

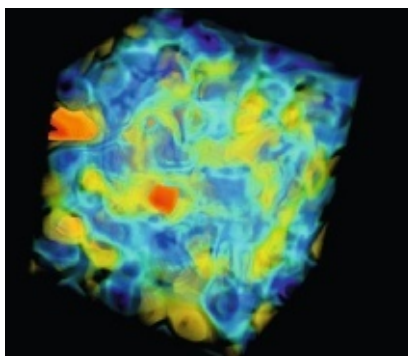
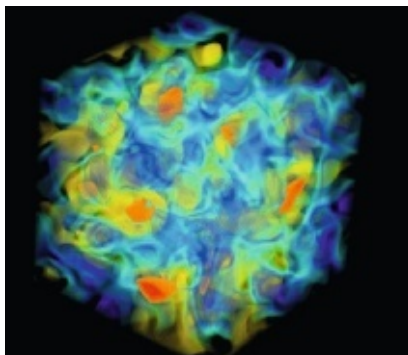
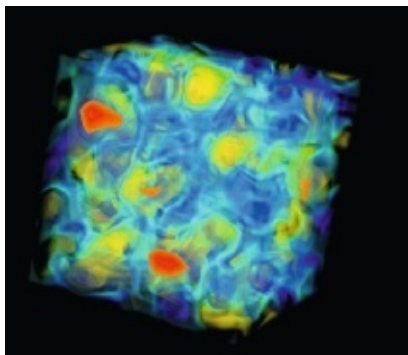
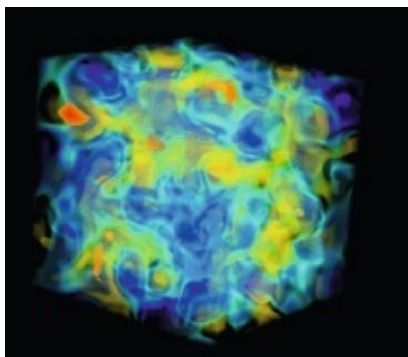
de mes collègues physiciens pensent malgré tout qu'une réalité discrète est sous-jacente. Ils mettent en avant des exemples montrant comment la continuité peut émerger de la quantification. Aux échelles macroscopiques de notre expérience quotidienne, l'eau contenue dans un verre semble lisse et continue. C'est seulement quand on l'examine de beaucoup plus près que l'on discerne les constituants atomiques. Un mécanisme de ce type pourrait-il être à la base de la physique ? Si nous regardions à un niveau plus profond, les champs quantiques, voire l'espace-temps lui-même, révéleraient-ils eux aussi une structure sous-jacente discrète ?

Nous ignorons la réponse à cette question, mais 40 années de tentatives de simulation du modèle standard sur ordinateur livrent un indice. Pour réaliser une telle simulation, il faut tout d'abord prendre les équations, exprimées en termes de grandeurs continues, et en trouver une formulation discrète, compatible avec les bits d'information que les ordinateurs manipulent. Or en dépit de plusieurs décennies d'efforts, personne n'y est encore parvenu. Et cela constitue l'un des problèmes ouverts les plus importants de la physique théorique, bien que ce soit rarement évoqué.

Problématiques fermions

Les physiciens ont développé une version discrétisée de la théorie quantique des champs, la « théorie des champs sur réseau », où l'espace-temps continu est remplacé par un réseau de points. Les ordinateurs évaluent les champs en ces points pour approximer un champ continu. Mais cette technique a des limites. La difficulté vient des électrons, des quarks et des autres particules de matière, les fermions (contrairement aux autres particules – les bosons –, si l'on fait tourner un fermion de 360 degrés, on ne retrouve pas l'objet de départ ; pour cela, il faut le faire tourner de 720 degrés). Les fermions (ou plutôt leurs champs) résistent à la mise sur réseau. Dans les années 1980, le Danois Holger Bech Nielsen et le Japonais Masao Ninomiya ont prouvé un théorème selon lequel il est impossible de discrétiser le type le plus simple de fermion.

Cependant, la validité de tels théorèmes n'est pas supérieure à celle de leurs hypothèses. Dans les années 1990, des théoriciens, en particulier David Kaplan, maintenant à l'Université de Washington, et Herbert



3. CETTE VISUALISATION d'une grandeur nommée charge topologique à quatre instants différents provient d'une simulation numérique sur réseau (un ensemble constitué d'un nombre fini de points) de la chromodynamique quantique – la théorie décrivant les quarks, les gluons et l'interaction forte à laquelle ces particules sont soumises. Une telle simulation sur réseau ne semble pas réalisable pour certains types de particules intervenant dans le modèle standard, qui décrit aussi l'interaction électromagnétique et l'interaction faible.

Neuberger de l'Université Rutgers, ont introduit diverses méthodes astucieuses pour mettre des fermions sur réseau. Les théories quantiques des champs se présentent sous de nombreuses formes, chacune avec différents types possibles de fermions, et l'on parvient maintenant à les formuler presque toutes sur réseau. Il ne reste qu'une classe de théories des champs que l'on ne sache toujours pas mettre sur réseau. Et malheureusement, le modèle standard en fait partie : nous savons manipuler toutes sortes de fermions hypothétiques, mais pas ceux qui existent en réalité.

Les fermions du modèle standard ont une propriété très particulière. Ceux qui tournent sur eux-mêmes dans le sens contraire des aiguilles d'une montre sont sensibles à l'interaction faible, mais pas ceux qui tournent dans le sens des aiguilles d'une montre. La théorie est dite chirale. Or une théorie chirale est délicate : des effets subtils, qualifiés d'anomalies, menacent en permanence de la rendre incohérente. Ces théories ont jusqu'à présent résisté à toutes les tentatives de simulation sur ordinateur.

