



Arômes ou réactions ?

HERVÉ THIS

Les chimistes identifient deux façons de donner du goût aux aliments.

Les choses doivent avoir le goût de ce qu'elles sont, disait le gastronome Curnonsky dans la première moitié du siècle. L'aphorisme a été adopté par de nombreux cuisiniers qui parlent aujourd'hui de «vérité» des goûts, mais est-il pertinent ? Le rôle du cuisinier n'est-il pas la transformation des produits alimentaires en vue de la confection des mets ?

Si l'objectif est l'obtention de goûts spécifiques, comment communiquer ceux-ci aux plats ? Soit en ajoutant des arômes, soit en organisant des réactions chimiques, afin que les arômes soient formés *in situ*.

La technique la plus simple, mise en œuvre par l'industrie agro-alimentaire, est l'utilisation d'arômes, extraits naturels ou solutions de molécules de synthèse. Leur emploi en cuisine est simple (on verse quelques gouttes dans un plat), mais leur composition emploie des «nez», c'est-à-dire des artistes qui assemblent des solutions de diverses molécules aromatiques afin de reconstituer leur version de goûts connus : fraise, gingembre, romarin... Les cuisiniers hésitent à se laisser supplanter par ces «nez», d'autant que l'utilisation des produits naturels (du vrai thym et du vrai romarin dans une ratatouille, par exemple) donne souvent un résultat aromatiquement plus riche, et certainement plus varié, que l'utilisation d'un arôme industriel de thym ou de romarin (les «nez» n'assemblent généralement pas autant de molécules aromatiques qu'il en existe dans les produits naturels).

Doit-on pour autant écarter les arômes ? Ce serait perdre une occasion d'élargir la palette des goûts. Pourquoi ne renforcerait-on pas la note «verte» d'une huile d'olive avec de l'hexanal ? Pourquoi n'ajouterait-on pas du 1-octène-3-ol à un plat de viande afin de lui donner un arôme de champignons ou de sous-bois (attention au dosage : en concentration excessive, la même molécule sent un peu le mois) ? Pourquoi n'emploierait-on pas de la bêta ionone afin de donner aux desserts cet étonnant

arôme de violette que les fleurs ont bien du mal à libérer ?

D'autre part, pour donner de la saveur, et non de l'arôme, le cuisinier pourra employer le monoglutamate de sodium ou des molécules analogues, qui donnent la saveur nommée «umami», également apportée par les oignons ou par les tomates. Il pourra utiliser la réglisse ou l'acide glycyrrizique, qui communiquent une saveur spécifique, qui n'est ni salée, ni sucrée, ni acide, ni amère.

Les progrès culinaires seraient-ils limités à cet avenir de l'aromatisation, qui s'apparente à l'ajout de fines herbes ou d'épices ? Certainement pas : le cuisinier sait bien que la cuisson transforme le goût de ses produits. Le feu est son allié inséparable, et la chimie peut l'aider à l'utiliser.

Par exemple, nous avons proposé dans cette rubrique, il y a quelques mois, la confection de caramels de glucose, de fructose ou, plus généralement, d'autres sucres que le saccharose (le sucre de table). Une expérience que chacun peut réaliser montre que ces caramels sont peut-être déjà présents en cuisine.

L'expérience se fonde sur une remarque apparemment paradoxale de cuisiniers qui, pour préparer des sauces, mettent dans une casserole des échalotes hachées et du vin blanc, qu'ils font réduire «à sec». Or certains vins blancs ne laissent aucun résidu dans les casseroles. Pourquoi ? Parce qu'il leur manque du glucose, du glycérol et bien d'autres constituants. Conclusion pratique : si le vin blanc risque de s'évaporer excessivement, ajoutons-lui du glucose avant de réduire... et nous obtiendrons ce caramel de glucose qui contribue au goût des vins réduits à sec.

Cette réduction, même ainsi épaulée, reste étonnante : pourquoi évaporer l'essentiel des molécules aromatiques qui sont présentes dans les vins ? La question se pose également dans le cas des fonds, que les cuisiniers obtiennent en

concentrant des bouillons de viande par chauffage. Si la concentration élimine les molécules aromatiques, pourquoi les fonds sont-ils néanmoins savoureux et parfumés ?

Anthony Blake et François Benzi, de la Société *Firmenich*, ont comparé par chromatographie un bouillon réduit des trois quarts, puis ramené à son volume initial par ajout d'eau, au même bouillon non modifié : la concentration en certains composés aromatiques était effectivement réduite, mais d'autres composés étaient nés des réactions, favorisées par l'échauffement, entre les divers constituants du bouillon. Reste à identifier ces réactions afin de perfectionner – qui sait ? – la confection des fonds.

