

> bobinage primaire, ce qui réduira l'efficacité du dispositif.

Il existe heureusement une solution à cette difficulté: canaliser les lignes de champ en utilisant un matériau magnétique. Les plus répandus sont le fer doux ou la ferrite. Tous deux ont la propriété de s'aimanter fortement sous l'effet d'un champ magnétique, mais de perdre cette aimantation induite lorsque le champ s'annule. Ces matériaux usinés sous forme d'un tore ou d'un cadre, le noyau, se comportent alors comme des tuyaux à champ magnétique: enroulés autour d'un même noyau, les deux bobinages seront traversés par les mêmes champs magnétiques variables, ce qui induira donc les mêmes champs électriques, comme dans notre transformateur idéal, même s'ils sont éloignés.

### SATURATION MAGNÉTIQUE

Pourquoi ne peut-on pas miniaturiser ce dispositif, notamment lorsqu'on n'a pas besoin de puissance importante et que l'on peut se contenter de fils fins? Parce qu'une seconde limite intervient: la saturation du matériau magnétique.

Le problème est le suivant. Si l'on veut réduire la taille du transformateur en conservant les mêmes caractéristiques électriques, une étude quantitative montre qu'il faut augmenter le nombre de spires lorsqu'on diminue le diamètre des bobinages. Cela se traduit notamment par une augmentation du champ magnétique dans le noyau.

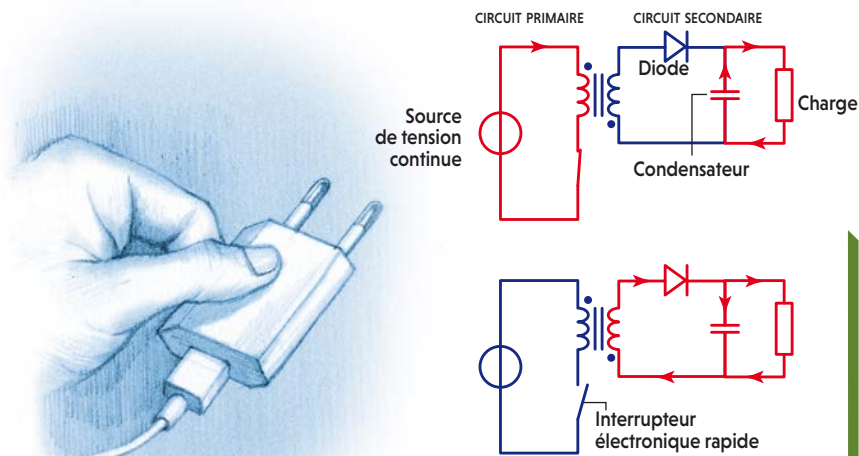
Or, à l'échelle microscopique, l'aimantation sous l'effet d'un champ magnétique est due à l'alignement progressif, sur la direction du champ, des aimants élémentaires constitués par certains électrons du matériau ou les boucles microscopiques de courant formées par les mouvements des électrons autour des atomes. Quand tous ces aimants sont alignés, le matériau atteint une aimantation maximale. Et si le champ augmente encore, le matériau ne peut alors plus canaliser davantage de lignes de champ: l'efficacité du transformateur décroît fortement.

Cela se comprend aussi d'un point de vue énergétique: soumis à une tension alternative, le matériau magnétique reçoit à chaque alternance l'énergie magnétique du premier bobinage, la stocke, puis la cède au second. La limite est ainsi donnée par la quantité d'énergie magnétique que le matériau peut stocker.

