



Mary Ann Chastain, AP Photo

4. LES ÉMOTIONS déclenchées par les symboles idéologiques donnent une idée de l'importance des mèmes pour l'homme et de l'emprise qu'ils ont sur nos comportements.

d'années, un phénomène semblable s'est produit lorsque les premières molécules capables de se répliquer sont apparues dans la soupe primitive : elles ont conduit à l'ADN et à tout son arsenal de réplication cellulaire.

Après le langage, l'écriture s'est imposée. Elle est bien plus durable et fidèle. Puis, bien plus tard, l'imprimerie a renforcé l'efficacité de l'écriture ; du télégraphe au téléphone cellulaire, du courrier au courrier électronique, du phonographe au DVD et des ordinateurs à l'Internet, la machine à copier s'est perfectionnée, diffusant sans cesse plus loin et plus vite une multitude croissante de mèmes. La révolution informatique qui a commencé il y a quelques décennies est une conséquence de l'évolution mémétique.

La théorie mémétique se fonde sur des hypothèses que l'on peut tester expérimentalement. Elle stipule notamment que l'imitation – même si elle nous vient si facilement – exige une grande intelligence. Des études du cerveau par imagerie fonctionnelle (où l'on détermine les zones actives) devraient permettre une comparaison de l'activité cérébrale chez une personne qui effectue une action et l'activité d'une autre personne qui imite la première. Contrairement à l'intuition, la théorie mémétique stipule que l'imitation est l'activité la plus difficile à réaliser et que les régions du cerveau qui l'assurent sont récentes, en termes d'évolution. En outre, elle affirme que, dans tout groupe d'espèces animales apparen-

tées, l'espèce qui a la plus grande capacité d'imitation a le plus gros cerveau. Si la rareté des imitations chez les animaux limite le nombre de données disponibles, l'étude de certaines espèces d'oiseaux, de baleines et de dauphins devrait néanmoins permettre de tester cette théorie.

Les tests expérimentaux

Si le développement du langage humain résulte d'une coévolution des mèmes et des gènes, les linguistes devraient observer que le langage transmet mieux des mèmes dotés d'une fécondité, d'une fidélité et d'une longévité élevées qu'il ne transmet l'information sur des sujets spécifiques, telle la chasse, ou qu'il n'assure la cohésion des groupes sociaux. Des expériences de psychologie sociale devraient confirmer que les individus préfèrent imiter les personnes les plus éloquentes et les trouvent plus séduisantes que les personnes moins éloquentes.

On pourrait tester d'autres prévisions de la théorie mémétique avec des modèles mathématiques et des simulations numériques, comme de nombreux biologistes l'ont fait pour l'évolution génétique. On verrait alors comment l'apparition d'un second répliqueur, plus rapide, bouleverse la dynamique évolutive et comment il commande l'évolution du premier répliqueur. On pourrait alors utiliser ces modèles pour comprendre plus en détail la coévolution des mèmes et

des gènes. En outre, des simulations avec des robots imitateurs de bruits devraient montrer que le langage apparaît de façon spontanée au sein d'une population d'individus dotés d'aptitudes à l'imitation.

La mémétique est une théorie nouvelle. Certaines des critiques qui lui sont faites méconnaissent le concept de répliqueur : les mèmes, comme les gènes, ne sont que des éléments d'information qui réussissent à se faire copier ou ne se propagent pas. En ce sens seulement, ils sont «égoïstes» et possèdent un pouvoir de répliqueur. Les mèmes ne sont ni des entités magiques ni de vagues concepts abstraits, mais de l'information logée dans des souvenirs, dans des actes et dans des artefacts spécifiquement humains. Les contenus mentaux ne sont pas tous des mèmes : certains ne sont pas des copies. Sans mèmes, nous resterions capables des perceptions, des émotions, des pensées et du savoir-faire qui nous sont propres.

On objecte fréquemment que les mèmes sont très différents des gènes. C'est vrai. Ils évoluent bien plus vite, et leur dynamique n'est pas encadrée par un système rigide, telle la machinerie biosynthétique des cellules.

De nombreuses critiques restent à examiner. La mémétique méritera de s'imposer si les explications qu'elle fournit sont meilleures que celles des théories concurrentes et si ses prévisions se révèlent justes. Contrairement aux religions, la science (qui est elle-même un groupe complexe de mèmes) a les moyens d'écarter les idées fausses : elle décidera de l'intérêt de la mémétique.

Susan BLACKMORE est psychologue à l'Université de Bristol.

Richard DAWKINS, *The Selfish Gene*, Oxford University Press, 1976.

Robert BOYD et Peter J. RICHESON, *Culture and the Evolutionary Process*, University of Chicago Press, 1985.

Henry C. PLOTKIN, *Darwin Machines and the Nature of Knowledge*, Penguin, 1993.

Daniel DENNETT, *Darwin's Dangerous Idea*, Penguin, 1995.

Susan BLACKMORE, *The Meme Machine*, Oxford University Press, 1999.

Darwinizing Culture : The Status of Memetics as a Science, sous la direction de Robert Aunger, Oxford University Press, à paraître.

Les premiers Américains

SASHA NEMECEK

On découvre en Amérique des outils fabriqués par des peuples indigènes vieux de plus de 14 000 ans. Ces découvertes révèlent le mode de vie des premiers Amérindiens.

Dans des marais du Sud du Chili, il y a plus de 14 000 ans, une trentaine de personnes vivaient sur le site de Monte Verde, découvert par l'anthropologue Tom Dillehay dans les années 1970. Ces humains, parmi les premiers habitants de l'Amérique du Sud, étaient sans doute les descendants d'individus venus d'Asie. Ces derniers étaient-ils conscients d'être des pionniers ? Ou bien avaient-ils seulement migré pour trouver à manger ? Et quand sont-ils arrivés en Amérique ?