Mais la chiralité n'est pas un défaut du modèle standard susceptible de disparaître dans une théorie plus profonde ; elle en est une caractéristique centrale. À première vue, le modèle standard, fondé sur trois forces liées les unes aux autres, apparaît comme une construction arbitraire. C'est seulement lorsqu'on réfléchit aux fermions chiraux que sa véritable beauté émerge. C'est un puzzle parfait, dont les trois composantes sont emboîtées de la seule manière possible. Dans le modèle standard, c'est la nature chirale de ses fermions qui permet à tous les éléments de bien s'imbriquer.

Les scientifiques ne savent pas très bien que conclure de notre incapacité à simuler complètement le modèle standard sur ordinateur. Il est difficile de tirer des conclusions solides d'une inaptitude à résoudre un problème ; il est possible que ce soit juste un problème très ardu qui finira par être résolu par des techniques classiques. Mais certains aspects du problème laissent penser qu'il est plus profond que cela. Les obstacles en cause sont intimement liés à des propriétés topologiques et géométriques. La difficulté de modéliser sur réseau des fermions chiraux indique peut-être quelque chose de plus important : que les lois de la physique ne sont pas, fondamentalement, discrètes. Nous n'habitons pas une simulation numérique. ■

**L'ESPCI ParisTech, l'ECPM, Chimie ParisTech
et l'ENSIC vous invitent au :**

FORUM HORIZON CHIMIE

Jeudi 31 Janvier 2013
9h00 / 18h00

**27^{ème}
édition**

**Entrée
libre**

Maison de la Chimie
28 bis rue Saint-Dominique
75007 PARIS
Métro Invalides

Renseignements :
01 45 35 41 82
www.horizon-chimie.fr

La domestication

Il y a plus de 30 000 ans, des groupes de chasseurs préhistoriques auraient intégré en leur sein des louveteaux.

Ainsi se serait enclenché le processus qui, à partir de ce fauve foncièrement social qu'est le loup, a engendré le chien.

du loup

Le chien, un loup rempli d'humanité.
Jean de La Fontaine (1621-1695).

Pour être vraie, cette frappante formule de Jean de La Fontaine sous-entend que le chien descend du loup. Est-il possible que les formes colorées si diverses de cet animal domestique soient issues du seul *Canis lupus*? Ou bien, comme le crurent Charles Darwin (1809-1882) et le cofondateur de l'éthologie Konrad Lorenz (1903-1989), descendait-il aussi du chacal, lui aussi du genre *Canis*, voire de toute une variété de canidés sauvages : renards, dingos, lycaons...? Jusqu'à ces dernières années, il était tout simplement impossible de déterminer l'origine du chien. Puis la biologie moléculaire a tranché : le chien est le descendant du loup et de lui seul, et la jolie formule de La Fontaine s'est révélée prémonitrice ! Le chien est une création de l'homme préhistorique par sélection artificielle. J'essaierai ici de dater et de discuter le processus de cette création, qui, manifestement, a joué un rôle important dans l'évolution de notre espèce. Je m'appuierai ce faisant sur mon expérience de l'élevage d'un loup au sein d'une famille humaine.

Pierre Jouventin

L'ESSENTIEL

- Espèce au faîte de la socialité, les loups vivent au sein de meutes hiérarchisées pratiquant une chasse coordonnée.
- Cette structure sociale a facilité l'intégration de louveteaux au sein de groupes humains.
- Au fil des générations, les loups domestiqués se sont transformés sous l'effet de la sélection opérée par l'homme, ce qui a conduit au chien.
- Grâce à la domestication des loups, les hommes préhistoriques ont pu chasser de façon plus efficace.

1. DES CHASSEURS GRAVETTIENS, antérieurs à la dernière glaciation, capturent les louveteaux non sevrés d'une meute de loups. Ils les apporteront ensuite à leurs femmes qui les nourriront au sein afin de les intégrer à la horde humaine. Ils en feront ainsi des chiens, précieux auxiliaires de chasse.

Moins dangereux que le chien

Le loup a toujours occupé la première place dans notre imaginaire animalier. Pour autant, les connaissances précises sur ses mœurs dans la nature, pour la plupart acquises par les biologistes nord-américains, datent de moins d'un demi-siècle. Aussi n'est-il pas étonnant que sur un sujet aussi crucial que le danger que cet animal représente pour nous, les avis s'opposent d'une discipline et d'un continent à l'autre. Jean-Marc Moriceau, historien membre de l'Institut universitaire de France, a sous-titré *3 000 attaques sur l'homme en France XV^e-XX^e siècles* son livre récent *Histoire du méchant loup*. Mais en Amérique du Nord, la prime qui avait été promise à celui qui prouverait une attaque sur un humain n'a jamais pu être attribuée... Il est en fait très difficile de distinguer les véritables attaques de celles de loups enragés et de

Benoît Charlys

chiens errants, autrement plus communes. Depuis 20 ans que le loup est de retour en France, aucune morsure de loup sur l'homme n'a été signalée, alors que des milliers de personnes mordues par des chiens se présentent chaque année aux services d'urgences ; 33 d'entre elles sont mortes en 20 ans... Comme le requin, le loup a très mauvaise réputation, sans doute parce que les cadavres dévorés à la suite de suicides ou pendant les guerres ont été interprétés comme des victimes d'attaques. En tout cas, aujourd'hui en France, le loup représente un risque statistiquement nul, alors que les morsures de chien constituent un problème de santé publique...

