

La réglementation en France

Pendant longtemps, la cryptographie a été considérée comme une arme ; son usage était réglementé, aussi bien pour la fourniture et l'exportation que pour l'utilisation à titre personnel.

En février 1998, toutefois, l'État français a autorisé tout procédé nécessaire à l'authentification de données ou d'entités (intégrité, signature numérique et contrôle d'accès), ainsi que le chiffrement des communications, en limitant, dans ce dernier cas, la clé secrète à 40 bits. Une telle taille de clé ne garantissait pas un niveau de confidentialité suffisant pour des applications «sérieuses» : à raison d'un million d'essais par seconde, une station de travail trouve la clé en moins de 15 jours.

Comment accroître la sécurité ? En augmentant la taille de la clé et en déposant alors la clé secrète auprès d'un tiers de confiance. Ce dépôt permettait alors aux instances judiciaires d'obtenir, de ce tiers de confiance, la clé secrète nécessaire au déchiffrement de communications chiffrées, en cas de besoin justifié.

Le 19 janvier 1999, le premier ministre, Lionel Jospin, annonçait une proche libéralisation de l'usage de la cryptographie. Après avoir interrogé les acteurs, les experts et les partenaires internationaux, le gouvernement a retenu les orientations suivantes : libéraliser complètement la cryptographie ; supprimer le recours obligatoire aux tiers de confiance pour le dépôt des clés secrètes de chiffrement ; compléter le dispositif juridique afin d'obliger la remise aux autorités judiciaires de la

transcription en clair des documents chiffrés, lors de leur demande. De telles modifications législatives nécessiteront plusieurs mois.

Pour lever rapidement les principales entraves au développement du commerce électronique et pour assurer la confidentialité des communications, des décrets, parus le 19 mars 1999, relèvent le seuil de la cryptographie libre de toute autorisation de 40 bits à 128 bits. Plus précisément, ces décrets stipulent que «les matériels ou logiciels offrant un service de confidentialité mis en œuvre par un algorithme dont la clé est d'une longueur inférieure ou égale à 40 bits sont totalement libres» et que «les matériels ou logiciels offrant un service de confidentialité mis en œuvre par un algorithme dont la clé est d'une longueur supérieure 40 bits et inférieure ou égale 128 bits sont libres sans condition pour un usage privé, et soumis à déclaration dans les autres cas».

Ces décrets représentent l'étape essentielle, car des clés de 128 bits garantissent une sécurité plus que suffisante : une attaque par recherche exhaustive (essai de toutes les clés) nécessiterait plusieurs siècles, même avec tous les ordinateurs de la planète réunis. Une autre étape importante, sera «d'assurer, avec toutes les garanties nécessaires, la valeur probante du document sous forme numérique et des signatures électroniques. Les obstacles juridiques qui demeurent au développement des transactions dématérialisées seront ainsi levés».

David POINTCHEVAL, École normale supérieure, Paris

Ces systèmes ne satisferont personne, car ils sont faciles à détourner. Les espions et les criminels peuvent modifier les logiciels de chiffrement pour empêcher la recherche de la clé ou utiliser d'autres logiciels disponibles sur le réseau Internet. De surcroît, avec ces solutions, la recherche des clés serait très onéreuse et le coût du recouvrement des clés n'a pas été envisagé : qui paiera ? Enfin, la confiance dans le gouvernement risquerait de s'éroder, et la procédure serait très compliquée : imaginez qu'à chaque achat de gants vous soyez légalement tenus de coudre des copies en latex de vos empreintes digitales aux doigts de ces gants !

Les systèmes de recouvrement de clés seraient également dangereux. La procédure secrète utilisée par le FBI pour déchiffrer les messages pourrait être détournée au profit de criminels, d'intrus, d'espions ou même d'employés mécontents du FBI. En volant une super clé secrète, ces indéclicats pourraient déchiffrer toutes les communications. Des millions de secrets appartenant à des sociétés, à des personnes privées ou au gouvernement seraient brusquement vulnérables.

En 1993, le Congrès américain a réclamé une étude de ces problèmes. Après deux années de travail, la commission réunie pour l'occasion a estimé que la libéralisation de la cryptographie était plus avantageuse que son interdiction. Aucune loi ne devrait limiter la fabrication, la vente et l'utilisation des systèmes cryptographiques à l'intérieur des États-Unis.