La communauté des anthropologues et des archéologues discute, parfois âprement, de l'âge des sites anciens et de la date de la colonisation de l'Amérique. Les différentes datations des sites prêtent souvent à confusion. Toutefois, les découvertes de Monte Verde et les fouilles en cours dans l'Est des États-Unis et en Amérique du Sud semblent reculer la date d'entrée admise auparavant : on croyait que la colonisation datait d'il y a 14 000 ans, mais on sait aujourd'hui que des humains ont foulé le sol américain il y a plus de 20 000 ans !

Comment vivaient ces colons ? Le site de Monte Verde a livré des pointes de lance de moins de dix centimètres de longueur et deux centimètres de large, qui attestent un travail soigneux. Notamment, les séries de minuscules encoches qui forment les bords aigui-

sés sont parfaitement symétriques. Grâce à de tels objets, les anthropologues reconstituent la vie quotidienne des premiers Américains et bousculent l'image du chasseur de mammouths qui prévalait naguère.

En 1589, le missionnaire jésuite José de Acosta proposa que les peuples américains soient venus de Sibérie quelques milliers d'années auparavant (voir la figure 4). Son hypothèse s'imposa, et les études archéologiques la corroborèrent : au début du XX^e siècle, les plus anciens vestiges humains trouvés étaient datés de quelque 13 000 ans.

De surcroît, les outils découverts en différents endroits, du Canada jusqu'en Amérique centrale, se ressemblaient : on y voyait l'indication d'une culture commune et d'une colonisation unique du continent. Les archéologues ont nommé «Clovis» les colons et leur culture «Clovis», d'après le site de Clovis, au Nouveau-Mexique, où le premier objet ancien a été mis au jour.

Dans certains sites des États-Unis, notamment dans les régions désertiques du Sud-Ouest, ces pointes de type Clovis sont aussi communes que les cactus. Pourquoi les populations Clovis avaient-elles eu besoin de tant d'armes ? À nouveau, la réponse semblait évidente : ils auraient été de redoutables chasseurs, qui poursuivaient du gros gibier, tel le mammouth, il y a 14 000 ou 15 000 ans, à travers l'actuel détroit de Béring qui, à l'époque, était

1. CHASSEUR DE MAMMOUTHS OU PÊCHEUR ? Les premiers habitants du Nouveau Monde n'étaient pas uniquement des chasseurs de gros gibier, vêtus de peaux de bêtes (à gauche), mais aussi des chasseurs de petit gibier, des pêcheurs et des cueilleurs de plantes (à droite). La petite pointe de lance montrée (à droite) a été découverte au Chili ; elle est l'un des plus anciens objets façonnés par l'homme découverts en Amérique.

un isthme, nommé Bérिंगie, et à travers une bande de terre qui s'étendait du pôle Nord au Sud du Canada, entre les plaques de glace. Ces chasseurs auraient colonisé l'Amérique du Nord et du Sud en 1 000 ans environ, parce qu'ils poursuivaient le gibier sans relâche. L'importance accordée à la chasse s'accordait avec les données climatologiques : pendant cette période glaciaire, la viande de mammoth ou de bison apportait une grande partie des graisses et des protéines nécessaires ; les fourrures fournissaient des vêtements chauds.

Il était une fois en Amérique

Les premiers Américains ont-ils aussi été des chasseurs de la période glaciaire ? Selon l'anthropologue David Meltzer, cette hypothèse est simpliste : de petits groupes nomades de 15 à 30 personnes auraient été menacés d'extinction par les unions consanguines ou par les catastrophes naturelles. En outre, la chasse au mammoth était sans doute trop périlleuse pour constituer l'unique source de nourriture. Aussi les humains ont-ils également exploité d'autres sources, tel le petit gibier, les fruits, le poisson et les tortues de mer. Par exemple, des archéologues ont découvert des os de cerfs, de lapins et de serpents sur des sites de culture Clovis.

Les outils en bois, les filets et les paniers utilisés pour la chasse du petit gibier, pour la pêche et pour la cueillette sont moins durables que les objets en pierre avec lesquels on chassait le gros gibier. Toutefois, James Adovasio, qui a étudié pendant 30 ans l'abri sous roche de Meadowcroft, en Pennsylvanie, a découvert des paniers utilisés pour vraisemblablement transporter des plantes ou des mollusques pêchés dans la rivière Ohio ; ces objets datent d'environ 13 000 ans. Il a également mis au jour des collets, avec lesquels les Amérindiens capturaient peut-être du petit gibier, et des poinçons en os qui servaient sans doute au travail du tissu.

Les interprétations et les dates avancées par J. Adovasio ont été contestées. Cependant, celui-ci répond notamment en signalant que les aiguilles en os trouvées n'ont pu être utilisées pour coudre des peaux : elles casseraient ; elles ont probablement permis le tissage d'étoffes légères, d'origine végétale. Pendant la dernière glaciation, comme aujourd'hui, le climat était saisonnier :

les vêtements de peau devaient être trop chauds en été.

Qui cousait ces vêtements estivaux ? Selon J. Adovasio, l'hypothèse de colons chasseurs de mammoths néglige le rôle des femmes, des enfants et des grands-parents. L'étude des objets en pierre ne rend compte que de cinq pour cent des activités humaines. En outre, dans les sociétés de chasseurs-cueilleurs récentes, les femmes, les enfants et les personnes âgées des deux sexes fournissent la plus grande partie de la nourriture et s'acquittent de tâches essentielles, telle la fabrication de vêtements, de filets et de paniers. Les premiers Américains n'étaient sans doute pas différents.

Aujourd'hui, les archéologues découvrent enfin des objets qui ne sont

ni en pierre ni en os. Par exemple, à Monte Verde, T. Dillehay a mis au jour des fragments de cordes qui, selon lui, fixaient des tentes constituées de peaux d'animaux ; les restes de ces tentes ont également été retrouvés.