Le combat est-il perdu? Non! Puisqu'il y a une relation entre tension induite et variation du champ magnétique, au lieu d'augmenter le champ magnétique

## CONVERTISSEUR FLYBACK

**L**es tout petits chargeurs de téléphones disponibles aujourd'hui intègrent un « convertisseur Flyback », un transformateur fonctionnant à très haute fréquence. Le circuit primaire, alimenté par une tension continue, est muni d'un interrupteur électronique qui s'ouvre et se ferme à haute cadence. Dans la phase où cet interrupteur est fermé, la tension appliquée entraîne l'augmentation progressive du courant (*symbolisé en rouge*) dans le circuit primaire. Le circuit secondaire est alors ouvert, car le courant induit est bloqué par une diode. Par conséquent, le champ magnétique augmente et le matériau magnétique accumule de l'énergie. Dans la seconde phase, l'interrupteur s'ouvre. Le courant s'annule (*en bleu*) dans le bobinage primaire et le secondaire prend le relais: le courant induit dans le secondaire circule dans le sens passant de la diode. Le matériau magnétique cède alors son énergie au circuit secondaire.



lorsque la taille du bobinage diminue, augmentons la cadence de ses variations.

C'est la solution adoptée dans de nombreux dispositifs modernes, par exemple dans le convertisseur Flyback qu'utilisent notamment les petits chargeurs de téléphones (*voir l'encadré ci-dessus*). La fréquence des grandeurs électriques qui traversent le transformateur est alors de plusieurs dizaines de kilohertz, au lieu des 50 hertz du secteur.

Dans ces dispositifs, la tension du secteur est au préalable redressée en tension continue. Cette dernière est appliquée au circuit primaire du transformateur comportant un interrupteur électronique qui s'ouvre et se ferme alternativement à un rythme très rapide. À chaque cycle, l'énergie transférée au circuit secondaire est donc au plus égale à l'énergie magnétique stockée à saturation dans le matériau magnétique comme auparavant, mais la limite du transfert d'énergie est ici déterminée par le temps de réponse du matériau magnétique à un champ magnétique alternatif (elle de l'ordre de quelques mégahertz). C'est l'un des obstacles à une miniaturisation plus poussée des transformateurs. ■

### BIBLIOGRAPHIE

W. T. McLyman,  
**Transformer and Inductor  
Design Handbook**,  
4<sup>e</sup> édition, CRC Press, 2011.

P. M. Fishbane et al.,  
**Physics for Scientists  
and Engineers**, 3<sup>e</sup> édition,  
Pearson Prentice Hall, 2005.

E. Hecht, **Physique**,  
De Boeck, 1999.



# Une thèse révolutionnaire pour un grand livre de science



Gabriel Chardin - 480 p. - 25 €

La gravité : Einstein  
l'a apprivoisée,  
la physique quantique  
s'y casse les neurones...  
Comment dès lors  
avoir une vision unifiée  
de l'Univers?  
Gabriel Chardin  
propose, carrément,  
un nouveau modèle  
d'Univers...

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



## L'AUTEUR



HERVÉ LE GUYADER  
professeur émérite de biologie  
évolutive à Sorbonne  
Université, à Paris

# LA LEÇON DU PONGO DE TAPANULI

En 2017, une troisième espèce d'orang-outan a été identifiée, portant à sept le nombre d'espèces de grands singes. Mais qu'entend-on par espèce?

**D**ans la langue anglaise, deux mots nomment les singes. *Monkeys* correspond aux singes arboricoles du Nouveau Monde (les platyrrhiniens tels les ouistitis, singes hurleurs, singes-araignées...) et aux singes à queue de l'Ancien Monde (les cercopithécoïdes tels les cercopithèques, babouins, macaques...). *Apes* désigne les primates qui, avec l'espèce humaine, constituent le taxon des hominoïdes, à savoir les gibbons, orangs-outans, gorilles et chimpanzés. Les *great apes* ou grands singes sont quant à eux l'ensemble de ces primates sans les gibbons. Dans les ouvrages de zoologie des années 1970, on en comptait trois espèces et de multiples sous-espèces. Depuis quelques mois, avec la découverte d'une nouvelle espèce d'orang-outan, on est arrivé à sept espèces et onze sous-espèces! Pourquoi ces animaux à populations réduites apparaissent-ils si diversifiés? Cela tient peut-être à la manière dont on conduit les déterminations.