Loin d'être ce que suggère la très ancienne locution *Homo homini lupus est* (L'homme est un loup pour l'homme), cet animal farouche et à juste titre craintif est en réalité au faîte de la socialité. Sa niche écologique consiste en une adaptation comportementale à la chasse coordonnée en groupes, qui lui permet de se nourrir de proies jusqu'à dix fois plus grosses que lui. En hiver, dans les déserts arctiques, c'est la solution de survie quand les baies et les petites proies ont disparu. La meute est constituée d'une dizaine d'individus strictement hiérarchisés, chaque sexe étant inféodé au membre de même sexe du couple reproducteur. Il n'y a qu'un couple reproducteur par meute – fidèle d'une année à l'autre – et tous nourrissent ses jeunes. Marquages olfactifs et hurlements se combinent pour exploiter de façon optimale l'espace et ses ressources naturelles, dont l'abondance régule les populations de proies et de prédateurs, comme il est de règle dans la nature.

Ces dernières années, il a été montré que la présence de ce superprédateur, loin de nuire aux échelons inférieurs de la pyramide alimentaire et donc à la biodiversité,

L'AUTEUR



Pierre JOUVENTIN, écoéthologue et directeur de recherche émérite du CNRS, a dirigé pendant près de 15 ans le Laboratoire CNRS d'écologie de Chizé, dans le département des Deux-Sèvres.

BIBLIOGRAPHIE

P. Jouventin, *Kamala, une louve dans ma famille*, Flammarion, 2012. et <http://kamala-louve.fr/>

M. Germonpré et al., *Fossil dogs and wolves from Palaeolithic sites in Belgium, the Ukraine and Russia: osteometry, ancient DNA and stable isotopes*, *Journal of Archaeological Science*, vol. 36, pp. 473-490, 2009.

J.-M. de Landry, *Le loup*, Delachaux & Niestlé, 2006.

E. Teroni et J. Cattet, *Le chien, un loup civilisé*, Les Éditions de l'Homme, 2004.

Claude-Marie Vadrot, *Le roman du loup*, Les Éditions du Rocher, 2009.

les favorise... L'exemple emblématique de cette réalité est celui du parc de Yellowstone, aux États-Unis, où l'éradication du loup a entraîné des famines et des épidémies chez les ongulés, dont il éliminait les individus malades. Il a fallu réintroduire le loup pour éviter le surpâturage et maintenir ses proies en bonne santé!

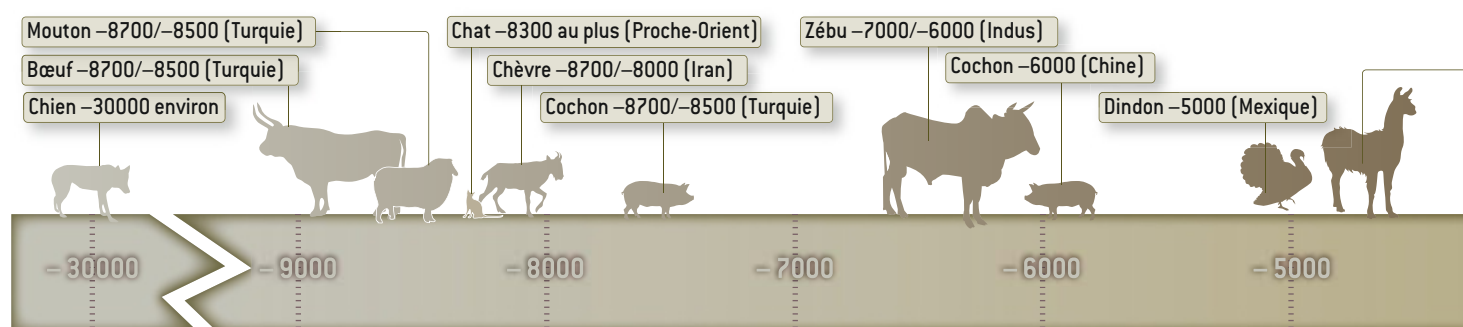
Le chien, difficile objet d'étude scientifique

Le chien paraît d'un abord plus facile que son cousin, mais, excepté dans les disciplines vétérinaires, son étude scientifique est elle aussi récente. Il tend à devenir un sujet à la mode, bien que ce fût longtemps l'inverse. Ainsi, le père de Charles Darwin se lamentait des goûts vulgaires de son rejeton : « Tu ne t'occupes que de chasse, de chiens et d'attraper des rats : tu seras le déshonneur de la famille ! » Aujourd'hui, ce fils, qui a découvert les lois de la sélection naturelle en observant les techniques de sélection des éleveurs, est une grande figure de la science et les connaissances avancent très vite sur le chien... ou plutôt les chiens, tant ils sont divers.

Si les scientifiques ont mis tant de temps à s'intéresser au chien, c'est parce que cet animal commun est bien plus difficile à étudier qu'un animal sauvage : le mode de vie de ce dernier dans la nature explique ses particularités, qui sont le plus souvent des adaptations au milieu. Aussi n'est-il guère étonnant que Raymond et Lorna Coppinger, un couple de spécialistes américains du chien, continuent pour expliquer l'origine du chien à défendre l'hypothèse de l'hybridation entre espèces, fortuite dans la nature ou volontaire en captivité.

Quelques gènes de différents canidés ont certes été trouvés dans le génome de certaines races de chien, mais l'affaire semble

2. LA DOMESTICATION DU LOUP précède celle des autres animaux d'au moins 20 000 ans.



close: les données actuelles rendent difficile la réhabilitation de l'ancienne hypothèse. La distance génétique entre le chien et le loup est de seulement 0,2 pour cent, alors qu'entre ce dernier et le plus proche canidé (le coyote), elle est de quatre pour cent. Presque 400 races de chiens ont été sélectionnées par l'homme, la plupart depuis seulement deux siècles, et les distances génétiques entre chiens peuvent être plus grandes qu'entre loup et chien en moyenne. D'ailleurs, certaines races, tels les chiens de traîneaux et le chien africain basenji, présentent des caractères intermédiaires entre loups et chiens de races modernes: par exemple, ils n'aboient pas, mais hurlent. Les apparences sont trompeuses et le pékinois (un tout petit chien de compagnie originaire de Chine) est plus proche de son ancêtre que le berger allemand ou chien-loup!

