'impact du virus sur les groupes s'est aggravé.

En ce qui concerne les autres maladies, l'augmentation de la fréquence des contacts entre humains et singes accroît nécessairement les risques de contamination interspécies, et ce dans les deux sens. Notons que les orangs-outans, en Asie, semblent épargnés par les grandes épidémies destructrices.

### ■ Avec autant de menaces, les grands singes sont-ils condamnés ?

**Emmanuelle Grundmann :** Un spécialiste avait annoncé dans un article paru dans *Science* la disparition des grands singes en 2030. En privé, il reconnaissait qu'à cette date, il resterait sans doute des grands singes, mais que son scénario « coup-de-poing » était surtout destiné à marquer les esprits pour faire bouger les lignes. Il lançait en quelque sorte un cri d'alarme.

En 2003, un rapport du Programme des Nations Unies pour l'environnement (le PNUE) prédisait qu'en 2030 ne subsisteraient que dix pour cent de l'habitat des grands singes en Afrique et un pour cent en Asie. Ces travaux portent sur l'habitat, mais cette question est bien sûr liée à celle de la survie des primates. On peut donc imaginer qu'en 2050, il n'y aura plus de grands singes sur la planète...

### ■ ...si rien n'est fait d'ici là ?

**Emmanuelle Grundmann :** En effet ! Et les mesures à prendre sont diverses. Le premier niveau d'action est local. À cette échelle, on observe la mise en place de nombreuses initiatives. Cependant, elles dépendent des particularités de chaque endroit et ne peuvent donc pas être généralisées, ni même transposées à quelques kilomètres seulement.

Par exemple, un juge de Kinshasa a développé un projet (*Mbou-Mon-Tour*) dans son village natal installé près d'une forêt où vivent des bonobos. Pour préserver ces singes, il a mobilisé la population et développé une activité d'écotourisme qui est désormais une source importante de revenus. Les villageois n'ont plus la nécessité d'aller puiser dans la forêt. Ce type d'initiative est possible ici, car un tabou interdit la consommation de bonobos (ils seraient la réincarnation des ancêtres).

Dans d'autres régions, les bonobos ne sont protégés par aucun tabou. On doit donc imaginer d'autres parades pour protéger la forêt et les bonobos. C'est d'autant plus difficile que dans la majorité des cas, les gens ont très peu de ressources : ils

tirent leur subsistance de la forêt, car ils n'ont pas d'autre solution.

Néanmoins, l'écotourisme a fait ses preuves. En particulier, il a sauvé les gorilles de montagne, notamment au Rwanda, où il est une source importante de devises. Des garde-fous sont toutefois nécessaires pour éviter un afflux trop important de visiteurs qui pourrait nuire aux primates.

Un axe important de la préservation passe par la sensibilisation des populations. Beaucoup d'individus, par exemple des citadins, ignorent ce qu'est un chimpanzé ou un gorille et n'ont donc pas de scrupules à en consommer de la viande.

Pour y remédier, Christophe Boesch, de l'Institut Max-Planck d'anthropologie évolutionniste, en Allemagne, organise les représentations d'une troupe théâtre où des enfants jouent des spectacles centrés sur la proximité des chimpanzés et des humains. Les spectateurs n'ont alors plus le même regard sur leurs « cousins » et refusent ensuite d'en manger. Beaucoup d'initiatives de sensibilisation ont également lieu dans les écoles.

Les résultats sont variables. La réhabilitation des orangs-outans aux mœurs en grande partie solitaires est probablement plus aisée que celle des chimpanzés qui doivent s'intégrer à des groupes où cohabitent de nombreux mâles et femelles. Ces orphelinats jouent aussi un rôle dans la sensibilisation du public en accueillant des enfants et des adultes. Ces derniers découvrent alors ce que sont les bonobos, les chimpanzés...

### ■ On doit aussi protéger l'habitat de ces grands singes.

**Emmanuelle Grundmann :** Pour cet aspect, les décisions peuvent être prises à l'échelle locale, mais aussi au niveau global. La déforestation toujours accélérée est surtout liée au commerce international et aux demandes, notamment des pays du Nord.

Un exemple est un projet conduit par Christophe Boesch dans la forêt équatoriale en Afrique de l'Ouest (en Côte d'Ivoire, au Gabon...), particulièrement touchée par le morcellement. L'idée est

J'ai pu les voir à l'œuvre en 2012 à l'occasion d'une grande réunion sur l'environnement organisée par l'Union européenne. Les défenseurs de l'habitat des grands singes ne peuvent lutter contre ceux qui protègent les intérêts de l'exploitation du bois, de l'huile de palme... Des ONG comme *Greenpeace* ont des ressources pour faire un peu avancer leur cause, mais elles ne sont pas comparables à celles du camp d'en face. Néanmoins, c'est vraiment au niveau des lois que les choses peuvent changer, et elles sont en train de bouger.

### ■ Et si tous les acteurs de la protection s'unissaient ?

**Emmanuelle Grundmann :** C'est un vrai problème ! Quand j'ai commencé mes recherches sur la réintroduction des orangs-outans, j'étais persuadée que toutes les ONG, que tous les scientifiques travaillaient de concert. J'étais naïve : tous ces protagonistes sont en compétition pour le financement de leur propre projet. Il n'y a pas vraiment de coordination.



« Des enfants jouent des spectacles centrés sur la proximité des chimpanzés et des humains. Les spectateurs n'ont plus le même regard sur leurs « cousins » et refusent ensuite d'en manger ! »

### ■ Que faire contre le trafic ?

**Emmanuelle Grundmann :** D'abord, on doit savoir que tous les pays abritant des grands singes ont des lois qui les protègent. Le problème est qu'elles ne sont pas toujours appliquées, la corruption régnant en certains endroits. Une première mesure serait donc « simplement » de faire appliquer la loi.

Un de mes collègues, Ofir Drori, s'y emploie au travers de son ONG LAGA (*Last Great Ape*). Il démantèle les filières, identifie le trafiquant principal et favorise son arrestation. L'étape suivante consiste à médiatiser l'affaire de sorte que le message passe auprès de la population : « Tuer des grands singes est un crime puni par la loi. » Un autre pan de la lutte contre le trafic est le sort réservé aux animaux vivants récupérés. Pour les accueillir, on a créé des orphelinats et des sanctuaires dans divers endroits. Se pose alors la question de leur réintroduction dans le milieu naturel.

de planter des corridors de façon à relier les « îlots » forestiers et donc à éviter la perte de diversité génétique chez les chimpanzés. Le projet rencontre aujourd'hui des difficultés en raison de l'instabilité politique et d'Ebola.

La lutte contre le trafic illégal de bois est calquée sur celle contre le trafic de faune sauvage. Souvent les réseaux sont les mêmes et relèvent du crime organisé. Un autre front de bataille pour protéger les forêts est situé dans les grandes instances internationales, telles que le Parlement européen.

### ■ Cette fois l'arme est le lobbying ?

**Emmanuelle Grundmann :** Oui, et c'est une tâche délicate quand on se heurte aux lobbyistes du camp adverse, par exemple ceux qui défendent l'industrie de l'huile de palme. Ils sont puissants, bien organisés et dotés de moyens importants.

Cependant, ce n'est pas toujours le cas. Ainsi, pour les primates africains, une structure nommée PASA regroupe tous les sanctuaires et les orphelinats. Ils se réunissent chaque année pour décider d'actions coordonnées. Mais cela n'empêche pas une compétition parfois sévère, voire déloyale.

### ■ En fin de compte, êtes-vous optimiste ?

**Emmanuelle Grundmann :** De façon générale, je suis plutôt optimiste, mais à chaque fois que je reviens de Bornéo, par exemple, j'ai besoin de plusieurs semaines pour m'en remettre tellement je trouve la situation catastrophique. À l'inverse, des gens engagés dans des initiatives locales remettent du baume au cœur.

Propos recueillis  
par Loïc MANGIN



# SciLogs

La nouvelle communauté de  
blogueurs scientifiques francophones

Partez à la découverte  
du monde animal avec le blog  
Best of Bestioles et explorez  
la science en direct avec les dizaines  
d'autres blogs sur [www.scilogs.fr](http://www.scilogs.fr) !



## BEST OF BESTIOLES

Étonnantes, amusantes... Parfois répugnantes.  
Toutes les merveilles du monde animal !