Les membres de la commission ont également estimé que l'État ne pourrait pas faire respecter une interdiction de la cryptographie. Pourtant, le FBI et la NSA prônent tou-

jours la mise en place d'un service de recouvrement des clés ; ils s'opposent au relâchement des contrôles à l'exportation, tant que la possibilité de retrouver les clés secrètes n'est pas incorporée dans les logiciels exportés.

Entre-temps, la cryptographie s'est développée, les utilisateurs se sont familiarisés avec les programmes de cryptographie, et le contrôle deviendra inéluctablement difficile. Les entreprises adoptent des standards publics de cryptographie que même des lycéens peuvent convertir en programmes. De surcroît, il existe de nouvelles techniques qui ne chiffrent pas le message, mais permettent la confidentialité en le cachant dans un fouillis de données aléatoires. D'où la difficulté d'un contrôle !

Je maintiens que les citoyens doivent avoir le droit d'avoir des conversations privées. La démocratie repose sur la possibilité que possède chaque citoyen de partager librement ses façons de voir, sans crainte de surveillance ou de représailles. Ce principe doit être appliqué au «cyberespace», comme il l'est au monde réel. Si les États-Unis restreignaient le droit d'utiliser la cryptographie, ce serait un recul de la démocratie et une victoire de *Big Brother*.

Donald RIVEST est l'un des inventeurs de la méthode de chiffrement RSA. Il enseigne à l'Institut de technologie du Massachusetts.

Whitfield DIFFIE et Susan LANDAU, *Privacy on the Line : The Politics of Wiretapping and Encryption*, MIT Press, 1998.

Les galets, outils du Paléolithique

SOPHIE A. DE BEAUNE

Des galets non taillés révèlent l'invention de gestes techniques avant la fabrication d'outils spécialisés.

Les silex taillés sont parmi les vestiges les plus impressionnants et les plus abondants laissés par les hommes de la Préhistoire. Des images et des récits ont popularisé la vision de l'«homme des cavernes» taillant un silex ou le brandissant pour chasser. C'est aussi par la typologie de cet outillage de pierre taillée et de l'outillage en os façonné que les grands ensembles culturels ont été définis : l'Aurignacien, le Gravettien, le Solutréen, le Magdalénien...

Toutefois, nos ancêtres ne taillaient pas la pierre plus que nécessaire : pour la plupart des outils en roche non cassante utilisés pour leurs besoins domestiques et techniques courants, ils

ménageaient leur peine et choisissaient des blocs, des plaquettes ou des galets dont la forme naturelle était proche de celle qu'ils recherchaient. Ainsi, pour obtenir des récipients en roche dure, ils ramassaient des galets ronds ou ovales dont ils n'avaient plus qu'à creuser l'une des faces. Ils utilisaient aussi fréquemment des galets bruts, pourvu qu'ils aient la taille, la forme, la dureté et la densité voulues. Ils en faisaient alors des enclumes, des broyeurs, des molettes, des pilons-broyeurs, des maillets, des lissoirs, des polissoirs... Bien que rudimentaires, ces outils étaient conservés et exploités très longtemps.

Ces outils «naturels», ou façonnés par des techniques autres que la taille

(piquetage, martelage, raclage, plus rarement polissage), ont été longtemps négligés. Les préhistoriens du XIX^e siècle et de la première moitié du XX^e siècle les abandonnaient le plus souvent dans les déblais. Dans le meilleur des cas, ils les conservaient sous une rubrique «divers».

Heureusement, quelques sites font exception, telles les grottes pyrénéennes de La Vache, fouillée de 1866 à 1940, et d'Isturitz, de 1912 à 1954, dont l'intégralité du matériel a été conservée : les galets utilisés y sont si abondants (presque 500 pour chaque site) que leur



1. DES MOLETTES, ou meules à main, étaient utilisées pour le broyage, de végétaux par exemple, par un mouvement de bascule d'avant en arrière et de droite à gauche.