Ces objets corroborent la nouvelle image des premiers Américains : des groupes humains connaissant bien leur environnement, qui tuaient les mammoths à la lance et qui attrapaient également du poisson, cueillaient des baies, tissaient des fibres végétales pour des vêtements et des paniers, construisaient des bateaux pour leurs déplacements.

De nouvelles questions se posent alors. Par exemple, si le site de Monte Verde date de 14 700 ans, quel fut le premier homme de la culture Clovis ?



Qui étaient les premières populations des Amériques? Quand et comment sont-elles arrivées? Soit les populations de Clovis étaient les premières en Amérique, soit des populations clairsemées se trouvaient en Amérique du Nord avant la culture Clovis, mais n'ont laissé aucune trace, soit une importante culture pré-Clovis reste à découvrir.

La conquête du Sud

On croyait naguère que les populations de la culture Clovis se déplaçaient uniquement à pied. Toutefois, les sites de la culture Clovis découverts sur les deux rives du Missouri indiquent qu'ils naviguaient. Les bateaux étaient indispensables aux personnes âgées, aux enfants, aux femmes enceintes... En outre, des populations humaines ont construit des embarcations il y a au

moins 40 000 ans : leur présence est attestée en Australie.

Les premiers bateaux, construits avec des peaux d'animaux et du bois, ont laissé peu de vestiges. Cependant, à partir des techniques de construction des peuples indigènes modernes en Amérique du Nord, Margaret Jodry a proposé des marqueurs archéologiques de construction de bateaux : par exemple, une configuration précise de trous de poteaux – en ovale ou en forme de bateau –, entourée de pierres témoignerait d'un ancien atelier nautique. Se fondant sur de telles hypothèses, les archéologues modifient leurs méthodes de fouilles et présentent une nouvelle analyse des sites déjà fouillés, afin d'y découvrir des indices de la présence de bateaux.

Ce travail suscite une nouvelle question : les premiers colons seraient-

ils arrivés par bateau? Pendant des décennies, les archéologues ont rejeté cette idée, mais, ces dernières années, l'hypothèse est revenue avec d'autant plus de force qu'elle résout des questions sur la durée de migration, de l'Alaska jusqu'à la Terre de Feu.

Comment expliquer que le site de Monte Verde soit âgé de 14 700 ans, alors que, selon la théorie dominante, des humains ne seraient venus d'Asie que depuis 15 700 ans (auparavant, des plaques de glace qui recouvraient totalement l'Alaska et le Canada bloquaient le passage). Les premiers colons auraient-ils parcouru environ 20 000 kilomètres à travers deux continents en 1 000 ans seulement?

Ils n'ont pu être si rapides que s'ils ont longé le littoral pacifique en bateau. Selon Knut Fladmark, de l'Université de Burnaby, qui a proposé cette hypothèse dans les années 1970, les colons sont arrivés en Amérique parce qu'ils cherchaient un climat moins rude ; ils auraient traversé les deux continents en une centaine d'années. Les colons s'arrêtaient sans doute durant les mois d'hiver et s'installaient, le temps d'une génération, lorsque les ressources locales étaient suffisantes.

Bien que séduisante, la théorie de K. Fladmark ne sera pas facile à établir, car l'élévation du niveau de la mer due à la fonte des glaciers a inondé des milliers de kilomètres carrés, le long des côtes pacifiques des deux continents.

L'Amérique profonde

C'est dans l'eau que l'on trouvera des confirmations de cette théorie. L'exploration a commencé. En 1997, Daryl Fedge et ses collègues archéologues des Parcs canadiens ont remonté un petit outil en pierre, qui gisait à 50 mètres de profondeur, au bord de la côte de Colombie-Britannique. Cet outil montre que des peuples occupaient autrefois des zones littorales qui sont aujourd'hui submergées. Quand se sont-ils installés? Des dates comprises entre 15 000 et 50 000 ans sont avancées.

Une conquête des deux continents en 100 ans, par bateau, laisse peu de temps aux colons pour s'adapter au nouvel environnement. Or, selon T. Dillehay, les humains qui vivaient à Monte Verde, savaient exactement où ils se situaient : ils étaient dans la région depuis assez longtemps pour établir un camp fixe, à une heure de marche des marais voisins, luxuriants et riches en plantes



Kenneth Garrett, National Geographic

2. MONTE VERDE, au Chili, abritait une trentaine de personnes il y a environ 14 700 ans. C'est le plus ancien site connu d'habitation humaine en Amérique. L'archéologue Tom Dillehay (debout) et ses collègues ont découvert plusieurs objets d'origine humaine dans cet ancien campement.



Kenneth Garrett, National Geographic



Avec l'aimable autorisation de Tom Dillehay

3. PARMI LES OBJETS mis au jour sur le site de Monte Verde, on trouve un « bâton-pioche » en bois (à gauche) et des restes de troncs qui fixaient les tentes où vivaient la trentaine d'habitants de ce site (à droite).