Des chameaux à une bosse et demie, un homard femelle à gauche et mâle à droite, des araignées en quête de demi-vierges, des poissons au crâne transparent, des sexes détachables et qui repoussent, des dauphins pervers et drogués... Quelques exemples des billets intrigants et étonnants où sont décrits les mille et une merveilles du monde animal. Il y est question de sexualité (souvent débridée, de mœurs bizarres, de stratégies évolutives défiant le bon sens, de bestioles spectaculaires, de scènes peu ragoûtantes...

**Loïc MANGIN**

Rédacteur en chef adjoint de la revue  
*Pour la Science*



Retrouvez aussi les autres communautés « SciLogs » :  
déjà plus de 140 blogueurs scientifiques à l'international !



Connectez-vous  
maintenant  
pour découvrir  
[www.Scilogs.fr](http://www.Scilogs.fr) !



Suivez les dernières actualités  
des blogueurs également  
sur les réseaux sociaux

Proposé par **SCIENCE** POUR LA





**APPEL À L'AIDE.**

Les orangs-outans pâtissent de la déforestation. Pour les aider, des associations et les populations locales se mobilisent.



# Au secours des orangs-outans

Les orangs-outans sont menacés notamment par la fragmentation et la dégradation de leur habitat. En Malaisie, depuis 1998, à travers l'association HUTAN, plusieurs initiatives sont prises pour restaurer l'habitat de ces grands singes et préserver leurs populations.

*Marc Ancrenaz, directeur scientifique de HUTAN.*







#### DÉFORESTATION.

Dans la région de Kinabatangan, en 30 ans, plus de 80 pour cent de la forêt initiale ont été transformés en palmeraies à huile (*ci-contre et ci-dessous à gauche*). Depuis 2008, nous replantons des arbres (*ci-dessous à droite*). Ainsi, nous créons des corridors entre les îlots forestiers, nous augmentons les ressources alimentaires des orangs-outans et nous offrons aux populations locales une nouvelle source de revenus (par des emplois notamment).



#### ÉDUCATION.

En Malaisie, l'éducation aux problèmes environnementaux est disponible dans les villes, mais fait défaut dans les campagnes. Pourtant, ce sont ces communautés rurales qui sont au plus près de la vie sauvage. Dans la région de Kinabatangan, nous développons des programmes de sensibilisation (*ci-contre*) et d'implication des populations locales (*ci-dessus, des enfants testent un pont à orangs-outans*). De la sorte, elles prennent elles-mêmes en main la protection des forêts et de la faune.







#### SUIVIS À LA TRACE

Les orangs-outans (*ci-dessus*) et leur habitat sont étudiés par des « unités de gestion forestière » (*ci-contre*) qui dressent l'inventaire des populations de ces singes. Ces équipes déterminent également les priorités et les objectifs en fonction des besoins et des souhaits de chacun des acteurs impliqués (gouvernement, opérateurs privés, ONG, populations locales...) dans la préservation des forêts.



#### DES PASSERELLES AU-DESSUS DE L'EAU.

La population d'orangs-outans dans le Kinabatangan est fragmentée en 20 sous-groupes, séparés par des routes, les palmeraies, des villages ainsi que des rivières et des canaux. Ces cours d'eau sont des barrières infranchissables, car ces singes ne savent pas nager. Pour qu'ils puissent néanmoins les traverser, sept ponts de corde ont été aménagés depuis 2011 avec l'aide de plusieurs parcs zoologiques américains (Houston, Cleveland...), japonais, britannique (Chester) et français (la Palmyre, Zooparc de Beauval), ainsi que la fondation ARCUS et autres partenaires de HUTAN.



## Manifeste pour les grands singes

Aucune famille de mammifères n'est aujourd'hui plus menacée que celle des grands singes. Leurs populations déclinent à mesure que les forêts tropicales sont détruites, abattues et exploitées. Pour mesurer les chances de survie des grands singes, on doit comprendre les mécanismes de l'économie planétaire, le boom industriel chinois, les politiques nationales de déforestation, les voies souvent frauduleuses du commerce. Ce livre dresse l'inventaire des actions régionales entreprises en Afrique et en Asie pour sauver les grands singes.



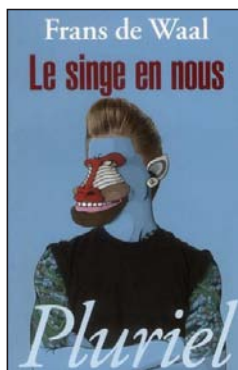
Ch. Boesch, E. Grundmann et B. Mulhauser, (144 pages, 12,80 euros), PPUR, 2011.

## Kant et le chimpanzé. Essai sur l'être humain, la morale et l'art

Les êtres humains sont issus de plusieurs millions d'années d'évolution qui nous raccrochent à nos cousins les grands singes. Aurions-nous rompu avec cet héritage ancestral qui faisait de nous des bêtes ? Sommes-nous vraiment les seuls à être dotés d'un sens moral ? Les chimpanzés seraient-ils incapables d'éprouver des sentiments face à un congénère séduisant ? L'auteur, biologiste et philosophe, répond : la morale et l'esthétique chez l'homme plongent leurs racines dans le terreau de son passé. La découverte des « cultures animales » oblige à concevoir davantage de continuité entre l'homme et l'animal. C'est une nouvelle vision de l'être humain qui est ici proposée.



G. Chapoutier, (144 pages, 17,75 euros), Belin, 2009.



Frans de Waal (326 pages, 9,20 euros), Pluriel, 2011.

## Le singe en nous

L'auteur, l'un des plus éminents primatologues actuels, montre l'étrange parenté des humains avec les singes. De fait, les diverses facettes de la psychologie humaine (violence, agressivité, empathie, morale...) s'inscriraient dans le prolongement de celle des animaux. Les nombreuses analyses et anecdotes nous conduisent à la conclusion que nous sommes des « singes bipolaires ». L'ouvrage nous tend un miroir qui nous aidera peut-être à mieux gérer nos propres instincts.

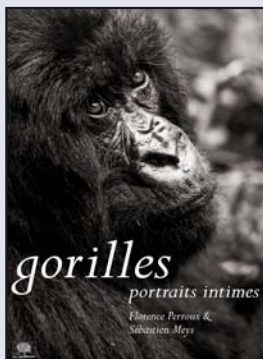
## À la rencontre des grands singes

Cet ouvrage est le premier guide en langue française des sites où l'observation des grands singes en milieu naturel est possible. Riche en informations et en détails, il répertorie aussi tous les sanctuaires où l'on peut effectuer des séjours et des stages pour s'investir dans le sauvetage de ces animaux. Enfin, l'ouvrage liste les organisations et les associations impliquées dans la conservation et l'étude des grands singes.



Bernard De Wetter, (208 pages, 23 euros), Safran, 2013.

## LE BEAU LIVRE



### Gorilles Portraits intimes

Florence Perroux et Sébastien Meys, (144 pages, 29 euros), Le Pommier, 2012.

Côtoyant et photographiant les grands singes depuis plusieurs années, les auteurs nous font découvrir le plus impressionnant, mais aussi le plus sensible de nos cousins : le gorille. Selon eux : « Croiser le regard d'un grand singe est une expérience singulière qui laisse rarement indifférent. » C'est particulièrement vrai avec les gorilles, et même à travers un livre quand les photographies sont de cette qualité !



Volcan Range (1 an), La Pommier, France. Volcan Range (10 mois), La Pommier, France.



## Rebondissements

» p.108

Des actualités sur  
des sujets abordés dans  
les *Dossiers* précédents



## Données à voir

» p.110

Des informations  
se comprennent mieux  
lorsqu'elles sont mises  
en images



## Les incontournables

» p.114

Des livres, des expositions,  
des sites Internet, des  
applications, des podcasts...  
à ne pas manquer

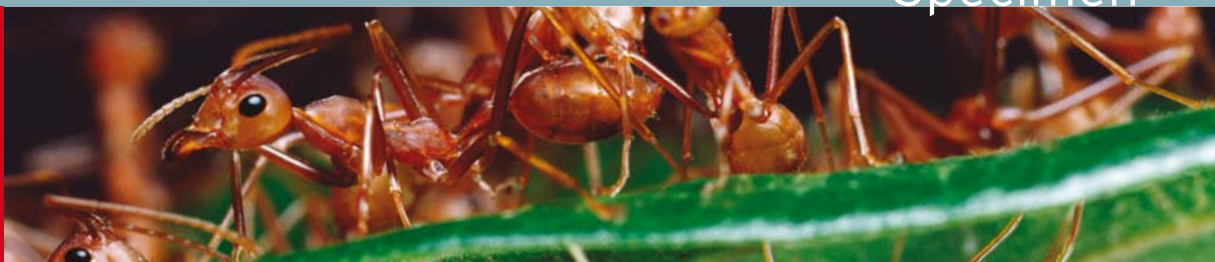


# Rendez-vous

## Spécimen

» p.116

Un animal étonnant choisi  
parmi ceux présentés sur  
le blog Best of Bestioles.



