

cellules existent sous trois formes, sensibles à des longueurs d'onde voisines correspondant aux couleurs rouge, verte et bleue. Les cônes ne sont plus activés lorsque la luminosité est trop faible. D'autres cellules visuelles, les bâtonnets, sensibles à toute la lumière visible prennent alors la relève, mais elles ne permettent plus de distinguer les couleurs. La nuit tous les chats sont vraiment gris.

L'ÉVALUATION DE LA PUISSANCE

Lorsque la luminosité devient trop faible, l'analyse spectrale est inefficace : le fonctionnement de l'œil est une solution pour pallier cette insuffisance. Pour déterminer la température d'un corps, une meilleure stratégie consiste alors à évaluer la puissance du rayonnement émis, puis d'appliquer la loi de Stefan. Dans la plupart des situations – quand le corps n'est pas très chaud –, le pic d'émission se trouve dans le domaine infrarouge, domaine où l'on réalise la mesure pour obtenir une bonne sensibilité. Connaissant la géométrie et la nature du matériau émetteur, on détermine alors la température de façon précise. On peut aussi réaliser une thermographie, c'est-à-dire une carte de la répartition des températures dans l'espace (voir l'illustration en haut de la page 108). Les images des caméras thermiques sensibles au rayonnement infrarouge utilisées dans l'industrie sont de telles cartes. Ces caméras servent, par exemple, à la détection des pannes : un faux contact ou un court-circuit dans une installation électrique provoquent un échauffement anormal qu'une telle caméra met immédiatement en évidence ; elles servent aussi à repérer les composants défectueux sur les cartes électroniques, à optimiser le refroidissement des circuits intégrés.

Certains animaux aussi pratiquent la thermographie. C'est notamment le cas des crotales. Grâce à des capteurs logés

dans les fossettes loréales, entre les narines et les yeux, ces serpents repèrent leurs proies dans l'obscurité. La nuit, les petits animaux à sang chaud émettent plus de rayonnement thermique que le sol, car leur température est supérieure. Creuses, les fossettes loréales des crotales sont tapissées de nerfs sensibles au réchauffement provoqué par l'absorption de rayonnement infrarouge. Leur maximum de sensibilité se situe à une longueur d'onde égale à 10 micromètres, laquelle correspond au pic d'émission de proies dont la température corporelle est d'environ 30 °C. Ces récepteurs thermiques sont comparables à une chambre noire rudimentaire : le rayonnement infrarouge y pénètre par un petit trou pour former sur le fond de la cavité une image inversée de l'objet observé. L'image ainsi obtenue est trop floue pour permettre au serpent d'identifier la nature du corps chaud qu'il a repéré, mais suffit pour le viser. Avant de déclencher son attaque, il s'assure, grâce à son odorat, que la proie qu'il a dans son «viseur infrarouge» est vraiment intéressante.

Les animaux à sang froid sont les seuls à pouvoir déterminer sans difficultés la température en mesurant la puissance thermique. En effet, la thermométrie par échauffement, ou bolométrie, est limitée par deux facteurs : le rayonnement thermique émis par l'environnement proche du détecteur et la faible puissance émise par un corps chaud. Quand le rayonnement parasite est trop important, la source observée est noyée dans un bruit de fond. C'est pourquoi, les astronomes refroidissent leurs détecteurs à infrarouges avec de l'azote liquide, afin de réduire le rayonnement thermique propre à l'appareil, et ainsi améliorer la sensibilité de ses mesures. Les serpents n'ont pas ce problème : leur température étant inférieure à celle de leur proie, leur propre rayonnement ne crée pas de bruit de fond parasite.