Les premiers critères utilisés pour décrire les espèces et sous-espèces de grands singes étaient la répartition géographique et les différences anatomiques. Depuis la fin du xx<sup>e</sup> siècle, cependant, avec l'avènement du séquençage des gènes, puis des génomes, l'étude moléculaire complète ces critères. Dans le cas des grands singes, les analyses moléculaires poussées, réalisées à partir du séquençage de génomes complets, ont ainsi systématiquement confirmé le travail des anatomistes.

## EN QUÊTE D'ESPÈCES

Grâce à ces travaux, on sait que les chimpanzés forment le groupe frère d'*Homo sapiens*, avec deux espèces: le chimpanzé commun *Pan troglodytes*, majoritairement sur la rive nord du Niger, et le chimpanzé pygmée ou bonobo, *P. paniscus*, qui occupe la rive sud (voir l'encadré pages 94 et 95). Le zoologiste américain Harold Coolidge décrivit cette dernière dès 1933, mais à partir de l'anatomie d'un seul individu, ce qui

Son visage est plus plat que celui des autres orangs-outans, et son crâne plus petit.



Son poil est épais et crépu, alors que celui de son voisin, l'orang-outan de Sumatra, est long et lâche.



### Orang-outan de Tapanuli

Taille: 1,10 à 1,40 m

Longévité: 50 à 60 ans

Les mâles dominants (tel celui-ci) sont moustachus, et les femelles barbues, contrairement à celles de l'espèce de Bornéo.

## EN CHIFFRES

# 800

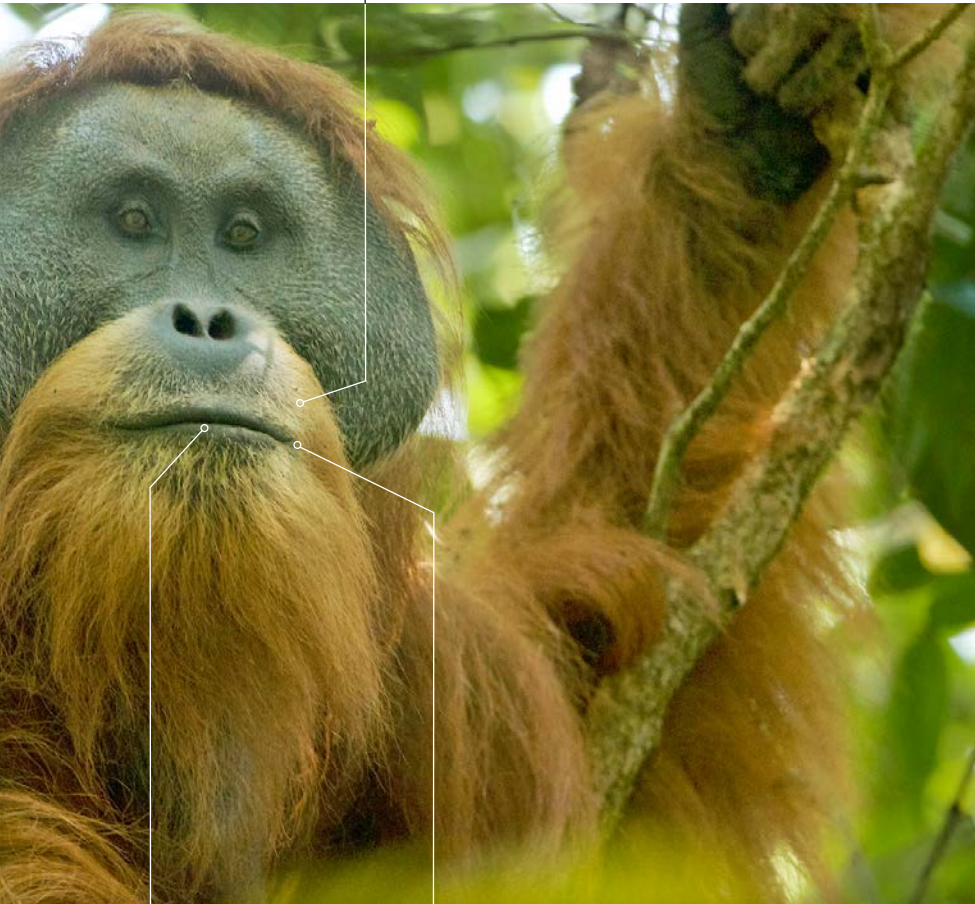
individus de l'espèce *Pongo tapanuliensis* ont été répertoriés. À peine découverts, ces orangs-outans sont classés en danger critique. À cause de la déforestation et de la chasse, on estime qu'ils seront moins de 300 en 2060.