## Art et science

» p.118

Comment l'œil  
d'un scientifique offre  
un éclairage inédit  
sur une œuvre d'art.





## Dossier 85 CERN

# Deux particules pour le prix d'une !

*L'expérience LHCb du CERN a mis en évidence deux nouvelles particules exotiques.  
Le Modèle standard en sort, encore une fois, renforcé !*

**P**armi les diverses expériences mises en œuvre au CERN et détaillées dans le Dossier n° 85 : *Cent ans de particules*. Où va la physique ?, il en est une qui s'intéresse aux différences ténues qui existent entre la matière et l'antimatière : c'est l'expérience LHCb (*Large Hadron Collider beauty*). Pour ce faire, elle explore les propriétés d'une particule nommée quark *beauté* (noté quark *b*) et de son antiparticule, l'antiquark  $\bar{b}$ . Plus particulièrement, les détecteurs traquent les particules exotiques qui en contiennent.

Le 19 novembre 2014, les membres de la collaboration de l'expérience LHCb ont annoncé la découverte de deux de ces particules exotiques. Notées  $\Xi_b^{-}$  et  $\Xi_b^{*-}$ , ces particules sont des baryons, c'est-à-dire qu'elles sont constituées de trois quarks. Selon Steven Blusk, de l'Université de Syracuse, aux États-Unis : « Ces particules sont vraiment uniques, car chacune contient un quark *b*, un quark *s* et un quark *d*. » En cela, elles diffèrent des baryons les plus célèbres, le neutron (deux quarks *d* et un quark *u*) et le proton (deux quarks *u* et un quark *d*), qui composent le noyau atomique. Les particules  $\Xi_b^{-}$  et  $\Xi_b^{*-}$  avaient été prédites par le Modèle standard, mais elles n'avaient encore jamais été observées. Seule une particule de la même famille (le baryon  $\Xi_b^0$ ) avait été observée en 2012, déjà au CERN.

Les nouvelles particules détectées ont une masse six fois supérieure à celle d'un proton, car elles contiennent

un quark *b*, une particule particulièrement lourde. D'autres caractéristiques ont été mises en évidence, telles que leur taux de production dans les accélérateurs et des propriétés de leur désintégration.

En outre, on sait que dans  $\Xi_b^{-}$ , les spins des deux quarks les plus légers sont de sens opposé à celui du quark *b*, alors qu'ils sont tous dans le même sens dans  $\Xi_b^{*-}$ . Rappelons que le spin est un paramètre quantique d'une particule qui rend compte de son moment cinétique. Or ces paramètres influent sur la masse.

En fin de compte, ces résultats prouvent la sensibilité et la précision du détecteur de LHCb : c'est un prérequis indispensable pour espérer aller au-delà du Modèle standard qui reste, à ce jour, solide.

LHCb collaboration,  
*Physical Review Letters*, soumis.  
<http://arxiv.org/abs/1411.4849>



» La collaboration LHCb, au CERN.



» Des détecteurs de photons de l'expérience LHCb.



## » *Langue pivot et impérialisme linguistique*

Quelle est l'influence de *Google Translate* sur les langues et sur leur évolution, un thème abordé dans le *Dossier n° 82: L'évolution des langues*? Frédéric Kaplan et son étudiant Dana Kianfar, de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, en Suisse, s'intéressent à la question. Ils partent du constat que l'algorithme fait des erreurs grossières, par exemple entre le français et l'italien, et pointent le rôle pivot de l'anglais dans le processus : le français est d'abord traduit en anglais, le résultat étant ensuite traduit en italien. Les expressions idiomatiques n'y résistent pas ! Compte tenu de l'omniprésence du moteur de recherche, les auteurs mettent en garde contre l'introduction dans diverses langues de logiques linguistiques propres à l'anglais et donc des modes de pensée spécifiques à cette langue.

Plusieurs articles ici :  
<http://bit.ly/Publi-Kaplan>

## » *Détecter l'invisible*

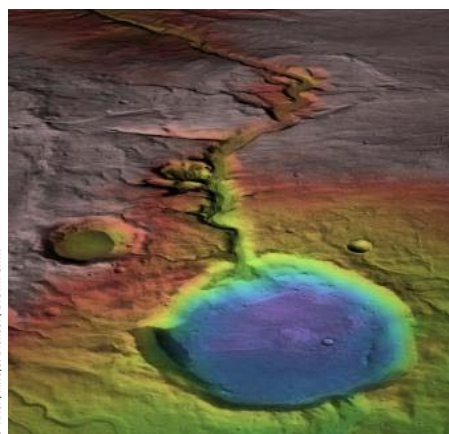
Le *Dossier n° 83: Les mystères du cosmos* détaillait le peu que l'on sait de la matière noire, cette étrange matière dont on ne peut que constater les effets sur la dynamique des galaxies. Elle représente plus de 25 pour cent du contenu de l'Univers et sa nature reste une énigme. Deux physiciens ont proposé une nouvelle méthode pour la détecter. Ils postulent d'abord que, à l'inverse de ce que l'on imagine, la matière noire interagit avec les atomes de la matière ordinaire : les appareils devraient donc être en surface plutôt qu'enfouis. Ensuite, pour écarter le bruit de fond cosmique, les physiciens proposent de ne sélectionner que les signaux périodiques pour tenir compte de la rotation de la Terre. Selon eux, les meilleurs endroits pour l'observation d'un tel signal seraient l'Argentine, la Nouvelle-Zélande...

C. Kouvaris et I. Shoemaker  
*Phys. Rev. D*, vol. 90, 095011, 2014

## DOSSIER 84 MARS

# Une chaleur épisodique

Mars est désormais une planète sèche et froide, mais cela n'a pas toujours été le cas. Plusieurs articles du *Dossier n° 84: Mars, embarquement immédiat* détaillaient le passé humide de la planète rouge. Il y a quelques milliards d'années, la chaleur était suffisante pour que de l'eau coule en rivières, en fleuves et forme des lacs, des deltas... Cette eau a façonné le paysage de Mars.



Itay Halevy, de l'Institut Weizmann, en Israël, et James Head, de l'Université Brown, aux États-Unis, ont récemment montré que la chaleur, et donc les écoulements d'eau qu'elle permettait, n'était probablement qu'épisodique. Selon les géophysiciens, ces phénomènes étaient dus à de brèves périodes d'activité volcanique qui créaient un effet de serre via les énormes quantités de dioxyde de soufre rejetées dans l'atmosphère. Ces périodes propices à l'écoulement d'eau auraient duré à chaque fois quelques dizaines, voire centaines, d'années.

I. Halevy et J. Head, *Nature Geosciences*, vol. 7, pp. 865-868, 2014

*De l'eau a coulé sur Mars et a transformé ce cratère en un lac (sur cette image, l'altitude diminue du gris au bleu). Ce n'était possible que lors de brefs épisodes de volcanisme qui créaient les conditions requises.*

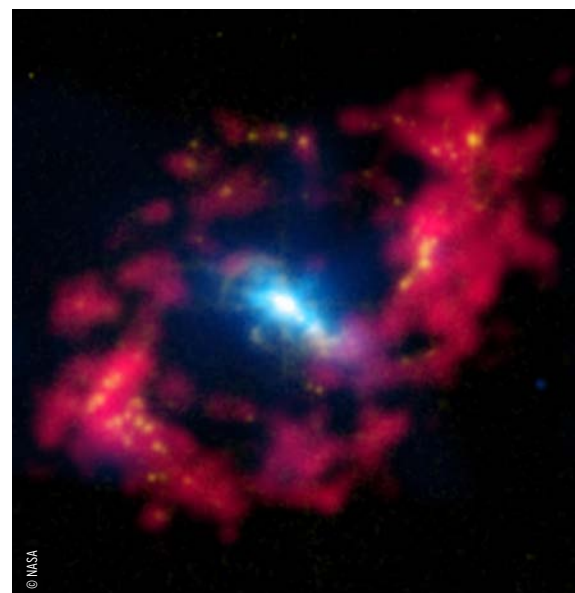
## DOSSIER 83 COSMOS

# Le compas dans l'Œil... de Sauron

Comment mesurer les distances faramineuses sur lesquelles se déroulent les phénomènes évoqués dans le *Dossier n° 83: Les mystères du cosmos*? Sebastian Hönig, de l'Institut Niels Bohr, au Danemark, et ses collègues ont proposé une nouvelle méthode.