La deuxième limitation tient à la faible intensité des puissances thermiques à mesurer. Puisqu'ils transforment le rayonnement reçu en chaleur, les bolomètres et autres systèmes sensibles aux infrarouges doivent être bien isolés, sinon la chaleur due à un faible rayonnement infrarouge est évacuée avant que la mesure n'ait été faite. Une fois encore, la nature a trouvé une solution à ce problème, notamment dans le cas de la *Melanophila acuminata*. Ce coléoptère d'en-



Les crotales ont des «viseurs infrarouges» : le rayonnement infrarouge émis par la proie forme une «image thermique» détectée par des récepteurs sensibles à ces signaux.

viron un centimètre de longueur repère un incendie à 20 kilomètres ! Cette spectaculaire acuité est vitale pour son espèce, puisque *Melanophila acuminata* ne s'accouple que près des feux de forêt. Ses œufs doivent être pondus dans du bois récemment brûlé, car ses larves sont incapables de survivre dans le bois vivant. *Melanophila acuminata* détecte les longueurs d'onde comprises entre 2,4 à 4 micromètres avec un maximum de sensibilité pour une longueur d'onde correspondant à la température de 880 °C, celle d'un feu de forêt.

Quelques millièmes de watt par centimètre carré pendant quelques millièmes de seconde suffisent à ses récepteurs. Une telle sensibilité est possible grâce à la dilatation : ses organes récepteurs sensibles à la chaleur sont en forme de cratère. Le fond est tapissé d'une centaine de structures en forme de dômes et l'intérieur est rempli d'un réseau très dense de filaments de cire reliant les dômes. Cette géométrie, qui ressemble à celle de la laine de verre, favorise une bonne isolation thermique des dômes qui sont chauffés par l'absorption du rayonnement infrarouge incident. Quand ils s'échauffent, leur dilatation déforme les dômes, ce qui active des cellules nerveuses sensibles à d'infimes déplacements (0,1 nanomètre seulement) !

Les situations où un être vivant ou une machine utilise la thermographie ou l'analyse spectrale sont variées. La vue, c'est la vie, et la vue, c'est la température !

Roland LEHOUCQ est astrophysicien au service d'astrophysique du CEA. **Jean-Michel COURTY** est physicien, chargé de recherche au CNRS.

G. BRUHAT, *Thermodynamique*, Masson, Paris, 1962.

H. SCHMITZ, H. BLECKMANN, *The photo-mechanic infrared receptor for the detection of forest fires in the beetle Melanophila acuminata*, in *J. Comp. Physiol.* vol. A 182, pp. 647-657, 1998.



Pour *Melanophila acuminata*, le temps des amours est arrivé : ce «couple» vient de détecter qu'au loin un incendie prépare le bois brûlé où la femelle déposera ses œufs.

Préhistoire

Le sentier de la guerre. Visages de la violence préhistorique

Jean Guilaine et Jean Zammit.
Le Seuil, 2001 (372 pages,
148 francs).

Comme l'indique son titre, cet ouvrage est consacré aux origines de la guerre, ainsi qu'aux autres formes de violence. Ces deux thèmes sont entremêlés au fil des pages, au cours desquelles les auteurs présentent les vestiges archéologiques et discutent de leur interprétation, depuis les débuts de la préhistoire jusqu'à l'âge du fer.

Les données recueillies lors des fouilles archéologiques montrent une certaine évolution, c'est-à-dire que la montée en puissance de la guerre a été progressive et semble aller de pair avec l'augmentation de la densité de la population, la sédentarisation, la complexification sociale et l'accumulation des richesses. Les traces de blessures violentes sur l'homme ne sont pas absentes au Paléolithique, mais elles sont rares et seraient issues de conflits individuels.

Les premiers conflits collectifs avérés datent de 12 000 ans : ce sont des raz-

zias guerrières où hommes, femmes et enfants sont tués indifféremment, et non des affrontements entre groupes d'hommes. Au Néolithique ancien, des populations ont été systématiquement massacrées, comme à Talheim, en Allemagne, où 18 adultes et 16 enfants ont été tués à coups de hache (5 000 ans avant notre ère). Puis la guerre se structure, comme l'attestent les scènes de combats d'archers représentées dans les sierras du Levant espagnol et datées de la fin du Néolithique. Le nombre croissant d'individus blessés ou tués par flèches indique que des affrontements sont de plus en plus intenses entre -6 000 et -2 000. Une véritable idéologie du guerrier émerge en Occident au cours des III^e et II^e millénaires avant notre ère, avec ses attributs – arc et flèches, poignard et hache. À partir du III^e millénaire, naît l'image du combattant idéal, du héros – épée sur le côté, et bientôt équipé de la lance, du casque, du bouclier et des jambières. Autant dire que, dès la fin de l'âge du bronze (vers -1200), l'archétype du guerrier occidental antique et médiéval est déjà en place.