# 200 000

gorilles de l'Ouest (*Gorilla gorilla*) vivent encore en Afrique. Toutefois, les populations de leurs deux sous-espèces diminuent. *G. g. diehli*, notamment, compte moins de 250 individus. Les gorilles de l'Est ne vont pas mieux : leur population, inférieure à 5 000 individus, décline de 5 % par an...

# 2,6 millions

de kilomètres carrés en Afrique : les chimpanzés communs ont la plus grande surface de répartition parmi les grands singes. Leur population, qui compte environ 200 000 individus, diminue elle aussi, tout comme celle de leurs cousins les bonobos, dix fois moins nombreux.



Il se nourrit d'aliments inhabituels chez les autres orangs-outans, comme des chenilles ou des cônes de conifères.

Le long cri du mâle monte plus haut que celui des orangs-outans de Sumatra, et est beaucoup plus long et pulsé que celui des orangs-outans de Bornéo.

divisa la communauté des zoologistes à l'époque : certains suivirent leur confrère, d'autres ne virent là qu'une sous-espèce de la première. Très vite, des primatologues comme l'Américain Robert Yerkes remarquèrent des différences comportementales notables entre les chimpanzés du nord et du sud du Niger. Pourtant, il fallut attendre 1988 pour que l'anthropologue américain Brian Shea et Coolidge proposent des données morphologiques convaincantes, confirmées en 1994 par les premières données moléculaires. Par ailleurs, dès le XIX<sup>e</sup> siècle, des sous-espèces de *P. troglodytes* ont été décrites. On en compte quatre à présent. Les deux espèces de

gorilles sont elles aussi connues depuis longtemps : des zoologistes les ont décrites dès le début du XX<sup>e</sup> siècle.

Quant aux orangs-outans, jusqu'à récemment, on en reconnaissait deux espèces : l'orang-outan de Bornéo (*Pongo pygmaeus*), décrit par Linné en 1760, et celui de Sumatra (*P. abelii*), décrit en 1827 par le naturaliste français René-Primevère Lesson au retour de sa circumnavigation à bord de *La Coquille*, sous le commandement de Louis Isidore Duperrey.

De nombreux caractères anatomiques, tout comme la séparation géographique, plaident en faveur de cette classification. Parallèlement, trois sous-espèces avaient été identifiées chez l'orang-outan de Bornéo : celle du Nord-Est (*Pongo pygmaeus morio*), celle du Nord-Ouest (*P. p. pygmaeus*) et celle du Sud-Ouest (*P. p. wurmbii*).

L'ensemble des techniques utilisées pour déterminer ces espèces et sous-espèces fonctionnait si bien que l'on pensait avoir fait le tour de la question. Or, en 2017, une troisième espèce a été décrite, ➤

> l'orang-outan de Tapanuli (*P. tapanuliensis*), trouvé dans une forêt du nord de Sumatra, au sud de l'aire de répartition de l'orang-outan de Sumatra (seulement 100 kilomètres séparent les aires de répartition des deux espèces), dans une région mal étudiée, car peu accessible.