Ils se sont intéressés à la galaxie NGC 4151, nommée *Œil de Sauron*, en référence au *Seigneur des anneaux*. Son trou noir supermassif émet des ultraviolets qui rejoignent le disque de poussières en orbite. Celui-ci chauffe alors et émet des infrarouges. En mesurant le temps séparant ces deux rayonnements, on peut estimer la distance entre le trou noir et le nuage, puis, par interférométrie, l'éloignement de cette galaxie avec la Terre. C'est un nouvel outil pour affiner les mesures de l'inflation cosmique !

S. Hönig et al., *Nature*, vol. 515, pp. 528-530, 2014



*La galaxie NGC 4151 est nommée Œil de Sauron. En son centre, un trou noir supermassif émet des ultraviolets qui chauffent l'anneau de poussières. Celles-ci, en retour, émettent des infrarouges.*

## Dossier 82 LANGUES

### De l'avantage de la diversité

La diversité des langues, défendue dans le Dossier n° 82: *L'évolution des langues*, a des avantages insoupçonnés. Lauren Howard, de l'Université de Chicago, aux États-Unis, et ses collègues, ont montré que chez les jeunes enfants, elle influe positivement sur l'apprentissage social.

Plus de 80 enfants d'environ 19 mois, élevés dans des foyers monolingues (ici, anglophones) et venant d'horizons divers, ont été comparés dans des situations où ils pouvaient, par imitation, apprendre d'individus parlant soit l'anglais, soit l'espagnol. Qu'a-t-on observé ? Les

bébés venus de quartiers à plus forte diversité linguistique étaient plus enclins à copier les hispanophones que ceux venus de zones plus homogènes en termes de langues.

Précisons que les enfants des quartiers diversifiés n'étaient pas plus exposés à la langue de Cervantès que les autres.

C'est donc bien la diversité qui est le paramètre clef de l'ouverture des enfants. Une conclusion toujours bonne à rappeler ! ■

L. Howard et al., *Cognition*, vol. 133, pp. 474-479, 2014

*Quand ils viennent de quartiers à haute diversité linguistique, les bébés copient plus facilement les individus qui ne parlent pas la même langue qu'eux.*



## DOSSIER 83 COSMOS

### Dernières nouvelles de Planck

La collaboration Planck, à l'honneur dans plusieurs articles du Dossier n° 83: *Les mystères du cosmos ?*, étudie toujours plus en détail le fond diffus cosmologique, la lumière émise quelque 380 000 ans après le début de l'Univers.

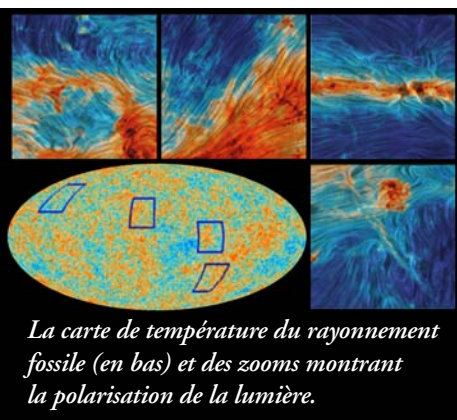
Lors de la récente conférence dédiée à Planck, qui a eu lieu en Italie, plusieurs résultats récents ont été annoncés concernant l'analyse,

toujours en cours, de la polarisation de cette lumière. Par exemple, on en sait désormais plus sur la matière noire et les neutrinos.

La première, qui représente plus de 25 pour cent du contenu de l'Univers, est toujours insaisissable, et de nombreux modèles essaient de la caractériser. Grâce à Planck, plusieurs de ces hypothèses ont été écartées, notamment celles qui prévoient une annihilation importante de la matière noire avec ses antiparticules aux premiers instants de l'Univers.

Quant aux neutrinos, Planck a mis en évidence l'effet de ces particules sur la carte du rayonnement fossile. On peut alors en déduire la somme maximale des masses des trois neutrinos connus : 0,23 électron-volt. Ensuite, les résultats rendent caduque (sans l'infirmier) l'hypothèse d'une quatrième famille de neutrinos. Planck nous réserve encore des surprises ! ■

Plusieurs publications à venir ici : <http://bit.ly/ESA-PLANCK>



La carte de température du rayonnement fossile (en bas) et des zooms montrant la polarisation de la lumière.

© ESA/Collaboration Planck

## » Le plein d'énergie

Mardi 9 décembre à 14h18, un pas important a été franchi au LHC : un secteur a été remis en service, conformément à l'agenda décrit dans le Dossier n° 85: *Cent ans de particules. Où va la physique ?* L'accélérateur, à l'arrêt depuis février 2013, devrait retrouver sa pleine puissance au printemps 2015, mais le redémarrage est progressif après une longue phase de maintenance. La première étape vient d'avoir lieu. Les 154 aimants supraconducteurs de ce secteur (sur les huit que compte la machine) ont été alimentés avec un courant d'environ 11 000 ampères ! Une telle intensité (1 000 fois celle de nos appareils ménagers) est indispensable pour créer les champs magnétiques nécessaires pour courber la trajectoire des particules d'une énergie de 6,5 TeV. On atteindra alors 13 TeV (avec deux faisceaux de 6,5 TeV circulant en sens contraires) lorsque l'ensemble du dispositif sera opérationnel.

Le communiqué du CERN.  
<http://bit.ly/Secteur>

## » Curiosité toujours

Le rover Curiosity que le Dossier n° 84: *Mars, embarquement immédiat ?* suivait attentivement, continue d'explorer la planète Mars. Récemment, il a étudié le méthane dans l'atmosphère et montré que, dans la région du cratère Gale (là où le rover s'est posé), ce gaz est, en moyenne, moitié moins abondant que ne le prédisaient les modèles. Cependant, des « pics de pollution » au méthane (la concentration atmosphérique est multipliée par dix !) ont été mis en évidence. Les vents dispersent ensuite rapidement le gaz. Ce méthane serait périodiquement produit dans le voisinage, mais la source reste inconnue.

C. Webster et al., *Science*, prépublication en ligne, 2014



# Offre INTÉGRALE SCIENCE

## 8€ par mois seulement !

Plus de  
**42%**  
de réduction  
par rapport aux prix  
de vente unitaire



Le magazine *Pour la Science* tous les mois  
+ 4 hors-séries *Dossier Pour la Science* par an  
+ l'accès numérique illimité aux archives  
sur [www.pourlascience.fr](http://www.pourlascience.fr)\*

## + Votre cadeau de bienvenue

**Primates et philosophes** de Frans de Waal  
L'auteur – psychologue, primatologue et éthologue – signe un essai passionnant dans lequel il bat en brèche l'idée que la morale serait le propre de l'homme. S'appuyant à la fois sur Darwin, ses propres observations et certaines découvertes récentes, il explique comment nous sommes issus de l'évolution d'une longue lignée d'animaux qui s'occupent des plus faibles et établissent entre eux des liens de coopération fondés sur des transactions réciproques.

Éditions Le Pommier 2014 (valeur : 24€)

\* Conditions complètes de l'offre sur [www.pourlascience.fr](http://www.pourlascience.fr)

## BULLETIN D'ABONNEMENT

POUR LA  
**SCIENCE**

À découper ou à photocopier et à retourner accompagné de votre règlement dans une enveloppe non affranchie à : Groupe Pour la Science - Service Abonnements - Libre réponse 90 382 - 75 281 Paris cedex 06

### 1. MA FORMULE

☐ **OUI, je m'abonne à l'offre « Intégrale » à 8€ par mois.** Je reçois le magazine *Pour la Science* (12 n°s/an) + son hors-série *Dossier Pour la Science* (4 n°s/an) + mon livre offert et bénéficie de l'accès numérique illimité aux archives sur [www.pourlascience.fr](http://www.pourlascience.fr).

Mon e-mail obligatoire pour l'accès aux contenus numériques (à remplir en majuscules)

À réception de votre bulletin, comptez 5 semaines pour recevoir votre n° d'abonné. Passé ce délai, merci d'en faire la demande à [abonnements@pourlascience.fr](mailto:abonnements@pourlascience.fr)

Mon CADEAU de bienvenue



### 2. MES COORDONNÉES

Nom : \_\_\_\_\_ Prénom : \_\_\_\_\_  
Adresse : \_\_\_\_\_  
Code postal : \_\_\_\_\_ Ville : \_\_\_\_\_ Pays : \_\_\_\_\_ Tél. : \_\_\_\_\_  
Pour le suivi client (facultatif)

### 3. MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ Je règle par prélèvement **8€ par mois** et reçois en cadeau le livre *Primates et philosophes* (réf. 00PRIM).  
Je remplis l'autorisation ci-dessous en joignant impérativement un IBAN/BIC.