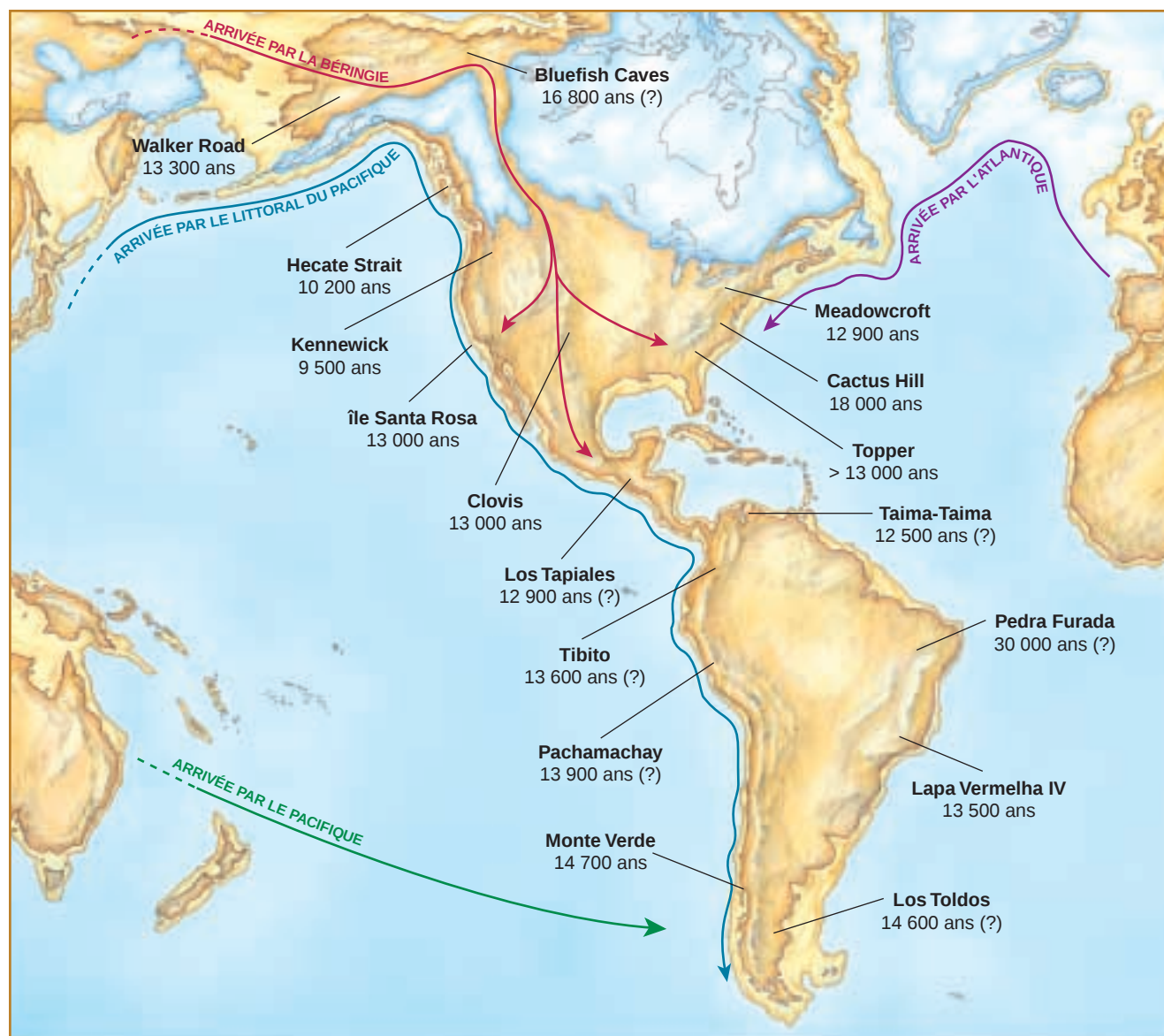
comestibles. L'océan et les collines andines étaient à une journée de marche. Le groupe s'était soigneusement fixé à proximité de trois environnements différents, qu'il exploitait. Par exemple, les habitants de Monte Verde suçaient des gâteaux faits d'algues. Ils tuaient ou récupéraient des animaux piégés dans les marécages voisins, et ils utilisaient les côtes de ces animaux en guise de pioches pour déterrer des tubercules et des rhizomes, dans ces mêmes marais.

Une telle connaissance de l'environnement n'a pu s'acquérir qu'en plu-

sieurs générations. Combien? La question est difficile, car on connaît peu de situations historiques comparables : l'arrivée d'êtres humains «modernes» dans un continent désert n'a eu lieu que deux fois : en Australie et aux Amériques. Toutefois, T. Dillehay remarque que, dans la vallée de l'Indus ou en Chine, des civilisations complexes sont apparues en plusieurs dizaines de milliers d'années ; il conclut que les Américains n'ont pas posé les fondements d'une civilisation en quelques milliers d'années seulement. De ce fait, il pro-

pose que la colonisation de l'Amérique ait eu lieu il y a 20 000 ans.

Cette date est étayée par deux autres types d'indices. D'une part, la linguiste Johanna Nichols, de l'Université de Berkeley, soutient que la diversité des langues américaines indigènes n'a pu apparaître qu'après au moins 20 000 ans – peut-être même 30 000 ans – d'occupation du Nouveau Monde par des humains. D'autre part, des généticiens ont comparé plusieurs marqueurs d'ADN d'Américains indigènes modernes et de Sibériens modernes



4. LA CONQUÊTE DE L'AMÉRIQUE est aujourd'hui décrite par quatre théories. Selon la théorie dominante (*flèches rouges*), des émigrants du Nord-Est de l'Asie auraient traversé l'isthme qui unissait la Sibérie et l'Amérique du Nord durant la dernière période glaciaire, puis ils auraient parcouru le Canada par un corridor non gelé et colonisé les deux continents. D'autres archéologues pensent aujourd'hui (*flèches bleues*) que des explorateurs du Sud-Est de l'Asie ont plutôt suivi le littoral, à bord de petits bateaux, et atteint la Patagonie en une centaine d'années. La théorie, peu

probable, de la traversée du Pacifique (*flèches vertes*), stipule que des habitants de l'Australie et des îles du Pacifique Sud ont poursuivi leur route vers l'Est jusqu'en Amérique du Sud. Enfin, selon la théorie de la traversée de l'Atlantique (*flèches violettes*), des habitants de la péninsule ibérique ont suivi en bateau le bord des glaciers qui recouvraient alors la mer du Nord. Cette dernière théorie est fondée sur une similitude entre les pointes de lances de la culture Clovis et la technique solutréenne en Europe, il y a 16 000 à 24 000 ans.