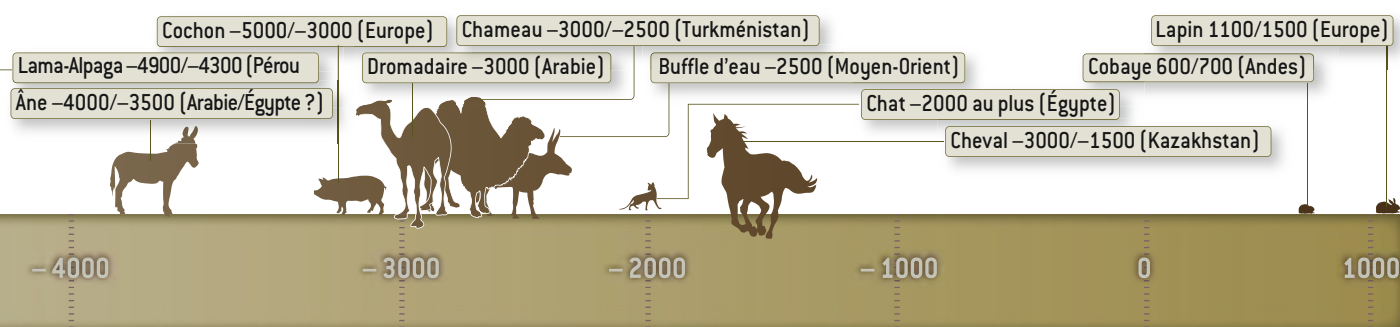
La domestication la plus ancienne

Ainsi, nos connaissances sur le loup et le chien ont récemment progressé de façon significative: nous sommes enfin certains que le chien n'est qu'un loup domestiqué, mais le statut respectif des deux cousins reste incertain. Il reste par ailleurs à expliquer comment l'homme a pu transformer un fauve en toutou. À ce propos, la première question consiste à se demander combien de temps a duré la domestication du loup. Or, et sans doute est-ce l'une des découvertes les plus significatives de l'année (passée quasi inaperçue), on vient de prouver que la domestication du loup s'est faite au Paléolithique, il y a plus de 30 000 ans.

On considérerait en effet depuis des décennies que le chien avait été domestiqué il y a quelque 9 000 ans, ce qui suffisait à en faire la première espèce domestique.



3. CANIS LUPUS (LE LOUP) ET CANIS LUPUS FAMILIARIS (LE CHIEN) sont souvent considérés comme deux versions de la même espèce, l'une sauvage et l'autre domestique. Cela semble à peine croyable, tant les chiens sont de formes variables, les plus grandes pouvant être plus de 200 fois plus lourdes que les plus petites. Tandis que *Canis lupus* (en haut) est un animal social vivant et chassant en meute, *Canis lupus familiaris* est un animal domestique dépendant de l'homme pour sa survie.



Date (en années de notre ère)

Cela paraissait définitif jusqu'à ce que François Valla, de l'Université de Nanterre, et des collègues israéliens découvrent des sépultures préneolithiques vieilles de 12 000 ans contenant des restes de chien (voir la figure 4). L'importance majeure de ce témoignage d'une vieille amitié a été amplifiée en 2011 par la découverte dans la grotte de Razboinichya, dans l'Altai (Sud de la Sibérie), d'un crâne de canidé. Son identification à l'issue d'analyses poussées sous la direction de Greg Hodgins, du Laboratoire de spectrométrie de masse de l'Université de l'Arizona, a montré qu'il s'agissait du crâne d'un chien domestique vieux de 33 000 ans. L'ancienneté de la domestication se trouvait ainsi presque triplée. En 2008, la paléontologue Mietje Germonpré, de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, et des collègues ont découvert dans les grottes de Goyet, en Belgique, des dents de loup percées pour être portées en collier, ainsi qu'un crâne plus large que celui d'un loup, vieux de 31 700 ans et proche de celui d'un chien husky... La même équipe a trouvé ensuite en République tchèque des crânes vieux de 26 000 ans avec, cette fois, un museau encore plus court et une boîte crânienne et un palais plus larges que ceux d'un loup. Entre les mâchoires de l'un de ces chiens avait été placé un os de mammoth, gibier emblématique de l'époque. Or ce genre de rite est encore pratiqué au sein de certaines peuplades sibériennes lorsqu'un homme est mort et qu'on l'envoie dans l'au-delà accompagné de son chien.

Entre chien et loup

Ce gigantesque saut dans le temps renouvelé ainsi l'histoire de la domestication, et par là celle de l'homme, puisque le chien serait notre compagnon depuis plus de 20 millénaires avant l'agriculture et l'élevage. L'histoire ne s'arrête peut-être pas là, car le séquençage de l'ADN permet de chiffrer non seulement les parentés, mais aussi l'ancienneté de la divergence entre deux branches d'un arbre généalogique. Par cette méthode génétique tout à fait indépendante des fouilles préhistoriques et des datations au carbone 14, on évalue la domestication du chien à quelque 100 000 ans...