\*Pour la France métropolitaine et d'outre-mer. Pour l'Europe (pays de la zone SEPA) : 9,33€ par mois. Abonnement en reconduction tacite dénonçable à tout moment auprès du service abonnement. Conditions complètes sur [www.pourlascience.fr](http://www.pourlascience.fr)

#### AUTORISATION DE PRÉLÈVEMENT PAR MANDAT SEPA

En signant ce mandat SEPA, j'autorise Pour la Science à transmettre des instructions à ma banque pour le prélèvement de mon abonnement dès réception de mon bulletin. Je bénéficie d'un droit de rétractation dans la limite de 8 semaines suivant le premier prélèvement. Plus d'informations auprès de mon établissement bancaire.

#### 1 - COORDONNÉES DU TITULAIRE DU COMPTE

Nom, prénom \_\_\_\_\_  
Adresse \_\_\_\_\_  
Numéro et nom de la rue \_\_\_\_\_  
Code postal \_\_\_\_\_ Ville \_\_\_\_\_ Pays \_\_\_\_\_

#### 2 - COORDONNÉES BANCAIRES

IBAN \_\_\_\_\_  
Numéro d'identification international du compte bancaire – IBAN (International Bank Account Number)  
BIC \_\_\_\_\_  
Code international d'identification de votre banque – BIC (Bank Identifier Code)

Type de paiement Paiement récurrent/répétitif

☐ Je préfère régler mon abonnement d'un an en **une seule fois 96 €\*\*** sans bénéficier du cadeau.

\*\* Offre valable en France métropolitaine et d'outre-mer. Pour l'étranger, participation aux frais de port à ajouter : Europe 16€ – autres pays 35€.

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science

☐ Par carte bancaire N° \_\_\_\_\_

Date d'expiration \_\_\_\_\_ Clé \_\_\_\_\_

#### 3 - DATE ET SIGNATURE OBLIGATOIRES

À \_\_\_\_\_  
Date \_\_\_\_\_  
Signature : \_\_\_\_\_

NOM DU CRÉANCIER ICS N° FR92ZZ426900  
Pour la Science – 8 rue Férou – 75006 Paris

N° de référence unique de mandat (RUM)

Partie réservée au service abonnement. Ne rien inscrire

Signature obligatoire

En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe Pour la Science. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher cette case.

DOS87 Offre réservée aux nouveaux abonnés valable jusqu'au 31.03.2015

# Être nez quelque part

*Quelle est l'odeur qui prédomine à Amsterdam ? Les esprits mal intentionnés pourraient répondre « le cannabis ». Ils auraient tort ! À en croire la carte olfactive de la ville, le sucré, les épices et le hareng l'emportent.*

**E**n avril 2013, la designer et cartographe Kate McLean a organisé à travers la ville néerlandaise des « promenades olfactives » auxquelles 44 personnes ont participé, à raison de dix parcours pendant quatre jours. Chemin faisant, elles devaient identifier les odeurs humées et les décrire (leur intensité, ce qu'elles évoquent...).

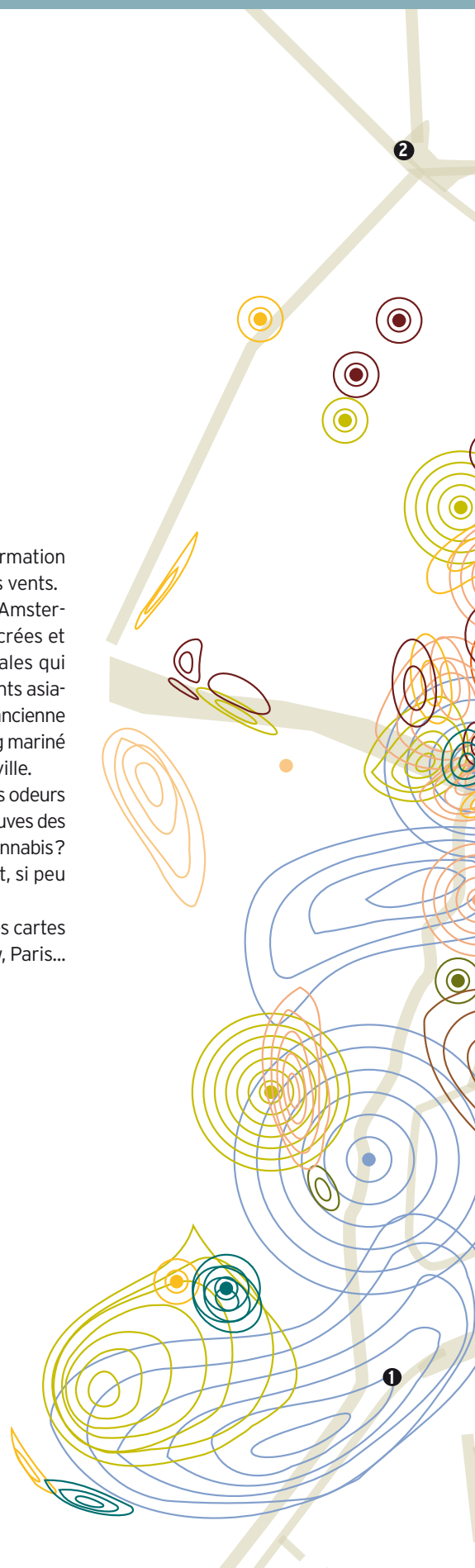
Toutes les données, concernant en tout plus de 650 odeurs, ont été analysées et traduites en une carte. Sur celle-ci (voir page ci-contre, les pastilles noires aident à se repérer sur le plan ci-dessous), seules les fragrances les plus fréquentes et les plus étonnantes ont été mentionnées. Les zones d'émission sont les points colorés, les cercles concentriques rendent

compte de la portée du fumet. La déformation de ces lignes de niveau trahit l'effet des vents.

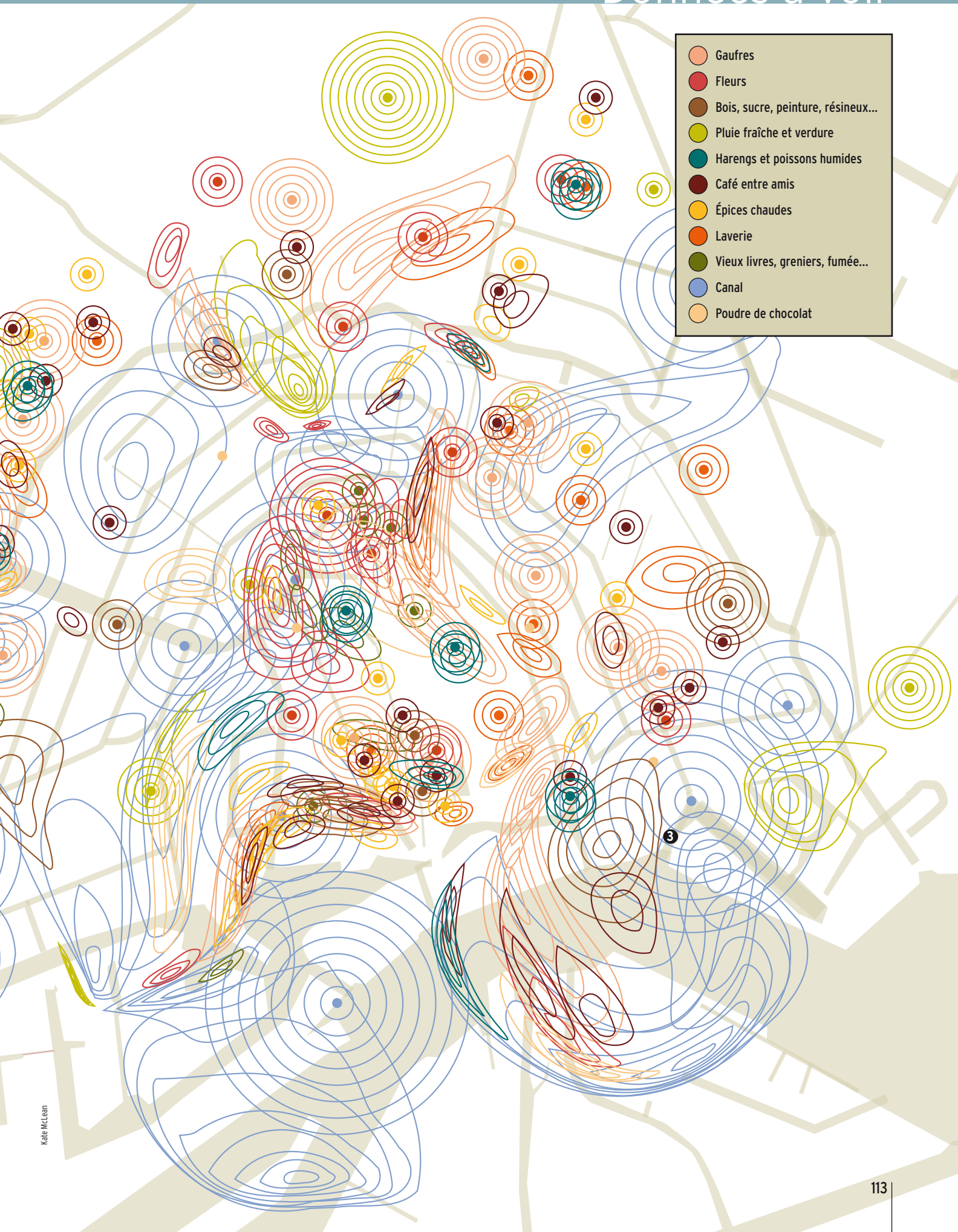
Au printemps, le paysage olfactif d'Amsterdam est caractérisé par les odeurs sucrées et douces des gaufres, les épices orientales qui émanent des boutiques et des restaurants asiatiques et surinamiens (le Suriname est l'ancienne Guyane néerlandaise) et, enfin, le hareng mariné vendu en de nombreux endroits de la ville.