De nombreuses formes naturelles des galets se prêtent à cet usage. Le plus ancien témoignage en est un galet de roche volcanique (à droite, hauteur réelle : 7,5 centimètres), manipulé par des Néandertaliens il y a 70 000 à 40 000 ans dans le Petit Abri de Laussel, en Dordogne. L'usure a légèrement aplati sa face inférieure. De même, le frottement répété a poli les deux faces et le pourtour d'un petit galet de quartzite quasi circulaire, découvert dans la grotte d'Isturitz, dans les Pyrénées-Atlantiques, et daté de 28 000 à 22 000 ans (au milieu, diamètre réel : 6,5 centimètres).

classement, respectivement par Dominique Buisson, alors au Musée des antiquités nationales, et par moi-même, a permis de constituer des collections utilisables pour des comparaisons au fur et à mesure des nouvelles découvertes. Aujourd'hui, les fouilleurs récupèrent l'intégralité du matériel archéologique.

Cet outillage, que l'on retrouve sous des formes analogues chez des peuples nomades actuels, chasseurs-cueilleurs ou éleveurs, nous renseigne sur la vie quotidienne de leurs utilisateurs. Très variés, ces outils sont intervenus aussi bien dans la transformation de la matière que dans la consommation et l'acquisition de la nourriture : fabrication de l'outillage, préparation de la nourriture, stockage de divers ingrédients, préparation des colorants, éclairage, travail des peaux, chasse, pêche...

Les traces d'utilisation visibles à la surface de ces objets permettent la reconstitution des gestes exécutés. Notre connaissance des activités et des comportements des hommes du Paléolithique en est élargie. Par exemple, au Roc de Sers, en Charente, un bloc ayant servi à la fois d'enclume pour débiter du silex et de support à découper de la viande ou des peaux apporte de nombreuses informations sur la taille de la pierre, mais aussi sur les techniques de découpe et de préparation alimentaire, et sur la gestion de l'espace dans le campement. Les galets non taillés nous informent aussi sur la consommation et les modes de préparation des végétaux sauvages, dont presque toutes les traces

directes ont aujourd'hui disparu (les restes végétaux se fossilisent mal). Sur-tout, nous verrons que l'étude des gestes auxquels sont liés ces outils pose de façon nouvelle la question du progrès, du début du Paléolithique au Néolithique : de nombreuses innovations techniques résultent de la simple application de gestes anciens à un nouveau but.

Des traces à la fonction

À quelles activités les traces que nous observons aujourd'hui sur un galet correspondent-elles ? Comment pourrions-nous déterminer si elles ont été produites par la seule utilisation de l'objet ou au cours d'une éventuelle fabrication ? Dans un premier temps, nous devons retrouver le fonctionnement de ces objets : comment ont-ils été utilisés ? Nous pourrions ensuite formuler des hypothèses sur leurs fonctions.

En 1943, André Leroi-Gourhan a proposé une classification des « moyens élémentaires d'action sur la matière », qui lui a servi de base pour une classification générale de l'ensemble des techniques humaines. Sa classification des percussions suffit pour tenter d'élucider l'origine des traces visibles sur les galets préhistoriques. J'ai ainsi obtenu quatre grandes catégories d'outils, actifs ou passifs : ceux ayant exercé ou subi une percussion lancée, ceux ayant exercé

ou subi une percussion posée, ceux ayant alterné une percussion lancée et posée, enfin ceux n'ayant reçu ou exercé aucune percussion. Cette terminologie ne préjuge pas de la nature de l'activité réalisée et se limite à la description d'un geste.

J'ai ensuite défini des critères qui permettent de dire comment le geste s'est exercé. Pour cela, je tiens compte du type de support (galet ou bloc) et de l'emplacement des traces d'usage par rapport à la forme de l'objet (sur l'extrémité, la surface ou le flanc, concentrées ou éparées) pour en déterminer la spécificité. D'autres paramètres, telles la nature et les caractéristiques de la roche, facilitent le diagnostic. Cette reconstitution s'appuie sur plusieurs méthodes : la tracéologie, mais aussi l'expérimentation, la confrontation avec les vestiges voisins et l'observation ethnographique.