Certains ont voulu placer en Chine le berceau du chien, mais des résultats récents remettent en question cette origine géographique unique. Quoi qu'il



4. LA SÉPULTURE D'AIN MALLAHA, dans la vallée du Jourdain au Nord du lac de Tibériade, est l'une des deux sépultures de Natoufiens suggérant l'existence d'une relation étroite entre humains et canidés. La culture de ces chasseurs-cueilleurs paléolithiques du Levant, qui ont expérimenté les premières sédentarisation, est attestée entre 10 800 et 8 200 avant notre ère. Découverte par François Valla, de l'Université de Nanterre, et des collègues israéliens, cette femme et un chiot (*près du crâne*) ont, d'après leur datation au radiocarbone, été enterrés ensemble il y a quelque 12 000 ans. Cela semble prouver l'existence d'une relation affective entre une femme et son chien, mais les archéologues n'excluent pas que le canidé ait été tué pour réaliser dans la sépulture un tableau à signification religieuse.

en soit, la domestication du loup et la création du chien par l'homme sont bien plus anciennes qu'on le croyait et fort antérieures au Néolithique, qu'elles ont précédé d'au moins 20 000 ans.

Le statut scientifique du chien et du loup semble clair, puisque les systématiciens attribuent généralement à chacun un nom d'espèce : *Canis domesticus* et *Canis lupus* respectivement. Pourtant, s'appuyant sur la faible distance génétique entre les deux animaux, la Société américaine de mammalogie considère le chien comme une sous-espèce du loup et le nomme *Canis lupus familiaris* (voir la figure 3). Cette interprétation est discutable, puisqu'il existe une trentaine de sous-espèces de loups, chacune dans sa zone géographique comme il est de règle à ce niveau taxinomique, mais la différence entre chien et loup n'est pas fondée sur la géographie... Certains spécialistes considèrent ainsi que le chien n'est que la forme domestique du loup et qu'il doit être rangé sous le même nom d'espèce, ce qui est tout à fait défendable, mais peu pratique pour faire la différence.

Ce débat académique amène à réfléchir sur le concept d'espèce qui, outre la ressemblance entre individus, a longtemps reposé sur le critère d'interfécondité. La situation était simple quand on croyait qu'il suffisait que le descendant soit stérile comme le bardot pour décider que ses parents, le cheval et l'ânesse, appartiennent à deux espèces différentes. On sait aujourd'hui que la réalité est plus complexe, que bien des espèces produisent des hybrides viables en captivité, mais ne se mélangent pas dans la nature et constituent de « bonnes » espèces. Or le chien et le loup sont interféconds ainsi que leurs descendants. En outre, les espèces du genre *Canis* séparées dans la nature, tels le loup, le chacal et le coyote, possèdent toutes 39 chromosomes et se croisent sans difficulté, avec une descendance fertile. D'un autre côté, bien des races de chiens, de tailles trop différentes, ne peuvent se croiser...

La définition biologique de l'espèce implique que des populations interfécondes soient isolées, par le comportement ou la génétique, des autres taxons (l'ensemble des organismes vivants partageant certains caractères) présents dans ce même lieu, tous constituant ainsi des espèces à part entière. Sa différenciation ne s'étant pas faite dans la nature, mais par l'action de l'homme et sans créer de barrière de

reproduction avec son ancêtre le loup, le chien a donc le statut qu'on veut bien lui donner. Bref, le meilleur ami de l'homme ne constitue peut-être pas une espèce au sens strict, comme tout animal domestique dont le statut n'est qu'affaire de convention.

Un processus mêlant sélection et adoption ?

Le chien est néanmoins très différent du loup, en ceci qu'il cohabite avec l'homme sans conflit. La domestication du loup n'a pas été seulement une sélection artificielle, mais aussi une éducation pour lui apprendre à vivre avec nous. Sans l'avoir recherché, j'ai été amené à élever un loup dans un appartement, ce qui est considéré comme impossible par les spécialistes. Mes connaissances en comportement animal ont sans doute joué un rôle essentiel pour rendre cela possible, mais bien moins que la compréhension intime de cet animal

redoutable que ma famille a acquise par l'expérience (voir l'encadré ci-dessous). C'est cela qui nous a permis de dominer psychologiquement notre loup sans entrer en conflit ouvert avec lui. Les gènes de cet animal, né en zoo et qui devait être euthanasié, étaient pourtant les mêmes que ceux d'un loup sauvage de Pologne.

Nos ancêtres ont nécessairement sélectionné le loup comme les zootechniciens le font toujours pour les animaux domestiques : en repérant les individus dotés des caractères souhaités, puis en favorisant leur reproduction (plus empiriquement sans doute, et sur de plus longues périodes de temps). Sans doute ont-ils éliminé les individus les plus agressifs et fait se reproduire ceux qui étaient les plus doux ; il en a été de même au début de la grande époque de la domestication, vers 8500 ans avant notre ère, quand nous sommes passés du sanglier au porc, du mouflon au mouton et de l'auroch à la vache.

Cette hypothèse a été testée à partir de 1957 par le généticien russe Dimitri Beliaev (1917-1985). Il a sélectionné 150 renards blancs sibériens en fonction de leur capacité à se familiariser avec l'homme. En trois générations, il a obtenu des renards nettement plus dociles et, en huit générations, des animaux qui recherchaient le contact avec les soigneurs. À la cinquième génération, les renards étaient aussi soumis que des chiens, mais moins coopératifs et moins attachés à leur soigneur, ce qui était pourtant l'issue visée par Beliaev. L'expérience, qui a demandé le sacrifice de 5000 renards, se poursuit encore, mais cet échec à obéir aux ordres n'est pas surprenant, puisque la base génétique n'est pas la même que celle du chien : le renard, qui vit seul ou en couple, est en effet moins sociable dans la nature que le loup, lequel vit en meutes permanentes strictement hiérarchisées. La sélection de renards de plus en plus agressifs s'est aussi révélée

KAMALA, LOUVE ALTRUISTE

Kamala est le nom de la louve grise avec qui la famille de l'auteur a formé une meute dans les années 1970—une expérience aussi passionnante pour un écologue que dangereuse pour sa famille, car un loup, même apprivoisé, reste un fauve ne vivant pas volontiers en appartement... Voici deux anecdotes tirées de cette expérience hors normes.

