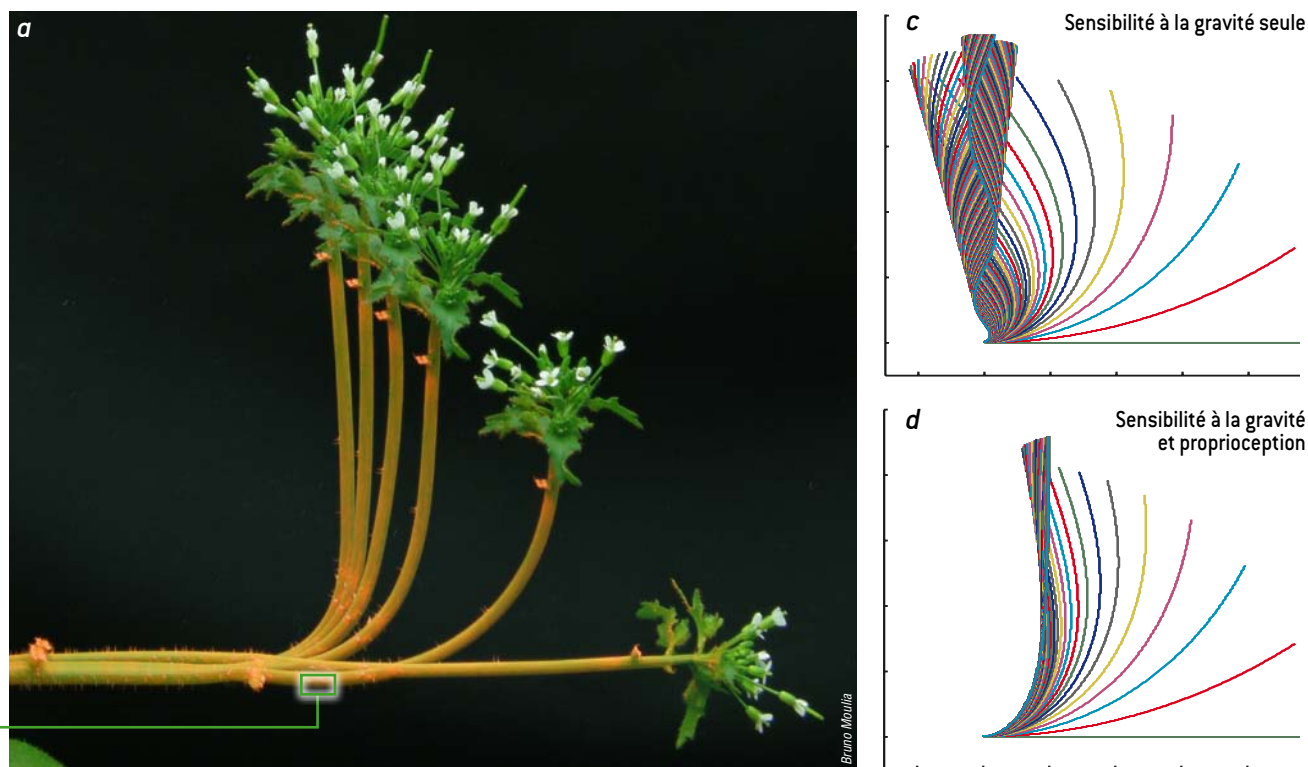




plantes à fleurs terrestres, qu'ils ont filmé et quantifié par ailleurs. Leur simulation a reproduit fidèlement le redressement de toutes les tiges, de la minuscule germination du blé aux troncs de peupliers. Ainsi, la coordination de millions de cellules motrices est possible par la combinaison d'une perception locale de l'inclinaison et de la déformation (la courbure) des cellules. C'est une nouvelle preuve que les plantes sont capables d'intégrer plusieurs signaux et ne se contentent pas d'une réponse réflexe déclenchée par un stimulus unique, comme on le pensait récemment encore.

Comment la courbure est-elle perçue et intégrée ? Pour le déterminer, B. Moullia et ses collègues ont réexaminé les travaux antérieurs où la modification de la courbure et la redistribution latérale de l'auxine étaient mesurées. Cette redistribution se révèle trop lente pour provoquer la modification de courbure observée. L'auxine ne semble donc pas intervenir dans la correction proprioceptive de la courbure, même si des travaux supplémentaires seront nécessaires pour le confirmer. Là encore, des canaux mécanosensibles pourraient être en cause.