Lorsque nous avons ainsi retrouvé le fonctionnement d'un galet, nous pouvons nous intéresser à sa fonction, en remplaçant les gestes au sein d'une chaîne opératoire : par exemple, pour



2. LA MOUTURE était connue de certains groupes du Paléolithique, bien avant l'invention de l'agriculture. Les stries et les traces de colorant visibles sur la surface de cette grande plaque de schiste (*en bas, longueur réelle : 28 centimètres*) qui provient de l'abri du Cap Blanc, en Dordogne, attestent en effet que de l'ocre y a été broyée et moulue, il y a 14 000 à 11 000 ans. C'est l'une des rares meules entières connues au Paléolithique supérieur. Elle a été utilisée avec un broyeur semblable à ce volumineux galet de grès rose (*en haut, longueur réelle : 13,5 centimètres*), dont les faces et les flancs sont usés et striés. Celui-ci, qui provient de niveaux de 28 000 à 22 000 ans de la grotte d'Isturitz, dans les Pyrénées-Atlantiques, a fait l'objet d'un ravage de ses surfaces, comme cela se pratiquait fréquemment à partir du Néolithique : la surface est piquetée pour être rendue à nouveau rugueuse, afin de mieux mordre la matière à moudre et à écraser.

préparer la peau (l'activité), il faut la gratter, donc exercer une pression sur sa surface (l'action) en une série de gestes (la chaîne opératoire). À ce stade, toutefois, les activités possibles ne sont jamais certaines. Ainsi, bien que nous puissions dire qu'un maillet en pierre a été utilisé par percussion indirecte légère (on a tapé dessus avec un percuteur), nous ne saurons sans doute jamais avec certitude s'il a servi à sculpter des objets en bois de cervidé ou en ivoire de mammouth.

La boîte à outils

Dans certains cas, la similitude de toutes les traces d'usage laisse supposer que l'outil était réservé à une seule fonction. Elles sont en outre parfois si nettes, si caractéristiques, que l'on reconnaît sans embarras cette fonction : petites molettes circulaires à une main (voir la figure 1), broyeurs allongés, galets volumineux à surfaces planes ou légèrement creusées ayant

servi de meules (voir la figure 2). On est souvent aidé par la comparaison avec l'outillage encore existant dans certaines sociétés, tel le matériel de broyage et de mouture de Tichitt, en Mauritanie, étudié par Valentine Roux, du laboratoire Préhistoire et technologie du CNRS.

À l'inverse, la fonction d'autres objets n'a pas encore été élucidée. Ainsi les cupules que portent certains galets et certains blocs révèlent-elles que ces objets ont servi en percussion lancée, mais pas s'ils étaient en position active ou passive (voir la figure 3).

À côté de ces outils spécialisés, de nombreux galets servaient à plusieurs tâches. Ils présentent, sur tout ou partie de leur surface, les stigmates de trois ou quatre usages différents, voire davantage. Pour des objets souvent petits et portatifs, on peut envisager un usage actif mobile et un usage passif, où l'objet est maintenu immobile dans le creux de la main ou coincé entre les pieds.

Les exemples contemporains d'outils plurifonctionnels et utilisables indifféremment en position active ou passive ne manquent pas. Ainsi, il y a quelques années, j'ai observé les utilisations d'un galet de quartz dans un campement touareg kel-ferwan de la région d'Agadez, au Niger (voir la figure 4). Cet objet porte des traces de piquetage et d'écrasement sur ses deux extrémités, le long de ses arêtes longitudinales et au centre d'une de ses faces. Les deux facettes de la face opposée ont été produites par usure. Il est maculé de nombreuses traces noires : charbon à l'une des extrémités, colorant sur une des facettes et sur l'autre extrémité, traces de pulpe de fruit sur l'autre face.

Chaque type de trace correspond à un usage spécifique. Ce galet était d'abord destiné, selon sa propriétaire, au lissage du cuir, mais il servait aussi, à l'occasion, de support pour écraser la pulpe du fruit oléagineux du *Balanites aegyptiaca*, de percuteur pour briser des pains de sucre, de broyeur pour écraser des herbes médicinales, du charbon de bois ou du khôl, de marteau pour repousser du cuir avec un burin de fer.

La diversification des usages

Il y a 2,6 millions d'années, des hominidés, australopithèques ou premiers représentants du genre *Homo*, utilisent déjà des galets : les plus anciens outils taillés que nous connaissions sont des galets et des éclats dont une pointe ou un tranchant ont été dégagés par des enlèvements de matière intentionnels. Ils sont utilisés pour découper le gibier, couper de la viande ou concasser des os afin d'en extraire la moelle, comme en témoignent les traces qui subsistent sur ces derniers.

À côté de ce très ancien outillage taillé, d'autres galets sont utilisés tels quels, non façonnés, comme enclumes ou comme marteaux pour casser, écraser ou faire éclater. Une partie de leur surface, de leurs flancs ou de leurs extrémités porte des traces d'impacts et d'écrasements. Ils sont analogues aux galets utilisés aujourd'hui par certains chimpanzés pour concasser des coquilles de fruits durs.