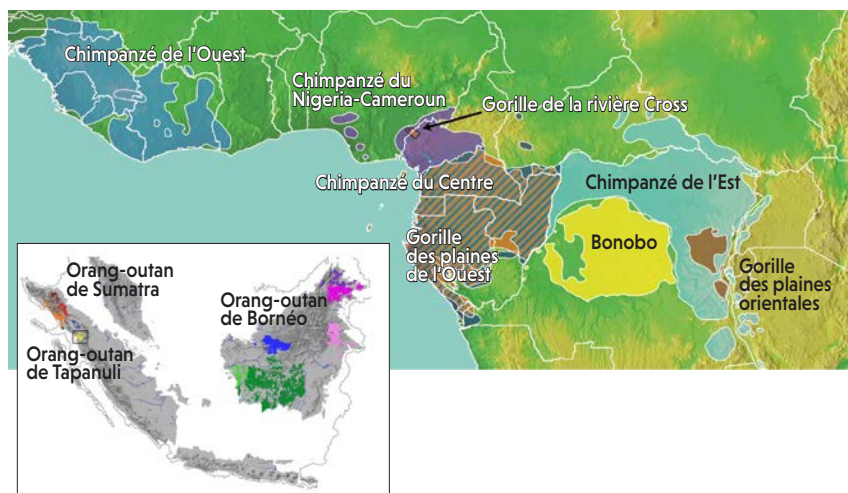
L'article, très documenté, signé par un consortium de 37 chercheurs de multiples origines (Suisse, Allemagne, États-Unis, Grande-Bretagne, Espagne, Indonésie, Australie...), se fonde sur de nombreux caractères pour asseoir leur démonstration: l'anatomie et la morphologie, bien sûr, mais aussi la génomique et la phylogénie moléculaire, et même le comportement, avec l'étude des différences dans les vocalisations. En d'autres termes, les chercheurs ont réalisé en une fois ce qui avait été fait de façon séquentielle sur les gorilles et les chimpanzés. Tout est-il donc éclairci? Pas vraiment, car, comme souvent en science, répondre à une question en soulève de nombreuses autres.

#### DES ANIMAUX INTERFERTILES AU SEIN D'UN MÊME GENRE

Les analyses de génomes entiers permettent de reconstruire de manière fine l'histoire des espèces: grâce à elles, non seulement on connaît la phylogénie – les liens de parenté des espèces –, mais on a aussi accès à l'évolution quantitative des populations en présence, ainsi qu'à leurs échanges de gènes. Or ces résultats montrent que les échanges de gènes ont été continus dans le groupe des chimpanzés, dans celui des orangs-outans

## RÉPARTITION DES GRANDS SINGES ET ARBRE DE PARENTÉ

Contrairement aux humains, les espèces de grands singes vivent dans de petites régions qui se recouvrent peu, en Afrique et en Indonésie. Les chimpanzés comptent deux espèces: les bonobos, au sud du fleuve Niger, et les chimpanzés communs au nord, répartis en quatre sous-espèces. Les gorilles désignent aussi deux espèces: les gorilles de l'Ouest (*Gorilla gorilla*) et de l'Est (*G. beringei*). Le gorille de l'Ouest comprend deux sous-espèces aux habitats disjoints: le gorille des plaines de l'Ouest,



que chez les grands singes, au sein d'un même genre (*Pan*, *Gorilla* ou *Pongo*), les animaux sont interfertiles.

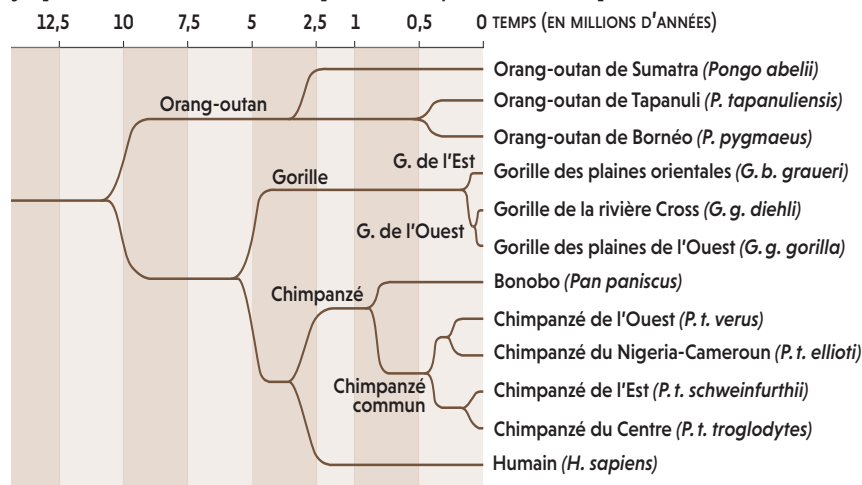
On est donc loin de la définition classique de l'espèce édictée par le biologiste allemand Ernst Mayr au milieu du xx<sup>e</sup> siècle, à savoir que «les espèces sont des groupes de populations naturelles, effectivement ou potentiellement interfécondes, qui sont génétiquement isolées d'autres groupes similaires». Les biologistes qui ont décrit la nouvelle espèce d'orang-outan, bien conscients du problème, proposent, au moins pour les primates, une définition plus intégrative: «Une espèce est une population (ou un groupe de populations) présentant, par rapport à d'autres, des différences héréditaires précises.» Mais ne dit-on pas la même chose? Certes non, et tout tient à l'utilisation de «génétiquement isolées» et de «différences héréditaires».