« Pour son dressage, nous sommes contents d'apprendre à Kamala à s'asseoir à la demande, à donner une patte, puis l'autre et à

se coucher. C'était très utile quand elle désirait quelque chose car, au lieu de s'agiter sans que l'on comprenne et de nous griffer le ventre ou la main, elle s'asseyait en face de nous et nous tendait la patte. Comme un chimpanzé auquel on a appris le langage par gestes des sourds-muets ou tout simplement un chien, elle n'a pas mis longtemps à généraliser l'usage de ce signal artificiel, de ce code nouveau de communication entre l'animal et nous. Elles'asseyait donc devant les portes

close pour demander qu'on les lui ouvre et devant le lavabo pour qu'on lui donne à boire. (...) C'était le début de l'exploitation de l'homme non par l'homme, mais par le loup ! »

« Un jour d'été, nous sommes allés nous baigner dans l'Hérault près de Ganges et l'explication [du comportement étrange de Kamala] nous est apparue dans toute son évidence incroyable, éclairant d'un nouveau jour les faits précédents. Lorsque nous étions au milieu du courant, elle se jetait à l'eau et nous ramenait à la

rive après nous avoir saisi le poignet. N'encroyant pas nos yeux, nous avons recommencé dix fois ce manège et chaque fois Kamala venait à notre secours. Vers la fin, Kamala n'appréciait plus du tout ces sauvetages à répétition qui nous émerveillaient. Aussitôt qu'elle s'était secouée, il lui fallait replonger. Elle grognait après nous une fois sur la rive, sains et saufs, mais, poussée par son instinct de solidarité, elle ne pouvait s'empêcher de se rejeter à l'eau dès que nous repartions nous placer au milieu de la rivière. »



© Pierre Jouventin

possible : les renardeaux produits par cette sélection restaient très farouches même s'ils avaient une mère amicale avec l'homme, ce qui montre que leur attitude résultait plus de leur sélection que de leur éducation, davantage de l'inné que de l'acquis.

Le patrimoine génétique du loup devenu chien a donc été modifié de génération en génération. Même si ce changement ne touche qu'une toute petite partie de l'ensemble des gènes, il nous paraît très grand, car les caractères qui nous importent le plus ont été supprimés ou amplifiés. Par exemple, l'homme a développé chez le chien adulte le comportement soumis que l'on observe chez le loup juvénile.

D'ailleurs, à le comparer à son ancêtre, on peut décrire le chien comme un éternel adolescent, ce qui permet à son maître de s'imposer comme le substitut incontesté du chef de meute. Ce trait majeur d'éternel adolescent pour la domestication est cependant très variable d'une race de chien à l'autre.

Il est difficile d'une manière générale de parler « du » chien, tant ses races sont différentes. Certaines – pour ne s'en tenir qu'au poids – sont jusqu'à 200 fois plus massives que d'autres. Certaines lignées sont connues pour leur dangerosité et d'autres pour leur docilité, l'éducation

modulant comme toujours ce trait héréditaire. Même s'il est possible d'éduquer un chien de combat pour qu'il n'attaque pas l'homme, il est plus facile de lui apprendre à se battre qu'à un chien d'une race qui n'a pas été sélectionnée dans ce but.

Contrairement à ce que l'on a longtemps défendu et que l'on croit encore sous une autre forme, il n'y a pas d'un côté les caractères innés et de l'autre les caractères acquis, d'un côté les animaux de pur instinct et de l'autre, nous, de pure intelligence. Il est clair aujourd'hui que, dans chaque espèce, il existe une part variable et inextricable de « nature » et de « culture » : les insectes

Le fait d'être parvenu à cohabiter et même à vivre en famille avec un fauve dangereux démontre la facilité avec laquelle nos ancêtres ont pu domestiquer le loup.

sont en grande partie programmés alors que l'homme est un être surtout culturel, tandis que le loup se situe entre les deux.

Toutefois, le loup est bien plus proche de nous que bien d'autres mammifères du fait de son immaturité de plusieurs années. Cette dernière permet en effet une éducation aux méthodes complexes

de chasse, lesquelles varient d'une meute à l'autre en fonction du gibier présent sur le territoire. Cet enseignement peut se transmettre en un même lieu pendant plusieurs dizaines d'années, donc sans que les loups de la première génération soient présents auprès de ceux de la dernière : il s'agit donc véritablement d'une sorte d'héritage culturel. Cela illustre la grande idée de Darwin selon laquelle il n'y a pas une différence de nature, mais de degré, entre l'homme et les autres espèces. On préfère pourtant parfois parler de « protoculture » et réserver le mot de « culture » à l'espèce humaine.

Si la domestication du loup ne peut qu'avoir résulté d'un processus de sélection, on ignore comment elle a débuté et s'est déroulée. Des individus affaiblis cherchant à survivre ou tout simplement curieux ont-ils appris à fréquenter des campements d'hommes préhistoriques pour profiter de leurs restes ? C'est l'hypothèse de la commensalité, qui trouve des arguments dans les pays où des chiens errants vivent de rapines et côtoient les humains sans vivre pour cela dans les maisons. En Italie, les loups sauvages fréquentent les décharges et le portrait de l'un d'entre eux, la gueule dégoulinante de spaghettis, a circulé sur Internet !