L'utilisation des galets non taillés ne se diversifie qu'à partir du Paléolithique moyen, il y a 180 000 ans. On trouve alors les premiers galets



3. LA CUPULE CENTRALE de ce galet globuleux (taille réelle) témoigne de frappes répétées à cet endroit. Il a peut-être servi à casser des noix, dans la grotte d'Isurutz, dans les Pyrénées-Atlantiques, il y a 29 000 à 22 000 ans. Ce type d'outil non fabriqué est très répandu tout au long de la Préhistoire : les plus anciens ont environ 2,5 millions d'années et ont été utilisés par des australopithèques ou par les premiers représentants du genre *Homo*. En outre, certains groupes de chimpanzés cassent aujourd'hui des noix avec des percuteurs et des enclumes analogues. On ne peut toutefois exclure d'autres usages, comme maillet par exemple.



4. CE GALET AUX MULTIPLES USAGES (à droite, à taille réelle) était utilisé, il y a quelques années, par des Touaregs de la région d'Agadez, au Niger. Il porte des traces associées à plusieurs activités, domestiques, médicinales, artisanales, voire ludiques. Cet outil à tout faire a une grande valeur puisqu'il est soigneusement conservé toute la vie et transmis de mère en fille : un outil «brut» n'est donc pas moins précieux qu'un outil façonné. De tels galets, analogues au couteau suisse que l'on porte toujours sur soi, étaient aussi employés au Paléolithique : par exemple, un galet magdalénien (il y a 15 000 à 12 000 ans) en schiste, découvert dans la grotte de l'Église à Excideuil, en Dordogne (en haut, longueur réelle : 15,2 centimètres). Il porte des traces d'impact et des facettes polies par usure correspondant à des usages comme percuteur, broyeur et enclume. La perforation permettait de le suspendre avec un lien.

présentant, en plus des traces d'écrasement ou de piqueté, des plages polies par usure et des stries, qui évoquent une action de broyage. Cette diversification des traces atteste une diversification des activités : au concassage de fruits durs et d'os, s'ajoute la préparation et la régularisation de surfaces ou encore le broyage de substances végétales ou animales en vue de leur consommation (glands, racines, viande, graisse...).

Au Paléolithique supérieur, qui débute il y a 40 000 ans, l'utilisation des galets s'intensifie. De l'Aurignacien au Magdalénien supérieur (de 40 000 à 10 000 ans), cet outillage sur bloc ou sur galet devient de plus en plus fréquent, et il se diversifie, tant pour la matière première que pour les formes et la nature des traces d'usage, ce qui correspondrait à une spécialisation de plus en plus poussée. On trouve pour cette période des galets lustrés sur un bord ou sur une face et exempts de stries, sans doute des lisseurs pour aplanir les peaux et les cuirs. De petits blocs de grès couverts de rainures étaient destinés à régulariser et à polir les aiguilles, les poinçons et les sagaies en os (voir la figure 7). De petits galets à grain fin, de forme allongée, ont servi de maillets pour façonner, par percussion sur un burin ou un ciseau, des objets en matière dure animale, os, ivoire ou bois de cervidé.

Au matériel de concassage qui existait déjà, vient s'ajouter un outillage plus spécifiquement destiné à broyer

TEMPS ÉCOULÉ (EN ANNÉES)	TRACES ET INDICES	FONCTIONS
2 600 000	IMPACTS, CUPULES TRACES D'ÉCRASEMENT	TAILLE DE LA PIERRE CONCASSAGE D'OS ET DE NOIX
180 000	STRIES PLAGES USÉES	BROYAGE PRÉPARATION DE SURFACES
40 000	STRIES, TRACES DE COLORANT	BROYAGE DE COLORANT
29 000	LUSTRAGE, POLI ÉCRASEMENT	LISSAGE DE PEAUX PILAGE, BROYAGE
	RAINURES	POLISSAGE D'OBJETS EN OS
17 000	RÉSIDUS VÉGÉTAUX	MOUTURE DE VÉGÉTAUX SAUVAGES
10 000	MORTIERS ET PILONS FAÇONNÉS MEULES FAÇONNÉES	MOUTURE DE CÉRÉALES