La datation des sites américains

La datation de l'arrivée des premiers êtres humains en Amérique se heurte à un problème de correspondance : une année sur l'échelle de la désintégration du carbone n'est pas toujours égale à une année calendaire. Les êtres vivants absorbent du carbone sous deux « isotopes » : le carbone 12 et le carbone 14, qui ont les mêmes nombres de protons et d'électrons (six pour chacun), mais des nombres différents de neutrons (respectivement six et huit). Dans un organisme vivant, les proportions de carbone 14 et de carbone 12 correspondent à celles de l'atmosphère. Toutefois, après la mort d'un organisme, ce rapport change, car le carbone 14, radioactif, se désintègre en carbone 12, stable. Ainsi, le rapport du carbone 14 au carbone 12 diminue progressivement. Connaissant la vitesse de désintégration du carbone 14, on estime la quantité de carbone 14 d'un objet, puis on détermine son âge.

Toutefois, le rapport variable du carbone 14 au carbone 12 dans l'atmosphère fausse le calibrage des dates. Ce décalage est corrigé par des échelles de temps fondées sur les cernes de croissance des arbres, les calottes glaciaires et la datation à l'uranium-thorium (l'uranium, radioactif, se désintègre en thorium).

Malheureusement, la période comprise entre 10 000 ans et 20 000 ans est difficile à calibrer. Pendant de nombreuses années, les archéologues ont publié leurs résultats en années de radiocarbone non corrigées. Cependant, grâce à des découvertes récentes, on ajuste plus facilement les dates de cette époque : toutes les dates de cet article ont été calibrées en années calendaires.



LES ANNÉES DE RADIOCARBONE (en haut) sont transcrites en années calendaires (en bas). Par exemple, un objet qui a 11 000 années de radiocarbone a en fait 13 000 ans pour le calendrier.

(voir *L'origine des Amérindiens*, page 82) : ils estiment que les ancêtres des premiers ont quitté la Sibérie pour le Nouveau Monde il y a au moins 30 000 ans.

Cette hypothèse est corroborée par un des plus vieux squelettes américains connus : celui d'une femme adulte qui vivait il y a 13 500 ans. Découvert dans le Sud-Est du Brésil, par Walter Neves, de l'Université de São Paulo, ce squelette ressemble plus à celui d'Africains et d'aborigènes australiens qu'à ceux d'Asiatiques ou d'Américains indigènes modernes. Cette observation, ainsi que des analyses d'une cinquantaine de crânes vieux de 8 900 à 11 600 ans, montre que des migrants non mongoloïdes figuraient parmi les premiers colons américains.

Ainsi, le Nouveau Monde est pluriethnique depuis des millénaires : des chasseurs de la période glaciaire ont traversé la Béringie pour s'établir sur le continent américain, mais ils n'étaient pas les premiers à le faire ainsi, et ils n'étaient pas les seuls. Les archéologues découvrent d'autres populations telle celle de pêcheurs longeant en bateau la côte pacifique ou celle de chasseurs-cueilleurs vivant dans les forêts tempérées de l'Amérique du Nord et du Sud.

Parallèlement, les archéologues fouillent l'Alaska, à la recherche de vestiges des premiers habitants ; des géologues étudient la fonte des glaciers et le moment où elle a permis le déplacement des colons vers le centre du Canada et les États-Unis. Dans l'Est des États-Unis, on découvre qu'un groupe, peut-être de la culture Clovis, était déjà établi il y a 18 000 ans.

Al Goodyear, de l'Université de Caroline du Sud, est récemment retourné sur un site de la culture Clovis pour y chercher des traces humaines encore plus anciennes. Les objets qu'il a découverts, de minuscules lames de pierre et des outils de type racloir associés à l'utilisation du bois et de l'os, diffèrent totalement de ceux de la culture Clovis. La datation au carbone 14 montre que ces objets sont sans doute antérieurs d'environ 100 ans à la culture Clovis (voir l'encadré ci-dessus).

D'autres archéologues ont décrit des campements qui pourraient être vieux de 30 000 ans, mais les datations restent à confirmer.

Sasha NEMECEK est journaliste à *Scientific American*.

L'origine des Amérindiens

SERGIO PENA • FABRÍCIO SANTOS

Les études génétiques du chromosome Y montrent que les premiers Amérindiens sont venus de Sibérie centrale.

Au XVI^e siècle, lorsque les Européens débarquent aux «Indes occidentales», ils rencontrent des peuples que l'Ancien Testament ne mentionne pas. Sont-ils les descendants d'une tribu perdue d'Israël? Le jésuite José de Acosta propose qu'ils soient plutôt d'anciens chasseurs venus d'Asie. Quatre siècles plus tard, en 1840, Ernst Haeckel (1834-1919) reprend cette hypothèse en la précisant : les Amérindiens descendraient de populations sibériennes (voir la figure 1).

Aujourd'hui, la question reste discutée : la plupart des paléanthropologues admettent que des ancêtres des indigènes américains sont arrivés par la Beringie, un pont de terres qui existait, il y a 40 000 à 13 000 ans, entre l'Amérique du Nord et la Sibérie. D'autres hypothèses subsistent (voir *Les premiers Américains*, page 76), mais il est avéré qu'il y a 10 000 ans des êtres humains occupaient les trois Amériques, de l'Alaska à la Patagonie.