La saison signale son arrivée avec les odeurs de fleurs et de nouvelles feuilles. Les effluves des laveries sont aussi bien présents. Et le cannabis ? Il n'apparaît que dans deux quartiers et, si peu représenté, ne figure pas sur la carte !

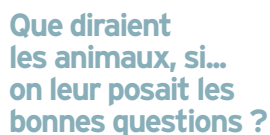
Kate McLean a également dressé les cartes olfactives d'Édimbourg, Milan, Glasgow, Paris...





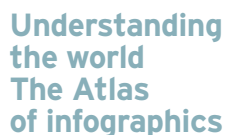


## À LIRE



En un abécédaire regroupant 26 questions, l'auteur bouscule beaucoup d'idées reçues sur ce que font, veulent et pensent les animaux. Vinciane Despret, psychologue et professeur de philosophie des sciences à l'Université de Liège, montre que derrière ces préjugés se cachent les résistances à accorder aux bêtes des compétences trop humaines. Pourquoi? L'une des hypothèses est la volonté de « faire science », de trouver des explications générales et dépourvues de toute empathie.

Comment y remédier ? D'abord, en évitant de considérer les animaux comme des objets. Ensuite, en restant ouvert à toutes les éventualités, car ils pensent quelque chose de nous et donnent des réponses à ce qu'ils croient que nous leur demandons. Vous ne regarderez plus jamais votre chien de la même façon !



Comment comprendre notre monde et en rendre compte, depuis ses origines jusqu'à ses rouages les plus complexes d'aujourd'hui ? Les auteurs ont fait le pari de répondre avec des images et des infographies. Cet ouvrage de très grand format, et de quelques kilogrammes, rassemble

plus de 280 illustrations fascinantes. Quelques exemples de leur diversité : l'inventaire des météorites tombées sur Terre ces 100 dernières années, une carte mondiale des émissions de dioxyde de carbone, les liens génétiques entre la plupart des maladies humaines, un guide pratique pour tout acteur souhaitant un *Oscar*...

Sandra Rendgen, directrice de publication et développeuse de concepts pour des installations média, travaille notamment sur la visualisation de données et la transmission de l'information. Julius Wiedemann a été directeur artistique pour des magazines spécialisés dans le numérique et le design.

Ensemble, ils proposent ici une encyclopédie en cinq chapitres (environnement, technologie, économie, société et culture) des chefs-d'œuvre du design graphique. Ils sont pour l'essentiel récents, mais certains sont des illustrations historiques.

Le livre donne à voir notre monde sous une forme qui allie esthétique et informations. Et soudain, tout s'éclaire!

## À ÉCOUTER



<http://bit.ly/Phy-Phi>

**À CLIQUER**



<http://bit.ly/GM-Gombe>



## PÊLE-MÊLE

**L'app BaladOmarais** a été élaborée par l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (ONEMA), avec le concours de nombreux partenaires. Avec elle, partez à la découverte des milieux humides en France métropolitaine et en Outre-mer (la baie de Somme, la Camargue, la Brenne, les mangroves du Grand Cul-de-sac Marin...). Sur la carte interactive, repérez toutes les sorties nature, les sentiers pédagogiques, les spectacles et les expositions... liés à la journée mondiale des zones humides (le 2 février). L'application *BaladOmarais* accompagne le développement d'un portail national d'information sur les zones humides. Gratuit : <http://bit.ly/BaladO>

**Le blog de la sonde Rosetta** est toujours à suivre, même après l'« atchouryassage » à rebondissements de *Philae* sur la comète, en novembre 2014. On peut y suivre les prochaines étapes de l'aventure et y découvrir les premiers résultats des analyses des instruments embarqués. <http://bit.ly/Blog-Rosetta>

**La vidéo *Carnivora Gardinum***, de Chris Field, est le résultat de 107 jours d'enregistrements vidéo avec deux caméras. Le résultat est une spectaculaire reconstitution en *time lapse* (en accéléré) du quotidien de plusieurs espèces de plantes carnivores. On voit en action les pièges redoutables mis au point par ces végétaux (de nombreuses captures sont filmées). Et l'on redécouvre que les organes piègeurs de ces végétaux sont des feuilles, et non des fleurs... Le résultat est saisissant ! <http://vimeo.com/112014963>

## À VOIR



### Sur la piste des grands singes

Les grands singes, c'est-à-dire les chimpanzés, les bonobos, les deux espèces de gorilles et les deux autres d'orangs-outans, sont nos cousins, nos plus proches parents dans l'arbre du vivant. Nous avons tous en tête de belles images, des souvenirs de films ou de documentaires, mais en fin de compte, on peut s'interroger : les connaissons-nous vraiment ?

L'exposition, conçue par le Muséum national d'histoire naturelle, propose de partir à leur rencontre selon un parcours en cinq parties. Les trois premières présentent les six espèces de grands singes, leurs caractéristiques morphologiques, leur évolution, leur place dans l'histoire des sciences... La quatrième partie met en scène le quotidien des grands singes dans leur environnement. Les visiteurs, immergés dans une forêt fictive, découvrent alors comment les primates vivent (en groupes ou non), se déplacent (dans les arbres ou au sol), construisent des nids, communiquent, innovent en inventant des outils dont le maniement est transmis de génération en génération, à la façon d'une culture...

La cinquième partie récapitule les dangers auxquels sont confrontés les grands singes : la dégradation et le

morcellement de leur habitat, la chasse et le braconnage, le trafic d'animaux vivants, les maladies, dont certaines sont communes aux êtres humains... Pour autant, ces espèces ne sont pas irrémédiablement condamnées, et les diverses mesures de sauvegarde sont détaillées.

Au fil de sa visite, outre la forêt tropicale reconstituée et animée par des jeux de lumière et de son, le public croquera une sélection d'animaux naturalisés sortis des collections du Muséum et d'autres institutions.

Plusieurs squelettes de grands singes ont été installés en position dynamique, spécialement pour l'exposition. De plus, trois sculptures réalistes, grandeur nature, de chimpanzé, de gorille et d'orang-outan, accueillent les visiteurs. En outre, des objets ethnologiques et historiques illustrent les relations des hommes avec les grands singes et la forêt.

Les nombreux travaux de recherche sur les grands singes menés par les équipes du Muséum sont inscrits dans la muséographie de façon à présenter les dernières découvertes scientifiques en primatologie.