5. L'usage des galets non façonnés est très ancien, mais les fonctions (déduites en particulier des traces d'usage) n'ont commencé à se diversifier qu'il y a 40 000 ans. Certains de ces objets, notamment les instruments de broyage, sont les ancêtres directs d'outils plus élaborés tels les pilons, les mortiers et les meules en pierre fabriqués au Néolithique.

et à moudre différentes substances. Les premières meules et les premiers broyeurs datent du Châtelperronien, tout au début du Paléolithique supérieur, même s'il ne s'agit encore que de réduire en poudre des blocs de colorant par écrasement et par raclage. Ce matériel se spécialise à partir du Gravettien, il y a 29 000 ans : meules planes ou légèrement concaves, meules-mortiers, molettes, broyeurs et pilons (voir la figure 8) portent des plages de poli d'usure associées ou non à de fines stries d'abrasion.

Presque tous ces outils de mouture présentent des traces de colorant : ou

bien les outils ayant servi à écraser d'autres matières, végétales ou animales, sont passés inaperçus à la fouille, ce qui serait surtout vrai pour les fouilles anciennes ; ou bien ils étaient effectivement destinés, au départ, surtout au traitement du colorant et ils n'ont été impliqués que progressivement dans des processus alimentaires. Une partie de cet outillage a toutefois servi pour le broyage de certaines graminées sauvages, de tubercules et même de fruits charnus, glands, noix ou noisettes. Ainsi, des résidus de tubéreuses de 19 000 à 17 000 ans ont-ils été trouvés à Wadi



6. LES TRACES D'IMPACT à la surface de ce pesant galet ovoïde en quartzite (*hauteur réelle : 10,5 centimètres*), surtout à ses extrémités, ainsi que son volume, sa forme et sa dureté indiquent qu'il était utilisé comme percuteur pour la taille et la retouche du silex, il y a 28 000 à 22 000 ans, dans la grotte de Pair-non-Pair, en Gironde.



7. LES RAINURES À SECTION EN U de 2,5 à 5 millimètres de profondeur et présentant des traces de polissage, à la surface de ce petit galet de pierre ponce (*taille réelle*), indiquent que des aiguilles en os ont été polies sur sa surface. C'est un objet assez rare. Il a en outre été ramassé, il y a 14 000 à 12 000 ans, sur le littoral (de l'Atlantique ou de la Méditerranée), à plusieurs dizaines de kilomètres de la grotte d'Isturitz, dans les Pyrénées-Atlantiques.

Kubbaniya, en Haute-Égypte, associés à du matériel de broyage.

Ce n'est toutefois qu'au Kébarien, il y a 17 000 à 12 000 ans au Proche-Orient, que le façonnage de ce type d'outillage se généralise : des mortiers et des pilons y sont pour la première fois entièrement sculptés, la plupart dans du basalte, et les mortiers sont creusés intentionnellement, contrairement aux mortiers du Paléolithique, qui ressemblent plus à des meules et dont le creusement est dû à l'usure. Ces objets sont surtout abondants à la période suivante, au Natoufien, où ils ont vraisemblablement servi au traitement des fruits sauvages, des glands, mais aussi des graines de céréales sauvages dont on a retrouvé des restes dans maints gisements. De même, bien que des meules aient existé dès le Paléolithique supérieur, les grandes meules avec une usure asymétrique révélant une utilisation en un mouvement axial de va-et-vient, et qui sont ouvertes en bout pour faciliter la récupération du produit de mouture, n'apparaîtraient qu'avec les premières graines cultivées, à Mureybet et à Cheikh Hassan, en Syrie, il y a environ 10 000 ans.

Le geste précède la technique

Ces outils de broyage, apparus au début du Paléolithique supérieur, ont donc d'abord servi à autre chose qu'à la préparation des céréales. Les premiers indices de mouture de graines sauvages datent seulement de la fin de cette période : on a retrouvé des graines d'orge et d'avoine sauvages à Franchthi, en Grèce, et dans d'autres sites du Levant. Rien ne permet toutefois d'affirmer que cette pratique était répandue. Même les mortiers et les meules du Kébarien et du Natoufien, dont nous avons vu qu'ils sont plus évolués techniquement que les outils de mouture magdaléniens qui leur étaient contemporains en Europe, préexistent à toute agriculture : le broyage concernait d'autres matières, végétales, animales ou minérales.