En effet, malgré la confusion classique, tout ce qui est héréditaire n'est pas forcément génétique – bien que tout ce qui est génétique soit héréditaire. Chez les primates en particulier existe un «deuxième système d'héritage», celui de la culture. En effet, comme l'a montré Andrew Whiten, primatologue de l'université de St-Andrews (Grande-Bretagne) en 2017, l'héritage culturel, fondé sur

**Tout ce qui est héréditaire n'est pas génétique, bien que tout ce qui est génétique soit héréditaire**

(dans une moindre mesure) et dans celui des gorilles. De nos jours, les échanges sont bien sûr nuls lorsque les populations sont isolées géographiquement, comme chez les gorilles ou les orangs-outans, mais les croisements en zoos montrent

présent au Cameroun, en République du Congo, au Gabon et en Guinée équatoriale, et le gorille de la rivière Cross, qui vit de part et d'autre de la frontière entre le Nigeria et le Cameroun. Le gorille de l'Est est également séparé en deux sous-espèces : le gorille des plaines orientales, qui se trouve en République démocratique du Congo, et le gorille des montagnes (*G. b. beringei*, non représenté), qui se compose de deux populations distinctes, l'une sur les montagnes des Virunga, à la frontière du Rwanda, de l'Ouganda et de la République démocratique du Congo, l'autre dans le sud-ouest de l'Ouganda. Les trois espèces connues d'orangs-outans, quant à elles, sont cantonnées à deux îles indonésiennes, Bornéo et Sumatra. L'étude de leur ADN mitochondrial a montré qu'il y a plus de différences entre eux qu'entre *H. sapiens* et les chimpanzés.



l'apprentissage social, satisfait à certains principes fondamentaux de l'évolution des caractères biologiques à héritage génétique. Par exemple, les traditions des grands singes varient géographiquement quand ils sont en liberté et entre les groupes quand ils sont en captivité ; l'héritage culturel se transmet verticalement des mères aux petits ; des caractères culturels se transmettent horizontalement entre populations ; les individus s'investissent dans leur transmission, en particulier pour l'utilisation d'outils.

Ces données proviennent d'études éthologiques sur le terrain, telles celles entreprises par la Britannique Jane Goodall sur les chimpanzés et l'Américaine Dian Fossey sur les gorilles de l'Est. Les tout derniers catalogues des variants culturels des grands singes ont été récemment mis à jour et donnent : 39 variants chez les *Pan* ; 24 chez les *Pongo* ; 23 chez les *Gorilla*. Ils concernent l'utilisation d'outils (cassage de noix, pêche de fourmis et de termites...), le traitement de la nourriture (nettoyage de fruits à piquants...), des comportements sociaux (techniques d'épouillage...). Andrew Whiten propose de ne pas séparer les deux systèmes d'héritage lors de l'étude des grands primates et se fait l'apôtre de la coévolution gènes-culture.