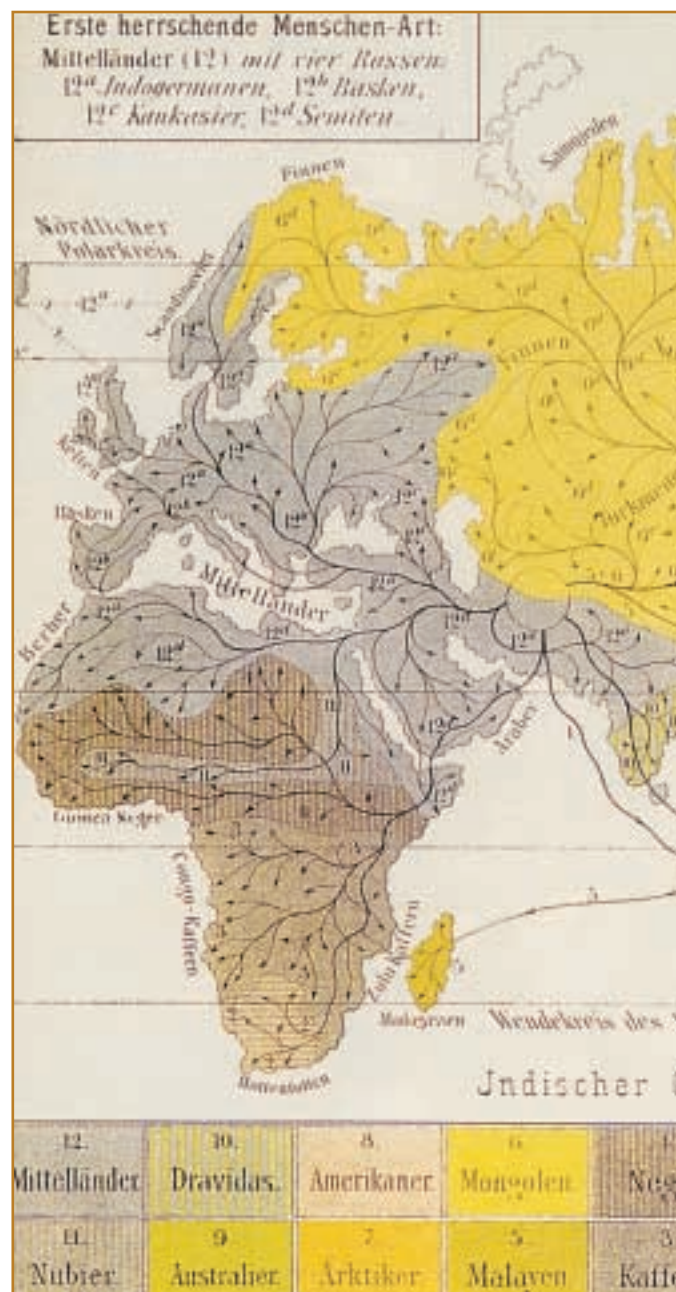
Les Américains de souche se répartissent en trois groupes linguistiques distincts : les Amérindiens (la grande majorité, dispersés à travers les deux continents) ; les Na-Déné (à l'Ouest de l'Amérique du Nord ; les Apaches et les Navajos appartiennent à ce groupe) ; et les Aléoutes esquimaux (au Nord de l'Amérique du Nord).

Tous égaux, tous différents

Ces peuples ont été beaucoup étudiés, mais bien des questions restent ouvertes. Sont-ils arrivés de manière régulière ou par vagues successives? Combien y a-t-il eu de ces migrations? Quand ont-elles eu lieu? D'où sont-elles parties? Quelles ont été les migrations à l'origine des populations respectives actuelles? Certains groupes, à l'origine de migrations, se sont-ils éteints?

Depuis longtemps, la paléanthropologie et l'archéologie linguistique explorent ces questions. Aujourd'hui, nous utilisons la génétique moléculaire pour tester leurs hypothèses et faire de nouvelles découvertes.

La génétique moléculaire dispose de deux méthodes pour comprendre l'histoire de l'évolution humaine et, notamment, son installation dans les deux continents américains. La première consiste à prélever de l'ADN humain sur des momies ou sur des ossements, afin de reconstituer la structure génétique des populations du passé. La seconde, que nous avons choisie, est l'étude



1. LA MAPPEMONDE D'ERNST HAECKEL, publiée en 1884, situe l'origine de l'humanité dans une région hypothétique, nommée Lémurie. Aujourd'hui, on pense que l'*Homo sapiens* provient d'Afrique, puis qu'il a colonisé les Amériques via l'Asie.

génétique des populations actuelles, puis l'établissement d'arbres qui expliquent la répartition actuelle des gènes.

Pour une telle étude, nous avons utilisé le polymorphisme de l'ADN : certaines régions du génome humain diffèrent d'un individu à l'autre. La transmission de ces régions dépend de leur composition et de leur localisation sur le génome humain. Les polymorphismes des autosomes, ceux des séquences présentes sur les chromosomes non sexuels, sont d'excellents marqueurs, très polymorphes, car ces chromosomes sont en double exemplaire dans chaque cellule, et les brassages de gènes sont fréquents d'une génération à l'autre chez l'être humain.