L'autre théorie est celle de l'adoption. Notre aventure d'élevage d'un loup dans un appartement ne fut pas seulement une expérience extrême. Le fait d'être parvenus à cohabiter et même à vivre en famille avec un fauve dangereux démontre la facilité avec laquelle nos ancêtres ont pu domestiquer le loup, puisqu'en plein air, ils disposaient de conditions plus favorables que dans un appartement moderne au deuxième étage... Cette expérience nous a montré qu'un loup intégré à une famille humaine la considère comme sa meute et en protège les membres (voir l'encadré page 47). Elle suggère que la capture de louveteaux a dû être réalisée plusieurs fois au cours de l'histoire de l'humanité (voir la figure 1), car leur intégration au sein de la horde humaine ne présente aucune difficulté : le loup ne connaissant pas son espèce, il s'assimile à ses compagnons de vie.

De fait, l'adoption d'animaux sauvages en bas âge au sein de peuples vivant au contact de la nature et même leur allaitement par des femmes ont été maintes



5. LES LOUVETEAUX sont le plus souvent gris-bruns et naissent aveugles au sein de portées de trois à sept petits. Allaités durant environ deux mois, ils ne sortent de la tanière qu'au bout de ce laps de temps, puis restent avec leurs parents environ un an, période où tous les membres de la meute les nourrissent, les soignent et les éduquent. Essentielle étant donné l'éducation complexe aux mœurs sociales de leur meute, notamment de chasse, l'immaturité de plusieurs années du loup ressemble à celle de l'homme, eux aussi membres d'une espèce éminemment sociale. Ce trait commun a beaucoup facilité l'adoption de louveteaux au sein de groupes humains, ce qui a conduit à la création par l'homme de quelque 400 races de chiens.

fois observés par les ethnologues (voir la figure 6). Il m'est souvent arrivé, lorsque j'observais les singes mandrills en forêt équatoriale, d'arriver dans des villages où des animaux sauvages étaient gardés à proximité des cases et nourris comme animaux de compagnie.

Ces deux théories sont souvent opposées. Cependant, elles ne sont pas contradictoires et les deux scénarios de domestication ont pu se produire simultanément ou se succéder. Ces hypothèses, si elles ne sont pas exclusives, me paraissent cependant hiérarchisées : d'après mon expérience involontaire, la théorie de l'adoption permet une bien plus grande intimité que celle de la commensalité. Or la domestication du chien n'a pas conduit à un compagnonnage, mais bien à une véritable vie commune, d'abord pour chasser ensemble (les chiens servant de pisteurs et de rabatteurs) et pour protéger le campement, puis, bien plus tard, pour garder les troupeaux.

Un rôle possible dans l'évolution de l'homme

Cette longue vie commune avec le loup devenu chien a peut-être joué un rôle majeur dans l'évolution de l'homme. En 1973, l'Américain George Schaller, qui, avant d'aller étudier les grands félins, fut le premier à observer les gorilles dans la nature (avant Dian Fossey), a émis l'idée que nos ancêtres et les carnivores hautement sociaux tels que le loup ont occupé ensemble la même niche écologique de chasseurs en bandes coordonnées. Si *Homo sapiens* a changé de mode de vie depuis l'invention de l'agriculture et de l'élevage, il y a environ 10 000 ans, il a auparavant pratiqué un mode de vie de chasseurs-cueilleurs pendant 95 pour cent des quelque 200 000 ans écoulés depuis son apparition. Génétiquement, le chimpanzé commun et le bonobo sont sans conteste nos plus proches parents. Mais le loup serait l'animal le plus proche de l'homme tant sur le plan écologique que social.

On sait grâce aux Boschimans du Kalahari qu'un chasseur-cueilleur ramène trois fois plus de gibier s'il est accompagné de son chien. Si nos ancêtres possédaient des armes, un gros cerveau capable d'élaborer des stratégies de chasse et une communication efficace, ils n'étaient pas aussi aptes à la traque qu'un loup qui peut



6. FEMME PAPOUE ALLAITANT DES CHIOTS en Nouvelle-Guinée. L'auteur de la photographie, le journaliste Edmond Demaitre, en a fait don au Musée de l'homme dans les années 1930 en l'accompagnant de la légende : « Selon les sorciers, les animaux (chiens et porcs) nourris de cette façon ne quittent plus le village. Tabouri : côte méridionale. » Cet exemple ethnographique suggère comment, sans doute, les chasseurs préhistoriques ont lié des louveteaux à leur horde.



7. LE LOUP A AUSSI PRODUIT LE DINGO, un chien sauvage d'Australie (*Canis lupus dingo*) provenant d'une population de chiens domestiques aborigènes marrons, c'est-à-dire retournés à l'état sauvage. Ainsi, le loup a produit à partir du chien un autre canidé sauvage que lui-même.

courir jusqu'à 50 kilomètres par heure et tenir longtemps ce rythme. Seule espèce de primate chassant régulièrement, les humains, cependant, ne voient guère dans la pénombre et ont une olfaction très limitée en comparaison des canidés. En socialisant le loup au sein de leur horde, les chasseurs-cueilleurs ont bénéficié de ces capacités et surpassé ainsi leurs concurrents. Du reste, ces derniers étaient peut-être des Néandertaliens, qui, d'après les données actuelles, n'ont jamais domestiqué le loup.

L'association entre hommes et loups apprivoisés a ainsi pu constituer un avantage adaptatif majeur pour les premiers. Ce point est à prendre en compte dans le débat récurrent sur les raisons de la disparition des Néandertaliens après l'arrivée en Eurasie des hommes anatomiquement modernes, il y a 35 000 à 30 000 ans, c'est-à-dire à l'époque des premiers indices connus de l'existence de chiens...