*Sur la piste des grands singes, à la Grande galerie de l'évolution, au Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, du 11 février 2015 au 21 mars 2016.*



# Mais où est donc l'araignée ?







**Sur cette photo où des fourmis vaquent à leurs occupations, une araignée s'est cachée. Elle est tapie sur la face interne de la feuille, en dessous des autres insectes. On distingue les huit pattes qui en font indéniablement une araignée, en l'occurrence une araignée sauteuse (famille des Saltacidae) du genre Myrmarachne, alors que les fourmis, à l'instar de tous les insectes, n'en ont que six. Un inventaire récent montre qu'environ 300 espèces d'araignées se livrent à ce genre d'imitation. Selon les espèces, ce camouflage aide à capturer des fourmis pour s'en nourrir ou bien à éviter d'être dévoré par... des fourmis.**

*P. Cushing, Spider-ant associations : an updated review of myrmecomorphy, myrmecophily, and myrmecophagy in spiders, Psyche, vol. 2012, art. 151989, 2012.*

*Cette photographie est extraite du blog Best of Bestioles : <http://bit.ly/PLS-BOB>. Retrouvez tous les billets de ce blog en flashant le code ci-contre.*



# Dans les bas-fonds d'Internet

*L'Internet que nous utilisons n'est que la partie émergée d'un iceberg. La majeure partie des réseaux est une zone grise où l'anonymat et le secret sont de rigueur. Des artistes investissent ce monde parallèle et en font leur terrain d'expression.*

**Loïc Mangin**

Un territoire méconnu, une *Terra incognita* objet de tous les fantasmes entretenus par des reportages alarmistes dans les médias, une zone de non-droit où règne l'anonymat... un tel endroit ne pouvait qu'intéresser des artistes. Quel est ce monde de tous les dangers, cette zone interlope ? Il s'agit du *Darknet*. Avant de voir en quoi il consiste, citons l'exposition qui lui est consacrée au Centre d'art de Saint-Gall, en Suisse : *The Darknet - From Memes to Onionland. An exploration*. Les termes obscurs de l'intitulé s'éclaireront plus loin.

Dans votre activité quotidienne, vous baguenaudez dans *Internet*, au gré notamment de vos recherches sur des sites dédiés. L'une des clefs de cette navigation est le référencement : lorsque vous tapez « Pour la Science » sur *Google*, l'algorithme sous-jacent parcourt le Web et répertorie tous les sites, à commencer par celui du magazine, qui ont les mots saisis dans leur étiquette officielle. En retour, vous obtenez une liste de résultats plus ou moins pertinents. Un autre aspect important de cette activité est que vous, l'utilisateur, êtes

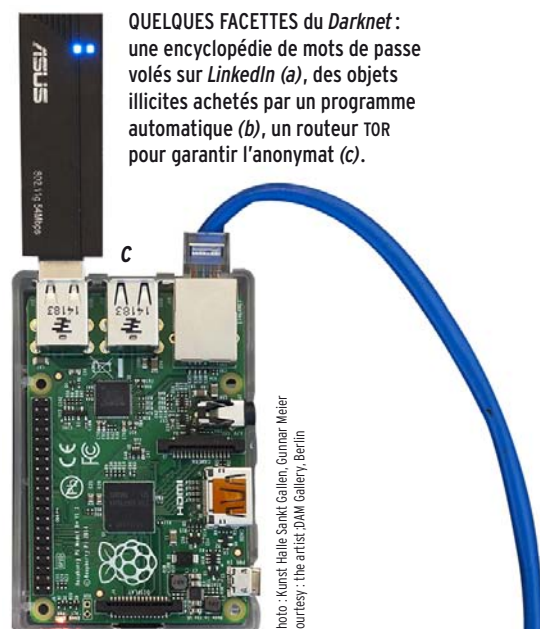
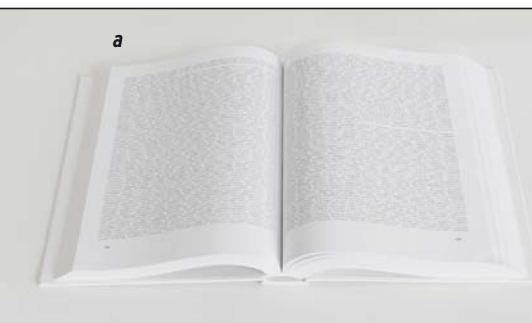
repéré grâce à l'adresse, dite IP, de l'appareil (ordinateur, smartphone, tablette...) avec lequel vous explorez *Internet*. Dans ces conditions, votre activité se fait au grand jour et alimente, par exemple, les services de publicité. Vous êtes à découvert et quelques-unes de vos données personnelles circulent : elles sont mêmes parfois interceptées par des officines gouvernementales !

Comment échapper à ces « autoroutes de l'information » où tout le monde circule au su et au vu de tous ? En plongeant dans le *Darknet* ! À l'origine, le mot désignait uniquement un réseau privé virtuel établi entre des personnes de confiance. On peut aussi glisser sous ce terme le *Web profond*,

c'est-à-dire les pages Web accessibles en ligne, mais non indexées par des moteurs de recherche classiques. Enfin, on peut aussi associer au *Darknet* les réseaux d'anonymisation dont le plus connu est TOR (*The Onion Router*, soit *Le routeur oignon*).

Ce réseau informatique, mondial et décentralisé, est superposé à celui que tout le monde emprunte. Il est constitué de routeurs organisés en couches (d'où le nom *oignon*) qui transmettent de façon anonyme des flux d'informations.

Ainsi équipé, vous pouvez vous aventurer dans le *Darknet* ! Qu'y trouverez-vous ? On entend le plus souvent parler de crime organisé, l'un des exemples étant *La Route de la soie*, un supermarché virtuel

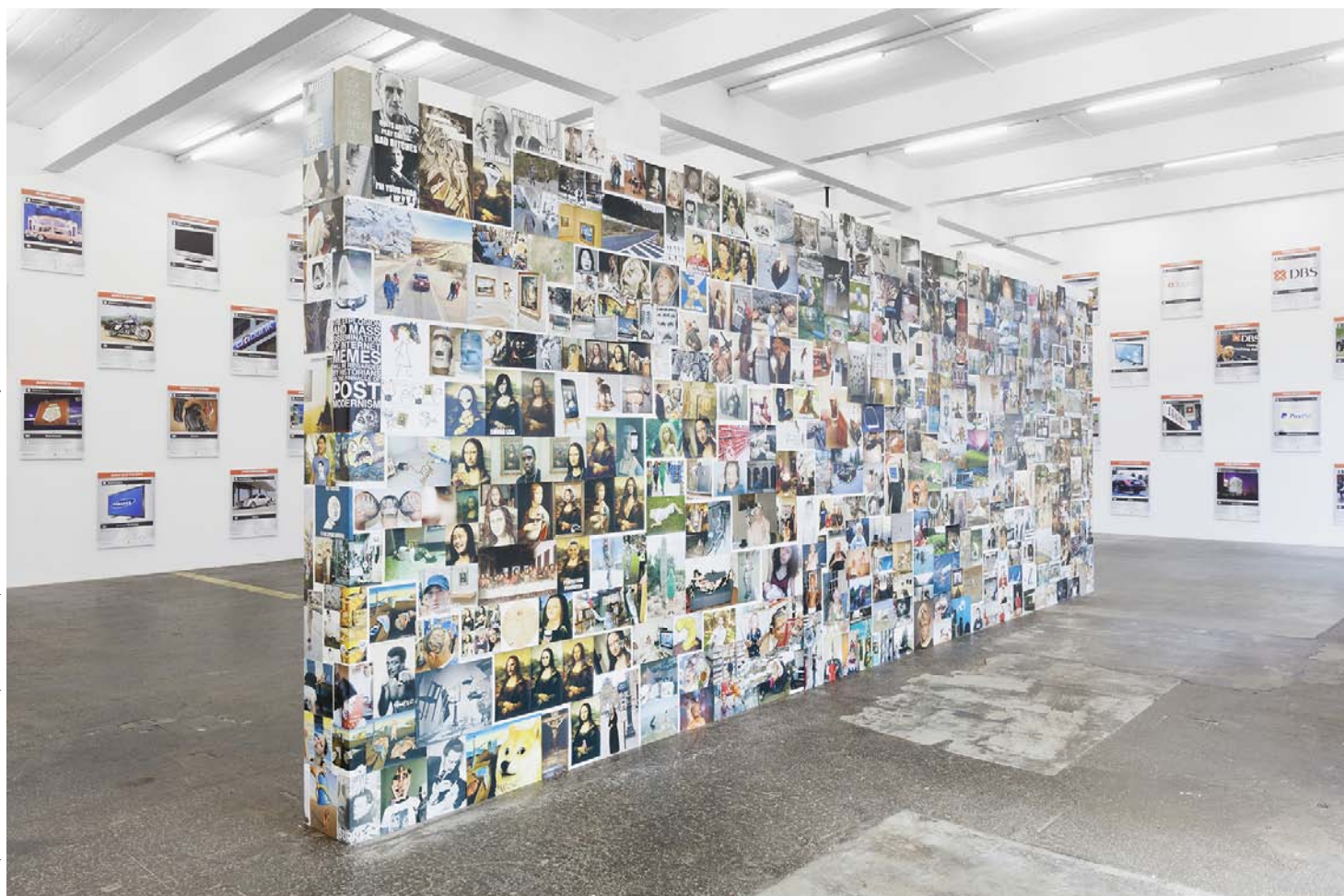


**QUELQUES FACETTES du *Darknet* :**  
une encyclopédie de mots de passe volés sur *LinkedIn* (a), des objets illicites achetés par un programme automatique (b), un routeur TOR pour garantir l'anonymat (c).