Les gestes techniques du broyage sont donc antérieurs au Néolithique. Lorsque les hommes ont commencé à consommer des céréales sauvages, ils leur ont appliqué ces gestes, le broyage devenant alors mouture. Un transfert technologique semblable



8. LE PILAGE, par exemple de fruits, a été pratiqué avec ces deux galets, il y a 29 000 à 22 000 ans, dans le Grand Abri de Laussel, en Dordogne. Celui du milieu (*taille réelle*) est en calcaire. Toutes ses faces ont été régularisées et sa base est aplanie par l'usure due aux écrasements répétés. Sa forme tronconique rappelle celle des pilons-battoirs polynésiens utilisés pour écraser la pulpe de certains fruits. Relativement rare, ce type d'outil est aussi attesté au Magdalénien (il y a 15 000 à 18 000 ans). Le galet en forme de rondin (*à droite, à taille réelle*) est en grès quartzitique. Sa pointe mousse (*en bas*), très usée, est lustrée et porte de légères traces d'impact, tandis que l'autre extrémité est émoussée et striée. Les encoches sur les flancs semblent être uniquement décoratives.

avait été réalisé pour les percuteurs, d'abord uniquement destinés au concassage, puis appliqués à l'obtention de pointes et de tranchants par l'éclatement de roches cassantes.

Ces deux exemples montrent que l'«invention» ou l'émergence d'un geste (ou d'une série de gestes mécaniques) précède celles de certaines des tâches auxquelles il peut servir. L'apprentissage, dès l'enfance, des connaissances techniques par imprégnation quotidienne serait, selon Gilbert Simondon, responsable d'une certaine rigidité, ces connaissances étant apprises sans être nécessairement pensées ou discutées et sans être remises en question à l'âge adulte. Éric Boëda, du laboratoire Préhistoire et technologie du CNRS, a ainsi remarqué la grande stabilité temporelle des techniques qui régissent le façonnage et le débitage du silex. Cette rigidité expliquerait en partie que toutes les applications possibles d'une habitude gestuelle ne sont pas d'emblée testées et adoptées.

Ainsi, toute activité nouvelle observée par les archéologues ne requiert pas de nouveaux gestes. Si les préhistoriens fondaient une échelle chronologique sur les dates d'apparition effective des gestes, et non sur celles de leurs différentes applications, de leur diffusion et de leur généralisation, ils n'obtiendraient vraisemblablement pas les mêmes découpages chronologiques et culturels que ceux qui sont en usage

actuellement. La distinction des civilisations par leurs différents modes de vie est utile (la coupure entre le Néolithique et tout ce qui le précède semble incontournable), mais des critères de distinction fondés sur la gestuelle, dans un état d'esprit plus dynamique, plus fonctionnel, ne seraient-ils pas plus proche de la réalité que ceux fondés sur des différences d'outillage, d'ordre purement typologique?

Sophie A. de BEAUNE est chercheur au laboratoire d'ethnologie préhistorique du CNRS, à Nanterre.

Sophie A. de BEAUNE, *Essai d'une classification typologique des galets et plaquettes utilisés au Paléolithique*, in *Gallia Préhistoire*, vol. 31, pp. 27-64, 1989.

K. WRIGHT, *The Origins and Development of Ground Stone Assemblages in Late Pleistocene Southwest Asia*, in *Paléorient*, vol. 17, n° 1, pp. 19-45, 1991.

André LEROI-GOURHAN, *L'homme et la matière*, Albin Michel, Paris, 1992.

Sophie A. de BEAUNE, *Les hommes au temps de Lascaux, 40 000-10 000 avant J.-C.*, Hachette, Paris, 1995.

Sophie A. de BEAUNE, *Les galets utilisés au Paléolithique supérieur. Approche archéologique et expérimentale*, CNRS Éditions, Paris, 1997.

D. STORDEUR, *Néolithisation et outillage osseux. La révolution a-t-elle eu lieu?*, in *Préhistoire d'os*, recueil d'études offert à Henriette Camps-Fabrer, édité par M. Julien et al., Publications de l'Université de Provence, Aix-en-Provence et CTHS, Paris, à paraître.

Les cellules souches embryonnaires

ROGER PEDERSEN

Récemment isolées, ces cellules semblent capables d'engendrer la quasi-totalité des types de cellules de l'organisme. On envisage de les utiliser pour réparer les tissus et les organes endommagés.