Ainsi, les plantes réajustent leur posture en permanence, en réponse à plusieurs types de signaux, telles la lumière, la gravité et la déformation. L'ensemble des signaux perçus sont intégrés pour conduire à une coordination des mouvements. L'originalité de la sensitive n'est pas tant sa sensibilité ni sa motricité, mais sa rapidité, qui rend ses mouvements perceptibles. Les mécanismes de sensorimotricité se sont probablement développés lors de la colonisation de la terre ferme, permettant aux plantes de pousser vers le haut en l'absence d'un fluide porteur.

Des réseaux complexes

L'étude des mécanismes en jeu demande des analyses allant de l'échelle moléculaire à celle de la plante entière, et associant biologistes, mécaniciens et physiciens. On commence seulement à comprendre les réseaux de signalisation et de régulation impliqués dans la coordination des mouvements végétaux. En particulier, l'auxine semble jouer un rôle important pour traduire les perceptions en motricité et elle interagit avec d'autres signaux (courants ioniques, potentiels d'action, hormones).

Ces découvertes ont remis en cause nombre de nos repères épistémologiques et brouillé la frontière entre les plantes et les animaux. Certains chercheurs, comme Tony Trewavas, de l'Université d'Édimbourg, ou Francisek Baluska et Stephano Mancuso, de l'Université de Florence, envisagent ainsi un traitement complexe de l'information chez les végétaux, qui permettrait d'adapter le comportement moteur à la combinaison de signaux reçus de l'environnement. On parle de neurobiologie végétale, terme contesté, mais qui révèle le bouleversement de nos conceptions.

Soulignons pour terminer l'originalité et l'élégance des mécanismes développés par l'évolution végétale. La sensorimotricité des plantes est fondée sur un nombre restreint de structures. Les mêmes cellules assurent à la fois la fonction squelettique et la fonction motrice, et les « influx nerveux » sont transportés par la voie « vasculaire ». En outre, l'ensemble du corps de la plante est doué de sensorimotricité. De nombreuses zones d'ombre persistent dans les mécanismes en jeu. Nul doute que les recherches des années à venir seront passionnantes et permettront d'y voir un peu plus clair. ■

Les débuts européens de la production laitière

Mélanie Roffet-Salque et Richard Evershed

L'analyse biochimique de tessons de poterie a révélé comment la production laitière s'est mise en place dans l'Europe néolithique et a apporté la preuve que l'on fabriquait du fromage il y a au moins 7 500 ans.



Depuis des millénaires, partout où ils vont, les Européens élèvent des animaux dont ils consomment le lait. Il y a cinq siècles, ils posaient le pied en Amérique, et aujourd'hui, les États-Unis produisent 90 millions de tonnes de lait par an... tandis que l'Union européenne en produit 140 millions de tonnes, soit trois quarts de litre de lait par Européen et par jour. Cette immense collecte implique quelque 712 000 exploitations laitières comprenant de une à deux vaches, comme en Roumanie, à plus de 100, comme au Danemark. De fait, le lait est aujourd'hui la base d'une industrie européenne florissante, qui exporte une grande variété de produits laitiers dans le monde entier (voir l'encadré page 50).

Quand et comment a débuté la production laitière en Europe ? De récentes découvertes archéologiques prouvent que les paysans qui, il y a huit millénaires, ont commencé à remonter le couloir danubien ou à se répandre dans les Balkans, poussaient devant eux des ruminants pourvoyeurs de

L'ESSENTIEL

■ **L'exploitation laitière était déjà intense en Anatolie au VIII^e millénaire avant que les premiers éleveurs ne s'aventurent en Europe.**

■ **L'agropastoralisme et la production de lait qui l'accompagne se sont répandus en Europe en moins de 4 000 ans par deux voies : les côtes méditerranéennes et le couloir danubien.**

■ **Il y a huit millénaires, les paysans néolithiques européens fabriquaient déjà du fromage dans des faisselles.**

© PLS, d'après une photographie du site d'Aspöberg en Suède

viande et surtout de lait. Transformé en fromage, le lait représentait une précieuse réserve alimentaire, car facilement transportable et stockable.