Photo : Kunst Halle Sankt Gallen, Gunnar Meier  
Courtesy : the artist.DAM Gallery, Berlin



Photo: Kunst Halle Sankt Gallen, Gunmar Meier  
 Courtesy: Valentina Tanni; the artist, Anonymous; Simon Denny; the artist; Galerie Budholz Berlin/Cologne



où toutes les drogues peuvent s'acheter. Armes, données volées, pornographie, contrefaçons s'échangent sans difficultés, notamment dans l'Agora, un supermarché parallèle où tout se monnaie en bitcoins. Cependant, le Darknet est aussi le repaire de ceux pour qui l'anonymat est vital, tels les dissidents politiques pourchassés par leur gouvernement, les journalistes menacés. Ainsi, Reporter sans frontières organise en Afghanistan des stages de formation à TOR.

Retournons maintenant à Saint-Gall pour voir de quelle façon les artistes se sont emparés du Darknet. On doit l'une des œuvres au duo suisse !Mediengruppe Bitnik. Leur Random Darknet Shopper consiste en un bot (un programme informatique automatique) qui achète au hasard ce qu'il trouve dans le Darknet, à raison de 100 dollars (en bitcoins) par semaine. Le musée présente les emplettes (voir la figure b): des cachets d'ecstasy, des cigarettes ukrainiennes, une carte Visa Platinum, un faux sac Louis Vuitton...

L'Allemand Robert Sakrowski raconte en vidéo l'histoire du groupe Anonymous, une communauté d'internautes activistes agissant souvent pour défendre la liberté d'expression. Ils s'en sont pris par exemple à la censure des gouvernements lors des révolutions arabes

Le Néo-Zélandais Simon Denny inventorie en peinture (voir la figure ci-dessus, sur les murs) les objets confisqués par la police de Auckland, agissant pour le compte du FBI américain, dans la maison de Kim Dotcom. Ce dernier, fondateur de la plate-forme de partage illégal Megaupload est inculpé d'association de malfaiteurs en vue d'activité économique illégale, de contrefaçon de copyright, de blanchiment d'argent...

L'Allemande Aram Bartholl expose, dans huit volumes (voir la figure a), 4,7 millions noms d'utilisateurs (avec mots de passe) du réseau social professionnel LinkedIn dérobés en 2012 et proposés sur le Darknet. Les visiteurs sont invités à vérifier s'ils y figurent... Un routeur TOR est même visible sur les murs du centre d'art (voir la figure c).

**LE GRAND MUR DE MÈMES**  
 (au centre) et Les effets  
 personnels de Kim Dotcom  
 (sur les murs).

D'autres artistes invités se confrontent au Web de surface. Ainsi, Le Grand Mur de Mêmes (voir la figure ci-dessus, au centre de la pièce), de l'Italienne Valentina Tanni, est une sorte d'archives visuelles qui réunit les « mêmes Internet » liés à l'art, un même étant un élément qui se transmet et se transforme de façon virale sur le Web.

En sortant de l'exposition, le visiteur se rend compte que l'Internet qu'il connaît ne représente que la partie émergée de l'iceberg: 90 pour cent de ce qui circule sur les réseaux lui sont inaccessibles! ■

*The Darknet - From Memes to Onionland. An exploration, Kunst Halle Sankt Gallen, du 18 octobre 2014 au 11 janvier 2015.*

J.-P. Pinte, *Le Web invisible: l'antre du cybercrime*, in Dossier Pour la Science, N° 70, janvier-mars 2011.

# Prochain numéro en kiosque début avril

## LES ROBOTS, une histoire de la vie en version accélérée

Bill Gates nous promet un robot dans chaque foyer dans un proche avenir. Mais à quoi ressembleront ces machines qui nous côtoieront ?

Seront-elles minuscules et en grand nombre dans notre environnement ? Ce seront alors des mini, voire des nanorobots de la taille d'une bactérie qui agiront en essaim et seront dotés d'une intelligence distribuée.

Les robots seront-ils nos nouveaux « animaux » ? De fait, âne, poisson, serpent, salamandre, guépard... inspirent les roboticiens qui conçoivent des machines pour remplir diverses tâches.

Seront-ils encore associés à notre corps et à notre esprit ? Sous la forme de prothèses intégrées à notre anatomie ou d'auxiliaires pour la psychiatrie, ils suppléeraient alors à nos déficiences.

Pourquoi faire de l'humain un horizon ? On peut aussi imaginer que les robots et leur intelligence artificielle dépasseront un jour nos capacités intellectuelles. À quoi ressemblera alors notre monde à l'ère des machines ?



## VOTRE MAGAZINE OÙ VOUS VOULEZ, QUAND VOUS VOULEZ !

### PAPIER

Découvrez toutes  
nos offres  
d'abonnement

### NUMÉRIQUE

Retrouvez tous  
les numéros  
sur l'application

### ARCHIVES

Tous les articles  
depuis 1996, à lire en ligne  
ou à télécharger en PDF



**POUR LA  
SCIENCE**

**POUR LA  
SCIENCE**

[www.pourlascience.fr](http://www.pourlascience.fr)





850%

**des gorilles ont disparu en 20 ans !**

**Pour nous aider à les protéger, faites votre don sur [www.wwf.fr](http://www.wwf.fr)  
ou envoyez votre chèque au 1 carrefour de Longchamp 75016 Paris**



"Le trek à Bwindi à la recherche des Gorilles  
et celui à Kibale pour observer les chimpanzés  
sont des **expériences inoubliables.**"

Bertrand, parti le 02/08/2014 sur OUG53

"Promesses  
tenues et gorilles  
"dans la brume"."

René, parti le 23/12/2011 sur OUG52

**NOMADE**  
Aventure

"Que du bon, rencontre  
avec les gorilles inoubliable,  
foncez les yeux fermés !"

Laurence, partie le 24/02/14 sur OUG51

"Ne ratez pas l'île  
aux Chimpanzés  
à Buëa. C'est un  
**moment  
magique.**"

Philippe, parti le 16/03/2013 sur CMR58

# LA PLANÈTE DES SINGES

## LE VOYAGE

NOMADE AVENTURE PRÉSENTE UN ENSEMBLE DE VOYAGES EXTRAORDINAIRES : LA PLANÈTE DES SINGES AVEC DANS LEURS PROPRES RÔLES : LE GROUPE DES GORILLES DE MONTAGNE "SUSA" DANS LE PARC DES VIRUNGAS AU RWANDA • LES GORILLES DE LA FORÊT DE KIBALE EN OUGANDA • OSCAR, FREDDY ET FRODO, LES CHIMPANZÉS DU FILM ÉPONYME DU PARC NATIONAL DE TAÏ EN CÔTE D'IVOIRE • LES GORILLES ET CHIMPANZÉS DE MFOU'OU AU CAMEROUN • LES CHIMPANZÉS DU PARC NATIONAL DE LA LOPE AU GABON • LES ORANGS-OUTANS DU SABAH ET DU SARAWAK À BORNEO (MALAISIE) • ET VOUS, BIEN SÛR !  
SCÉNARIO : DAME NATURE • RÉALISATION : TOUTE L'ÉQUIPE DE NOMADE AVENTURE ET SES GUIDES LOCAUX EXPÉRIMENTÉS • DURÉE : 9 À 14 JOURS

0 825 701 702 (0,15€ TTC/MN)

WWW.NOMADE-AVENTURE.COM/PLANETEDESSINGES

**50€**

DE RÉDUCTION sur les voyages  
"Planète des singes" avec le code **PLSHS2015**  
pour toute inscription avant le 31/12/2015,  
réservés aux lecteurs de *Pour la Science*.