Un randonneur a un infarctus en haute montagne. Le temps qu'il soit conduit à l'hôpital, le muscle cardiaque a été en grande partie détruit, faute d'oxygène. Aujourd'hui, le randonneur est condamné à une vie sédentaire. Demain, le malade pourra peut-être se rétablir : les médecins prélèveraient un petit lambeau de peau, extraîraient le matériel génétique de ces cellules cutanées et l'injecteraient dans des œufs fécondés humains dont on aurait éliminé les chromosomes. Une culture de ces œufs modifiés conduirait à de tout jeunes embryons, auxquels on prélèverait ce que l'on nomme des cellules souches embryonnaires, capables de fabriquer différents types de cellules.

L'équipe médicale placerait ces cellules souches embryonnaires dans des conditions telles qu'elles se différencieraient en cellules cardiaques compatibles avec les cellules du randonneur. Transplantées dans le cœur du malade, elles ne provoqueraient pas de rejet, s'y multiplieraient, remplaceraient les cellules détruites lors de l'infarctus, et le randonneur retrouverait santé et vigueur.

Ce scénario n'est plus invraisemblable. On connaît déjà plusieurs types de cellules souches, elles-mêmes incapables d'assurer les fonctions de cellules de cœur, de foie ou de cerveau, mais dont les cellules filles se différencient, c'est-à-dire subissent des modifications telles qu'elles deviennent irréversiblement des cellules d'un type particulier. D'autres cellules filles restent des cellules souches : ainsi, des cellules souches

intestinales régénèrent sans cesse la paroi de l'intestin, des cellules souches cutanées fabriquent de la peau, et des cellules souches hématopoïétiques engendrent diverses catégories de cellules du sang. Chaque jour, nos cellules souches réparent les lésions et gommement l'usure subies par l'organisme.

Les cellules souches de l'embryon sont encore plus extraordinaires : elles peuvent engendrer tous les types de cellules de l'organisme. Pour la première fois, en 1998, des biologistes ont cultivé des cellules souches d'embryon humain. Ainsi, en février 1998, à l'Université du Wisconsin, James Thomson observe que certaines cellules humaines en culture ressemblent aux cellules souches qu'il avait précédemment obtenues à partir d'embryons de singes. À 1 000 kilomètres de là, à l'Université Johns Hopkins, John Gearhart isole des cellules analogues en cultivant des fragments d'ovaires et de testicules de fœtus humains. Simultanément, en Californie, des biologistes des Laboratoires Geron, à Menlo Park, et mes collègues, à l'Université de San Francisco, font des recherches similaires.

J. Thomson avait l'avantage d'avoir déjà travaillé sur les cellules souches embryonnaires de macaques rhésus et de ouistitis. Au cours des mois qui suivirent, il réussit à déclencher la multiplication, en culture, de ces cellules fragiles, et il confirma qu'il s'agissait bien de cellules souches embryonnaires.

Dans un article publié dans la revue *Science*, le 6 novembre 1998, J. Thomson rapportait qu'une fois

transplantées sous la peau d'une souris ces cellules humaines forment divers tissus, par exemple de l'épithélium qui tapisse l'intestin, du cartilage, de l'os, des muscles ou encore de l'épithélium neuronal (le tissu précurseur du système nerveux). Ainsi, on obtenait des structures issues des trois couches d'un embryon de mammifère : la couche la plus externe, l'ectoderme, la plus interne, l'endoderme, et la couche intermédiaire, le mésoderme. Cette diversité est une preuve supplémentaire des potentialités de ces cellules, et les résultats obtenus laissent espérer que les recherches sur les cellules souches embryonnaires aboutiront un jour à la production de cellules utilisables pour le traitement de nombreux types de tissus.

Des possibilités illimitées

Si l'on savait commander la différenciation des cellules souches embryonnaires en culture, on pourrait utiliser les cellules résultantes pour réparer les dégâts cellulaires causés par un arrêt cardiaque, par la maladie de Parkinson ou par le diabète. Ces cellules seraient particulièrement utiles pour le remplacement des cellules cardiaques ou des îlots de Langerhans (détruits chez les personnes diabétiques), qui ne se renouvellent pas chez les adultes (le cœur et le pancréas ne renferment plus de cellules souches). Une découverte récente laisse envisager que l'on pourrait modifier des cellules souches déjà partiellement différenciées pour en reprogrammer le développement.