Dans le contexte de la séparation des tâches entre les sexes, caractéristique de notre espèce de... « chasseurs-cueilleuses », il est possible qu'une efficacité nettement accrue à la chasse ait pu contribuer à la prééminence démographique de *Homo sapiens* par rapport à *Homo neandertalensis*, prééminence établie il y a 30 000 ans, quand le chien nous accompagnait déjà depuis longtemps sans doute...

Ainsi, nous savons depuis peu que le loup, transformé en chien, est présent à nos côtés depuis quelques dizaines de milliers d'années d'évolution, époque-charnière de la mise en place de la civilisation. La prédation accrue rendue possible par cet animal a sans doute favorisé la démographie humaine ; mais avec la forte augmentation des prélèvements dans la nature, elle a aussi probablement poussé certains de nos ancêtres à se sédentariser en domestiquant non seulement des plantes qu'ils cueillaient, mais aussi des proies (vache, mouton, chèvre, cochon...).

La longue coévolution de l'homme et du loup avait auparavant modifié le plus vieil ami de l'homme dans le sens de lui faire accepter les ordres et les gestes de son maître (substitut du loup dominant), et par là d'augmenter sa capacité à communiquer avec nous. Au cours de ce processus, le plus vieil ami de l'homme a reçu une nouvelle mission, qu'il assure toujours aujourd'hui : surveiller les troupeaux et les rassembler pour les protéger des loups. ■



1. CETTE CASE OBUS bâtie par les Musgum, ethnie du Nord du Cameroun, est faite de terre, un remarquable matériau de construction qui traverse les siècles.

Le centre de Lyon est en partie bâti en terre ; plus d'un million d'habitations le sont en France, comme des centaines de millions dans le monde. La terre crue a toujours été l'un des tout premiers matériaux de construction de l'humanité. Elle le reste pour près de deux milliards d'êtres humains sur tous les continents, et elle ne sert pas qu'à construire de rudimentaires abris individuels : un bâtiment sur cinq du patrimoine de l'humanité inscrit à l'UNESCO est construit en terre.

Comment un matériau qui devient poussière s'il est trop sec, qui devient boue s'il est trop humide, peut-il servir à construire des édifices qui, comme les immeubles yéménites, dépassent dix étages, et qui, comme les murs d'enceinte de l'Alhambra ou de certaines portions de la Grande Muraille de Chine, traversent les siècles et les millénaires ? La réponse est à l'image du matériau lui-même : multiple.

tion partielle des minéraux initiaux et la formation de minéraux secondaires. La roche initiale se transforme ainsi petit à petit en une structure stratifiée faite de la superposition de différents « horizons ».

Brune, verte, grise, ocre, rouge ou blanche, la terre de chaque horizon révèle par sa couleur les grands traits de sa composition, tout particulièrement sa richesse en matières organiques et en oxydes de fer plus ou moins réduits. Grossière ou fine, la granulométrie – qui va des fractions les plus grossières, les cailloux (plus de deux centimètres), aux plus fines, les argiles (moins de deux micromètres), en passant par le gravier, le sable et le limon – révèle aussi son degré de transformation. Les fractions les plus grossières ne sont généralement que des fragments de roche-mère, tandis que les fractions les plus fines, les argiles, sont toujours des minéraux de transformation ayant incorporé à leur structure cristalline

La terre, un béton d'argile

Henri Van Damme

Pourquoi la terre constitue-t-elle un matériau de construction si universel et si robuste ? L'explication réside dans les forces capillaires qui font tenir les châteaux de sable et les forces électrostatiques s'exerçant au sein de l'argile.

À mi-chemin, sur le plan constructif, entre les châteaux de sable et les gratte-ciel, l'architecture de terre l'est aussi sur le plan scientifique. On sait désormais que la terre doit sa cohésion à des forces attractives qui relèvent soit de la physique des tas de sable, soit de celle du ciment. Nous verrons qu'elles sont tantôt capillaires, tantôt électrostatiques, mais requièrent dans tous les cas la présence d'argile et d'eau.

La terre est la matière du sol. Immobilisée ou au contraire mobilisable par les vents et les flots, cette précieuse couche résulte de l'altération des roches sous l'action des éléments et de la vie. Ce processus peut se limiter à une simple fragmentation de la roche-mère (arénisation), sans modification de la nature des minéraux, ou prendre la forme d'une transformation chimique impliquant, au sein d'un flux allant de la surface vers les profondeurs, la dissolu-

tion partielle des molécules d'eau : des groupes hydroxyles, OH^- .

Or ces argiles jouent un rôle capital. Sans elles, la terre ne serait pas adaptée à la construction. Ce sont elles qui, en enrobant totalement ou partiellement les autres grains, assurent leur liaison. Mais les proportions d'argiles, comme celles des autres populations de grains, varient fortement d'une terre à l'autre. Les populations humaines ont adapté la technique de construction – torchis, bauge, pisé, etc. – à la nature de la terre locale, sans jamais utiliser la couche la plus superficielle riche en matières organiques, bien trop utile à l'agriculture pour la consacrer à d'autres usages. C'est donc un peu plus en profondeur que le bâtisseur va chercher sa matière première. Le pisé (terre crue à coffrer), terre apte à être damée, contient une proportion importante de cailloux et de graviers. Les terres moins grossières, plus limoneuses,

L'ESSENTIEL

- La terre reste l'un des matériaux les plus utilisés pour construire des habitations.
- Les effets de capillarité, conjugués à la présence d'argile, lui confèrent une stabilité et une solidité considérables.
- Certaines argiles, électriquement chargées, jouent un rôle en tous points comparable à celui du ciment dans le béton.

© Anthony Asell/Art in All of Us/Corbis