Curieusement, on note une contradiction dans l'ouvrage, qui laisse penser que chacun des deux auteurs a développé sa réflexion sans consulter l'autre. Ainsi, d'un côté, l'introduction de l'ouvrage dénonce l'idée reçue opposant «un homme paléolithique "naturel" et pacifique et un homme néolithique plus civilisé, "culturel", dénature et violent». Cependant, le troisième chapitre souligne à quel point les

recherches récentes ont «modifié la vision traditionnelle que l'on avait de ces premières sociétés paysannes» néolithiques que l'on croyait «calmes, solidaires, fraternelles» et semblent montrer que ce sont bien les hommes du Néolithique qui ont, les premiers, perpétré massacres et supplices épouvantables. Le cinquième chapitre montre aussi que la construction de la figure du guerrier ne provient pas d'envahisseurs étrangers, mais de la dynamique sociale des populations autochtones. Comment ne pas imaginer alors un homme néolithique plus civilisé et plus violent ?

Les autres types de violence examinés par les auteurs sont les sacrifices et les pratiques cannibales, qui ne sont d'ailleurs pas synonymes de guerre puisqu'ils peuvent se pratiquer entre membres d'un même groupe, dans le cadre de cérémonies funéraires. Le cannibalisme semble attesté au Paléolithique moyen et au Néolithique, mais le traitement des ossements (bris, écrasement...) n'implique pas nécessairement la consommation de viande ou de moelle. La pratique de sacrifices humains est tout aussi difficile à démontrer. Les sépultures multiples, c'est-à-dire dans lesquelles plusieurs défunts prennent place en même temps, et dont on connaît quelques cas dès le Paléolithique supérieur résultent-elles d'épidémies, de famines ou de sacrifices d'individus destinés à en accompagner un autre dans la mort ? Si de futures recherches confirmaient l'existence de sacrifices humains dès le Paléolithique, cela remettrait en cause l'idée que de telles pratiques n'interviennent que dans des sociétés fortement hiérarchisées, avec un système religieux pyramidal. On est confronté ici aux limites mêmes de l'archéologie : à l'examen d'un sujet occis, comment différencier un acte de vengeance individuel, un châtiment, une bataille et une exécution sacrificielle ? Les hommes des tourbières, datés de l'âge du fer (vers 350 avant notre ère) et connus dans le Nord de l'Europe, ont été bien conservés, car leurs corps étaient jetés dans des marécages. Ils présentent le plus souvent des traces de mort violente, parfaitement visibles. Parfois la corde qui a servi à la pendaison ou à l'étranglement est encore autour du cou. Étaient-ils des suppliciés ou des condamnés à mort par la justice ? L'archéologie témoigne des moyens dont la mort a été donnée, mais elle ne peut en restituer les motivations, et encore moins la valeur. Le sacrifice était valorisé dans certaines sociétés, et les individus se portaient volontaires pour accéder à cet honneur.

Outre la somme documentaire impressionnante, cet ouvrage tente d'expliquer l'émergence et le développement des formes de violence spécifiques à l'homme : la guerre, l'anthropophagie, le supplice et



Kazuhiko Sano

L'homme paléolithique aurait été pacifique, tandis que l'homme néolithique guerrier : méfions-nous de cette idée reçue.

le sacrifice. Paradoxe étonnant, puisque cette violence pouvait à tout moment défaire et étouffer le foisonnement culturel et social qui poussait à l'échange et à l'alliance.

Sophie A. de BEAUNE, Archéologie et Sciences de l'Antiquité, CNRS

Écologie

La flore et la faune

Sous la direction d'Isabelle Bourdial.
Éditions Larousse-Bordas, 2000
(144 pages, 139 francs).

Dans l'esprit et dans la présentation de la collection «Portail des sciences», ce volume consacré à la flore et la faune est un survol du monde vivant animé. Après les origines de la vie et l'apparition des molécules biologiques, l'arbre du vivant nous est présenté. Il commence avec les procaryotes, sans noyau (eubactéries et archaeobactéries) d'où naissent les eucariotes (cellules à noyau) qui, d'unicellulaires, deviendront pluricellulaires, développant alors une arborescence foisonnante qui intègre les végétaux et les animaux. Suivent une soixantaine de thèmes : les micro-organismes ; les algues et champignons ; les plantes ; les animaux invertébrés ; des poissons aux reptiles ; les oiseaux et mammifères...