Une invention fortuite : le fromage

Lorsque les paysans ont migré vers l'Europe en provenance d'Anatolie (Turquie), ils savaient donc probablement transformer le lait. Comment l'ont-ils appris ? On ne peut que faire des hypothèses. Le fromage aurait été inventé fortuitement au Moyen-Orient. Héritières des savoir-faire des chasseurs-cueilleurs du Paléolithique, les populations de cette région transportaient probablement leurs denrées alimentaires dans des outres confectionnées avec les peaux et les viscères, l'estomac notamment, des animaux tués. Or l'estomac des jeunes ruminants contient de la présure, un coagulant naturel. La présence de cette substance dans le lait entraîne la séparation du petit-lait (la fraction maigre et liquide) et du caillé (la

fraction grasse et solide, qui est la base du fromage). Nos ancêtres auraient ainsi découvert le fromage après avoir stocké du lait dans une outre d'estomac, à moins qu'ils n'aient simplement constaté la présence de lait caillé dans l'estomac d'un jeune ruminant tué pour sa viande. Quoi qu'il en soit, ils ont appris d'une façon ou d'une autre à imiter la digestion du veau en ajoutant de la présure à du lait tout juste trait.

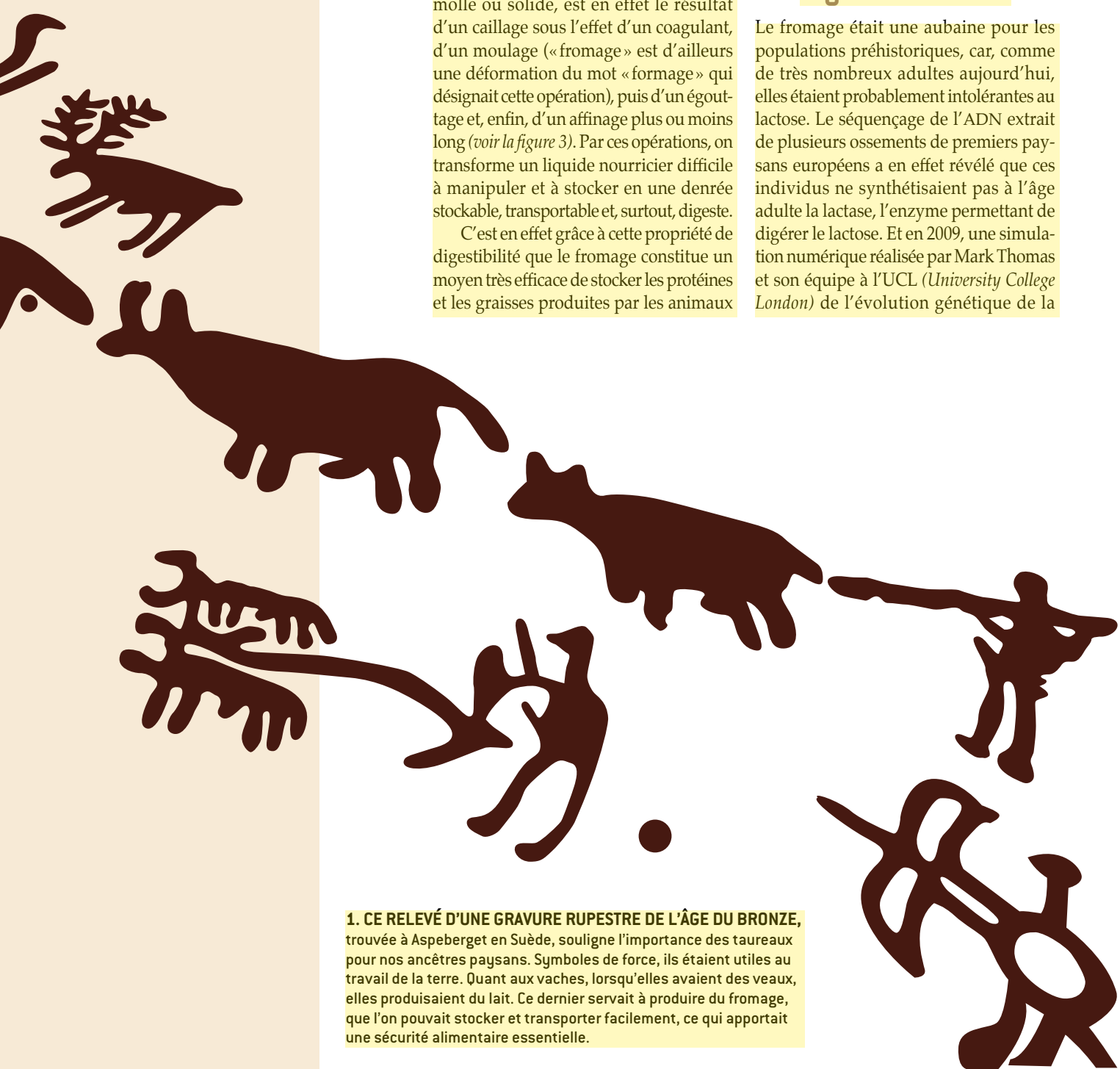
Le fromage, pâte plus ou moins liquide, molle ou solide, est en effet le résultat d'un caillage sous l'effet d'un coagulant, d'un moulage («fromage» est d'ailleurs une déformation du mot «fromage» qui désignait cette opération), puis d'un égouttage et, enfin, d'un affinage plus ou moins long (voir la figure 3). Par ces opérations, on transforme un liquide nourricier difficile à manipuler et à stocker en une denrée stockable, transportable et, surtout, digeste.