Une telle théorie est à approcher avec précaution et chaque espèce doit être vue comme un cas singulier. Andrew Whiten prend comme exemple l'orque ou épaulard (*Orcinus orca*) qui, selon les populations, ont des sources différentes de nourriture, poissons ou phoques. Or cela nécessite l'apprentissage de deux techniques différentes de pêche. On comprend alors qu'une orque apte à chasser le phoque aura des difficultés à rejoindre un groupe principalement ichtyophage.

## L'IMPACT DE LA CULTURE

Dans ce cas, conclut Andrew Whiten, des comportements culturels ont probablement influencé l'évolution biologique de ces populations en entraînant la sélection de certains gènes suivant les écotypes. Chez les primates, en revanche, dont les migrations comme les transferts horizontaux de faits culturels ne sont pas rares, les comportements culturels ont sans doute eu peu d'effet sur l'évolution génétique.

Néanmoins, certains primatologues défendent l'idée qu'une corrélation importante existerait entre les qualités culturelles et les capacités cognitives sélectionnées : les orangs-outans de Sumatra présenteraient des répertoires culturels plus élaborés que ceux des orangs-outans de Bornéo. De même, leurs capacités cognitives testées dans la nature comme en captivité seraient meilleures. Or les orangs-outans de Sumatra présentent un cerveau de 2 à 10% plus grand que celui de leurs cousins de Bornéo... Y aurait-il eu une sélection corrélée de techniques et d'intelligence ?

Dans la lignée humaine, la comparaison *Homo sapiens* – *H. neanderthalensis* fournirait un exemple analogue. Et s'il n'y avait pas eu une telle augmentation de la population humaine et si des isolats humains avaient persisté, peut-être notre espèce aurait-elle aussi pu connaître une spéciation équivalente au bout de plusieurs centaines de milliers d'années.

Le point important ici est qu'en introduisant la culture dans la distinction des espèces et sous-espèces de primates, les biologistes en viennent à adapter les critères de définition de l'espèce aux organismes concernés. Jacques Monod avait proclamé : « Ce qui est vrai pour *Escherichia coli* est vrai pour l'éléphant. » On peut l'admettre pour les mécanismes de base de la biologie moléculaire (réplication, transcription, traduction) et la (presque) universalité du code génétique. Mais il n'en est manifestement rien pour la définition de l'espèce... ■

## BIBLIOGRAPHIE

A. Nater et al., **Morphometric, behavioral and genomic evidence for a new orangoutan species**, *Current Biology*, vol. 27(22), pp. 3487-3498, 2017.

A. Whiten, **Culture extends the scope of evolutionary biology in the great apes**, *PNAS*, vol. 114 (30), pp. 7790-7797, 2017.

A. D. Foote et al., **Genome-culture coevolution promotes rapid divergence of killer whale ecotypes**, *Nature Communications*, article 11693, 2016.

J. Prado-Martinez et al., **Great ape genetic diversity and population history**, *Nature*, vol. 499, pp. 471-475, 2013.

## L'AUTEUR



HERVÉ THIS  
physicochimiste,  
directeur du Centre  
international de  
gastronomie moléculaire  
AgroParisTech-Inra, à Paris

# FAUT-IL FOUETTER LA SAUCE HOLLANDAISE ?

Pour confectionner certaines sauces, on fouette vigoureusement avant d'ajouter la matière grasse et de refouetter. Des expériences montrent que le premier geste n'est pas vain.

Pour la confection de crème anglaise, de sauce hollandaise, de sauce béarnaise et de tous leurs dérivés, qui se comptent par centaines dans la cuisine française classique, on commence par fouetter du jaune d'œuf, éventuellement avec une solution aqueuse, avant d'ajouter un corps gras. Par exemple, pour la crème anglaise, on fouette vigoureusement le jaune avec le sucre avant d'ajouter le lait. Le foisonnement subsiste-t-il quand on ajoute la matière grasse ? L'expérience suivante montre que la question n'est pas anodine.