Chacun de ces thèmes, présenté sur une double page bien illustrée, donne l'essentiel des connaissances actuelles avec des encadrés variés comme «Le saviez-vous?» ; «Chiffres» ; «Gros plan». Le thème «Les plantes cultivées, métamorphosées par les hommes» rappelle, notamment, que depuis plus de 10 000 ans l'espèce humaine a influé sur l'évolution de quelques végétaux. Partant d'un ancêtre sauvage à faible rendement, on exerce d'abord une sélection naturelle en choisissant les graines des meilleurs individus ; ensuite, on perfectionne en croisant des individus, et cette sélection génétique donne naissance à des espèces végétales modifiées. Cette technique, utilisée depuis des décennies, a donné de remarquables résultats dont témoignent les légumes, les fruits et les fleurs cultivés aujourd'hui. Elle a cependant l'inconvénient d'être lente, puisque l'on mélange le patrimoine génétique entier des deux partenaires et que l'on réalise plusieurs croisements.

C'est dans la droite ligne de cette orientation que, dans les années 1980, on apporta une amélioration décisive en transférant directement certains gènes étrangers dans les plantes à modifier. C'est de



Jacques d'Aguilar

Une empreinte, dans le calcaire lithographique de Bavière, nous montre *Isophlebia aspasia*. Cette libellule, bien après ses ancêtres géants qui volaient au Carbonifère, planait au Jurassique au-dessus des Dinosaures !

cette façon que l'on a, par exemple, amélioré une variété de maïs en y introduisant un gène insecticide qui lui permet de résister à des insectes ravageurs contre lesquels on luttait à grand renfort de produits chimiques polluants. Commence alors l'ère des OGM, organismes génétiquement modifiés. Dans le contexte catastrophe de la «maladie de la vache folle» due au prion de l'encéphalite spongiforme bovine, les OGM (sigle fourre-tout) furent montrés du doigt sous le prétexte du principe de précaution (qui, poussé à l'extrême, nous forcerait à rester au lit... et encore!). C'est cependant une technique qui, bien maîtrisée et réglementée, est une réelle avancée dans l'amélioration des plantes.

Progressant par étapes dans l'examen des espèces vivantes et de la diversité de la vie sur terre, on aboutit à l'être humain, qui constitue une seule espèce et la seule capable d'émettre un langage articulé. C'est l'opportunité d'évoquer la généalogie de l'homme avec l'*Ardipithecus* apparu il y a 4,5 millions d'années. La famille des Hominidés compte deux lignées ; celle des *Paninés*, avec les chimpanzés, et les gorilles et celle des *Homininés* avec les Australopithèques et les *Homo* (fossiles et modernes).

Le dernier thème, l'homme et l'évolution, nous montre l'impact croissant des activités humaines sur l'environnement et l'appauvrissement de la biodiversité. Un livre facile à lire pour tous sur un sujet fondamental.

Jacques d'AGUILAR

Histoire des sciences

Histoire de l'évolutionnisme contemporain en France 1945-1995

Cédric Grimoult. Librairie Droz, 2000
(616 pages, 432 francs).

On peut considérer la France comme le «berceau du transformisme» (théorie de la transformation des espèces biologiques), mais Cédric Grimoult a démontré dans un ouvrage précédent (*Évolutionnisme et fixisme en France : histoire d'un combat. 1800-1882*), comme dans le présent opus, que ce pays est aussi celui d'une résistance tenace et récurrente aux idées évolutionnistes.

Georges Louis Leclerc de Buffon (1707-1788) a en effet subi la censure de la Faculté de théologie de la Sorbonne pour avoir présenté un timide transformisme. Il mentionnait que certaines espèces «...ne sont plus les mêmes qu'elles étaient autrefois...». C'est toutefois Lamarck (1744-1829) qui, en 1800, a signé l'acte fondateur du transformisme, lors d'une célèbre leçon inau-