C'est en effet grâce à cette propriété de digestibilité que le fromage constitue un moyen très efficace de stocker les protéines et les graisses produites par les animaux

laitiers. La fabrication du fromage diminue la teneur en lactose, sucre qui reste dans le tube digestif, où sa digestion par des bactéries (fermentation) provoque chez 65 pour cent de la population adulte mondiale d'aujourd'hui ballonnements, crampes et diarrhées... Or le caillage, la séparation du caillé et l'égouttage évacuent la plus grande part du petit-lait, composante riche en lactose nommée aussi lactosérum.

Digérer le lactose

Le fromage était une aubaine pour les populations préhistoriques, car, comme de très nombreux adultes aujourd'hui, elles étaient probablement intolérantes au lactose. Le séquençage de l'ADN extrait de plusieurs ossements de premiers paysans européens a en effet révélé que ces individus ne synthétisaient pas à l'âge adulte la lactase, l'enzyme permettant de digérer le lactose. Et en 2009, une simulation numérique réalisée par Mark Thomas et son équipe à l'UCL (*University College London*) de l'évolution génétique de la



1. CE RELEVÉ D'UNE GRAVURE RUPESTRE DE L'ÂGE DU BRONZE, trouvée à Aspeberget en Suède, souligne l'importance des taureaux pour nos ancêtres paysans. Symboles de force, ils étaient utiles au travail de la terre. Quant aux vaches, lorsqu'elles avaient des veaux, elles produisaient du lait. Ce dernier servait à produire du fromage, que l'on pouvait stocker et transporter facilement, ce qui apportait une sécurité alimentaire essentielle.

L'industrie du lait est l'une des grandes richesses européennes. Ainsi, en 2011, le solde du commerce extérieur des produits alimentaires de l'Europe a été négatif de quelque 13 milliards d'euros, tandis qu'en même temps, ce solde pour les produits laitiers uniquement était positif de 7,5 milliards d'euros, après avoir augmenté de plus de 40 pour cent en cinq ans... Ainsi, dans la même année, les Européens ont exporté pour plus de 8,1 milliards d'euros de produits laitiers, alors qu'ils n'en importaient que 0,6 milliard. En 2011, le Vieux Continent a exporté 4,1 millions de tonnes de fromage, et la France 0,7 million de tonnes. Très divers, les produits laitiers, sous forme de yaourts, de desserts, de beurre, de crème, etc., valent à l'Europe dix des 25 plus grands transformateurs de lait au monde, dont cinq sont français, parmi lesquels *Danone* et *Lactalis* sont les 2^e et 3^e.



population de ces pasteurs a montré que la version du gène (l'allèle) associé à cette synthèse s'est beaucoup répandue dans la population européenne.