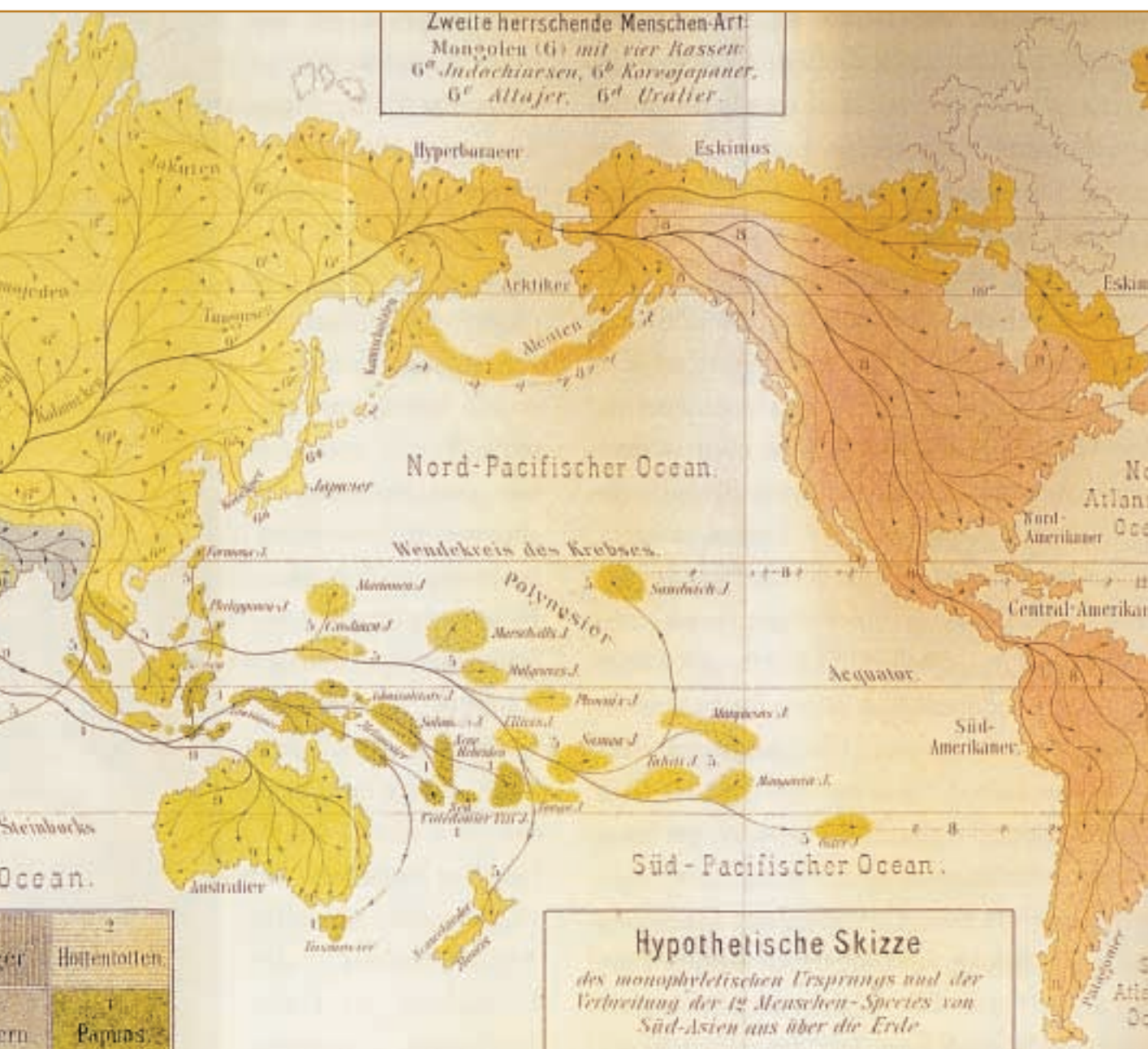
En revanche, le chromosome sexuel Y et l'ADN mitochondrial (contenu dans les mitochondries, petits organites intracellulaires qui fournissent l'énergie aux cellules) proviennent d'un seul géniteur ; le chromosome Y se transmet de père à fils, tandis que l'ADN mitochondrial passe de mère à fils et à filles. Ces ADN n'échangent pas de gènes avec d'autres segments génomiques ; autrement dit, ils ne se recombinent pas : les gènes du chromosome Y et de l'ADN mitochondrial se transmettent en blocs, nommés haplotypes.

Seules les mutations modifient les haplotypes patrilinéaires (le chromosome Y) ou matrilinéaires (l'ADN mitochondrial). Ces haplotypes constituent

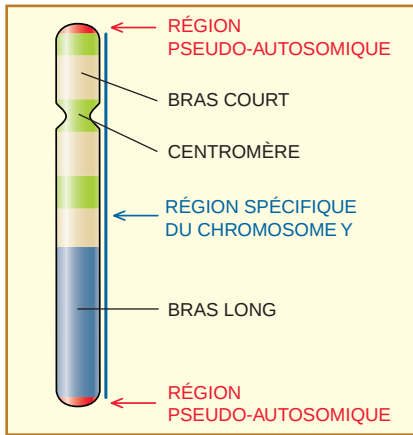
donc des marqueurs importants pour les reconstructions évolutives.

Un chromosome idéal

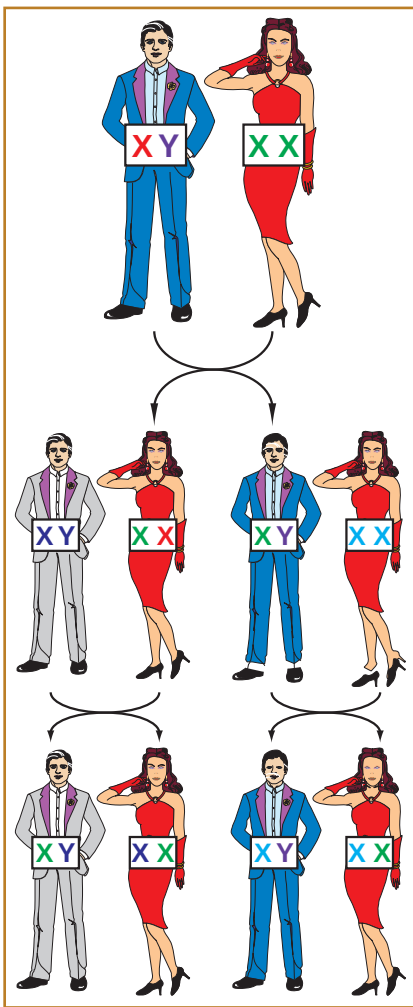
Le chromosome Y humain se compose de trois parties (voir la figure 2) : deux petites régions (nommées régions pseudo-autosomiques, car elles se recombinent parfois) occupent les extrémités des bras courts et longs et ressemblent à celles du chromosome X ; la troisième région, qui constitue plus de 90 pour cent du chromosome, est spécifique du chromosome Y et ne se recombine pas. Les haplotypes de cette dernière région se transmettent, inchangés, de