Partons d'un blanc d'œuf, solution aqueuse de protéines, et fouettons. Une mousse se forme, parce que le fouet pousse des bulles d'air dans l'eau, et que ces bulles sont tapissées des protéines partiellement dénaturées par le cisaillement du fouet. Ajoutons maintenant de l'huile à cette première préparation foisonnée et fouettons : l'huile divisée en gouttelettes par les fils du fouet s'émulsionne : les gouttelettes s'entourent de protéines et se dispersent dans la mousse. On obtient ainsi un système hybride, entre émulsion et mousse. Puis, avec l'ajout supplémentaire d'huile, les bulles d'air disparaissent progressivement, remplacées par les gouttes d'huile. Le foisonnement initial serait-il alors inutile ?

Il y a plusieurs années, des expérimentations avec des crèmes anglaises avaient montré que la mousse subsistait ; et les tests sensoriels montrent que l'on distingue une crème anglaise foisonnée de la même crème que l'on n'a pas initialement fouettée, moins « moelleuse ».

Toutefois, la crème anglaise est une préparation où la teneur en matière grasse est faible (le lait entier ne contient que 40 grammes de matière grasse par litre). Que se passe-t-il si on l'augmente ?

Le premier foisonnement d'une sauce hollandaise introduit des bulles d'air. En fouettant quand on ajoute le beurre, ces bulles sont-elles remplacées par des gouttelettes de matière grasse ?



Lors de notre dernier séminaire de gastronomie moléculaire, nous avons réalisé l'expérience pour des sauces hollandaises. Dans le foisonnement initial (notons toutefois que ce foisonnement se fait tout en chauffant, ce qui conduit à la coagulation des protéines), la présence de nombreuses bulles d'air changeait la couleur, du jaune orangé à du jaune blanchi.

Quand on ajoute le beurre, l'œil ne suffit plus. Au microscope, on voit que les bulles d'air subsistent dans la deuxième étape, preuve que la coagulation des protéines fait toute la différence entre l'expérience initiale de blanc d'œuf fouetté et émulsionné, d'une part, et la production de sauces chauffées, d'autre part. D'ailleurs, les goûts des béarnaises foisonnées ou non sont très différents.

Mais s'il y avait encore plus de matière grasse que dans les recettes classiques ? J'ai expérimenté d'ajouter jusqu'à un litre d'huile à une hollandaise achevée : la sauce a parfaitement tenu et le microscope a montré que les bulles d'air subsistaient, quoique raréfiées au milieu des gouttelettes de matière grasse.

Évidemment, la sauce produite n'est nullement une sauce béarnaise, malgré les prescriptions du *Codex alimentarius*, ce cahier des charges international pour la vente des produits alimentaires : il est inadmissible que ce dernier admette que l'on

désigne sous le nom de béarnaises ou de hollandaises des sauces qui ne contiennent pas de beurre. Des béarnaises sans beurre ? C'est au mépris de tout l'art culinaire, car les triglycérides du beurre et ceux de l'huile n'ont pas les mêmes comportements de fusion, de sorte qu'ils ne conduiront pas aux mêmes consistances de sauce. Plus important encore, le goût est différent... ■

## LA RECETTE



Pour comparer deux sauces hollandaises, l'une foisonnée et l'autre non :

- 1 Dans un cul-de-poule, placer deux jaunes d'œuf et un volume d'eau correspondant à deux demi-coquilles d'œuf, puis mélanger et répartir dans deux casseroles.
- 2 Sur un feu doux, fouetter vivement le contenu d'une casserole.
- 3 Chauffer chaque casserole en ajoutant, lamelle par lamelle, 200 grammes de beurre dans chaque préparation et en fouettant.
- 4 Pour un test triangulaire, réunir une dizaine de personnes, et leur soumettre les deux sauces : chaque membre du jury reçoit trois cuillerées, avec une même sauce pour deux des cuillers, et l'autre sauce pour la troisième cuiller. On demande seulement de dire (à l'aveugle, donc, et avec la présentation des cuillers dans un ordre connu seulement de l'organisateur du test) quelles sont les deux sauces identiques.
- 5 Pour transformer l'expérience en cuisine, ajouter finalement du sel, du poivre, un peu de jus de citron ou d'acide citrique.