De fait, plus de 90 pour cent des adultes de l'Europe septentrionale d'aujourd'hui sont tolérants au lactose (ils synthétisent la lactase), et 50 pour cent en Europe méditerranéenne; pour comparaison, 90 pour cent des Chinois ou des Africains subsahariens ne le sont pas... Ainsi, il semble bien que depuis l'arrivée des premiers paysans en Europe, une sélection positive ait augmenté la fréquence de l'allèle responsable de la tolérance des adultes au lactose au sein de la population européenne.

Quand dans la préhistoire européenne a commencé l'exploitation laitière? Elle a vraisemblablement débuté avec l'élevage, donc au Néolithique. Ce «nouvel âge de la pierre» correspond au passage progressif d'une subsistance fondée sur la prédation (chasse, pêche, cueillette) à une subsistance fondée sur la production. Le Néolithique a démarré au Proche-Orient par une phase de cueillette-stockage des graminées sauvages et s'est poursuivi par la mise en culture et la domestication de certaines plantes, ainsi que, plus tard, par la domestication des ongulés.

Cette domestication s'est produite au Proche-Orient dès le VIII^e millénaire avant notre ère, plusieurs siècles après le début de l'agriculture. Les cheptels comprenaient des vaches, des moutons, des chèvres et des porcs.

Un pas décisif vers l'émergence d'une société agropastorale organisée a été l'apparition des céramiques, dès 7200 avant notre ère, dans des communautés du Proche-Orient déjà sédentarisées, vivant dans des habitations circulaires ou semi-circulaires.

En Europe, l'agropastoralisme sera introduit entre 6800 et 5000 avant notre ère, sauf dans les marges septentrionales du continent. Auparavant, il est longtemps resté confiné en Anatolie sud-occidentale et en Grèce. Puis, entre 6100 et 5800

couloir danubien. Vers 5500 avant notre ère, ils sont parvenus au Rhin, s'y sont arrêtés un moment, puis se sont répandus dans le Nord de la France, où ils ont fini par entrer en contact avec les groupes méditerranéens. On peut considérer que la néolithisation de l'Europe continentale s'est achevée vers 5000 avant notre ère. En France, elle a produit la première culture issue du contact entre les courants danubiens et méditerranéens de la néolithisation: la culture chasséenne (de 4200 à 3500 avant notre ère).

L'industrie laitière néolithique, une composante importante de ces sociétés, a d'abord été étudiée par l'archéozoologie, c'est-à-dire par l'étude systématique des ossements animaux retrouvés sur les sites archéologiques. En effet, pour disposer de lait de façon durable, il ne suffit pas de posséder un cheptel d'ongulés et d'y traire les femelles allaitantes. Il faut aussi abattre certaines bêtes (veaux après sevrage et vaches de réforme, très jeunes agneaux et chevreaux mâles, etc.) pour maintenir la production de lait, tout en gardant un troupeau viable. Ces stratégies d'abattage peuvent être reconstituées à partir de l'âge et éventuellement du sexe des animaux dont on retrouve les ossements.

Dans des travaux publiés en 2007, les archéozoologues Jean-Denis Vigne et Daniel Helmer, du CNRS, ont par exemple étudié pour le Proche-Orient et l'Europe méditerranéenne 36 «profils d'abattage» pour les moutons et les chèvres et 17 pour les bovins. Ils ont ainsi montré que l'exploita-

L'industrie laitière néolithique a d'abord été étudiée par l'archéozoologie.

avant notre ère, les paysans ont commencé à coloniser l'Europe par deux voies: le couloir danubien d'une part, les Balkans et la Méditerranée d'autre part. Entre 5800 et 5500 avant notre ère, des groupes agropastoraux progressent dans les Carpates et s'installent sur les côtes de la Méditerranée occidentale centrale. Par exemple, en Corse, les premiers paysans ont mis le pied sur cette île au début du VI^e millénaire avant notre ère.

Dans le même temps, des paysans pratiquant l'agropastoralisme remontaient le