Illustrations de Sergio D.J. Pena et Fabricio R. Santos



2. LE CHROMOSOME Y HUMAIN est divisé en trois parties. Deux régions pseudo-autosomiques (en rouge), ressemblent à celles du chromosome X, l'autre chromosome sexuel. Chez les hommes, ces régions s'apparient au cours de la méiose (la formation des gamètes) et échangent du matériel génétique. Le fragment spécifique du chromosome Y ne se recombine pas et se transmet en bloc (nommé **haplotype**) de père à fils.



3. LE CHROMOSOME Y se transmet de père à fils, de sorte que les généticiens l'utilisent pour retrouver des filiations patrilineaires. Les individus en bleu appartiennent à une même filiation patrilineaire.

père à fils jusqu'à ce qu'apparaisse une mutation. Ainsi, on obtient des filiations patrilineaires en remontant des dizaines de générations dans le passé. En revanche, les haplotypes du chromosome Y, inchangés, ne représentent la contribution génétique que d'une très petite partie des ancêtres d'un individu (on ne parcourt que la branche qui va au père du père du père... du père).

Les deux types de polymorphisme les plus utilisés dans les études de génétique évolutive sont les polymorphismes d'un seul nucléotide (SNP pour *single nucleotide polymorphism*) et les polymorphismes de microsatellites. Les SNP sont des sites de l'ADN où alternent deux bases (les molécules, nommées bases, que sont l'adénine A, la thymine T, la cytosine C et la guanine G sont les composants élémentaires de l'ADN) avec des fréquences supérieures à un pour cent dans les chromosomes d'une population. Ce polymorphisme est plus commun.

Une unité génétique

Les SNP mutent rarement : ils constituent donc des marqueurs moléculaires d'évolution lente ; chaque mutation correspond à un seul épisode évolutif.

Les polymorphismes d'un seul nucléotide sur le chromosome Y, faciles à analyser, ont été décrits pour la première fois en 1994. Puis, récemment, Peter Underhill et ses collègues de l'Université de Stanford ont montré comment étudier systématiquement le chromosome Y au moyen des SNP.

D'autre part, les microsatellites sont des répétitions de motifs qui comprennent une à six bases. La fréquence de mutation des microsatellites est quatre à cinq fois supérieure à celle des SNP : ces microsatellites sont donc des marqueurs d'évolution rapide. Ainsi, les SNP fournissent une information moléculaire sur les épisodes évolutifs les plus anciens, tandis que les microsatellites renseignent sur des événements récents.

En 1992, Jörg Epplen et ses collègues de l'Université de Munich ont décrit le premier microsatellite polymorphique du chromosome Y humain. Nommé *DYS19*, il est composé de répétitions du motif GATA. Nous avons démontré la présence de cinq allèles (des variantes d'un même microsatellite, qui diffèrent par le nombre de répétitions) dans la population brésilienne, avec de nombreuses petites variations (une seule base) d'un individu à un autre.

À la même époque, Roewer et ses collègues ont étudié le microsatellite *DYS19* sur un échantillon de 11 Indiens yanomamos, parmi lesquels 10 avaient le même allèle nommé A (13 répétitions du motif GATA). Or, chez les Européens, l'allèle B (14 répétitions GATA) domine, alors que, chez les Africains et les Asiatiques, les allèles C et D sont les plus fréquents. Ainsi, l'analyse du microsatellite *DYS19* révèle une homogénéité de la population amérindienne.

Parallèlement, nous avons étudié un polymorphisme « alphasid » du centromère du chromosome Y (la région resserrée du chromosome). Ce nouveau type de polymorphisme a été découvert à Oxford par l'un d'entre nous (F. Santos) et par Chris Tyler-Smith, à l'aide d'une technique d'amplification de gènes fondée sur l'emploi d'ADN polymérase (l'enzyme qui duplique l'ADN). Aujourd'hui, le nombre de polymorphismes alphasides décrits dépasse la cinquantaine.

À partir du microsatellite *DYS19* et des polymorphismes alphasides, nous avons mis en évidence 46 haplotypes distincts dans les populations de divers continents.

En collaboration avec des collègues d'Argentine, du Brésil et du Chili, nous avons établi les haplotypes de 73 Amérindiens originaires de douze tribus d'Amérique du Sud : les Mapuches, les Wichitas, les Chorotis, les Chulupis, les Tobas, les Huilliches, les Atacames, les Suruís, les Caritianas, les Quechuas, les Aucas et les Mayas. L'haplotype nommé IIA (une combinaison du type alphasid II et de l'allèle A du microsatellite *DYS19*), était présent dans 74 pour cent des échantillons. En éliminant les Mapuches, qui se sont beaucoup mêlés aux Européens, on obtient une fréquence de l'haplotype IIA qui atteint 91 pour cent. Nous avons alors conclu que l'haplotype IIA était un bon marqueur génétique des Amérindiens du Sud. Puis nous avons confirmé cette conclusion en étudiant 37 Amérindiens originaires de cinq tribus d'Amazonie et du centre du Brésil : les Waiwais, les Gaviãos, les Zorós, les Suruís et les Xavantes : là encore, l'haplotype IIA était prépondérant (87 pour cent).

Une hypothèse confirmée

Évidemment, nous avons alors cherché qu'elle était la fréquence de cet haplotype chez les Amérindiens d'Amérique du Nord. Avec Kenneth