Les possibilités de la chimie sont innombrables : nous avons sur nos étagères de cuisine une foule de produits quasi purs : chlorure de sodium, saccharose, triglycérides (dans l'huile), éthanol, acide acétique, etc. ; et, dans nos bibliothèques, des traités de chimie décrivent parfaitement les réactions de ces molécules. Ne pourrions-nous faire aujourd'hui la synthèse ?

Ainsi les réactions dites de Maillard, entre les acides aminés et les sucres, engendrent les composés goûteux et bruns de la croûte du rôti, du pain, les arômes du café ou du chocolat... Or les chimistes savent que ces réactions diffèrent selon l'acidité du milieu réactionnel. Trempérons-nous un jour les suprêmes de volaille dans du vinaigre ou dans du bicarbonate de soude avant de les passer sous le grill, créant ainsi des goûts nouveaux ? Pour retrouver une acidité de dégustation appropriée, une fois la réaction effectuée, on neutraliserait le vinaigre au bicarbonate, ou inversement...

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science le 30 juin 1999, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt.



L'astronome astrologue

Un thème astral rédigé par Johannes Kepler a été retrouvé en Californie.

L'astronomie au XVI^e et au XVII^e siècle ne nourrissait pas son savant. L'astronome allemand Johannes Kepler (1571-1630) est connu pour ses trois lois sur le mouvement des planètes. Un manuscrit découvert récemment dans les archives de l'Université de Californie par Anthony Misch, astronome à l'Observatoire Lick, montre que Kepler s'adonnait également à l'astrologie afin d'arrondir ses fins de mois.

Grâce aux mesures précises effectuées par son maître l'astronome danois Tycho Brahe (1546-1601), Kepler a

découvert que les planètes décrivent des orbites elliptiques dont un des foyers est le Soleil ; que le rayon joignant le Soleil à une planète balaye une aire proportionnelle au temps ; et que le carré du temps de révolution d'une planète est proportionnel au cube du grand axe de l'ellipse parcourue. Ces lois qui l'ont fait passer à la postérité n'ont pas apporté la richesse à leur auteur.

La vie quotidienne de l'astronome royal à la cour du roi Rodolphe II de Habsbourg était difficile ; elle était pire quand régna son fils Mathias II qui appréciait moins les sciences. Pour percevoir son traitement, Kepler, devait obtenir un document officiel, puis parcourir des dizaines de kilomètres jusqu'à une administration de province où il recevait enfin son argent. Les retards s'accumulaient. C'est en allant chercher une grosse somme d'argent que le roi lui devait, que Kepler contracta, à Ratisbonne, une maladie qui lui fut fatale.

L'astronome composait occasionnellement des horoscopes pour bénéficier de revenus supplémentaires. C'est ainsi qu'il dressa la carte du ciel astral de la naissance d'un noble autrichien. Sur le recto du manuscrit (voir les figures), de 20 centimètres de longueur et 15 centimètres de largeur, est écrit d'une main encore inconnue : «*En l'an de grâce 1586, le 10 septembre, à 17 heures, Hans Hannibal Hütter von Hütterhofen vint au*

monde». Suit alors un graphe rectangulaire dessiné par Kepler, qui représente la position des planètes dans les 12 divisions du ciel nommées maisons, au moment de la naissance. Cette représentation rectangulaire reste fréquente en Inde du Nord ; les astrologues occidentaux lui préfèrent une carte du ciel circulaire. La traduction est aisée, car les signes et les symboles utilisés sont restés inchangés pour représenter les constellations du zodiaque.

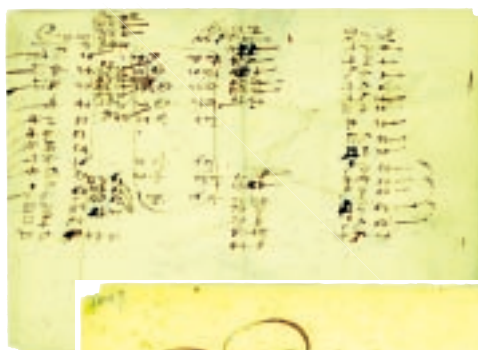
L'ascendant de Hans Hannibal Hütter von Hütterhofen, c'est-à-dire la constellation qui se levait au moment de sa naissance, était le Verseau.

En bas à droite, on lit : «*L'en-tête est d'une main étrangère, ce qui suit est écrit par Kepler. De la collection de manuscrits de Kepler à Pulkovo. Signé W. Struve, Pulkovo, 13 mai 1864*». Pulkovo est le nom d'un observatoire situé près de Saint Pétersbourg et fondé au début du XIX^e siècle par l'astronome russe Wilhelm von Struve (1793-1864). La date du commentaire et celle de la mort de Struve coïncident : le fils de Struve, dont les initiales sont les mêmes que celles de son père, et auquel il succéda à l'Observatoire de Pulkovo, est peut-être l'auteur de cette annotation. Les manuscrits de Kepler que mentionne Struve, rassemblés par ordre de Catherine II de Russie en 1773, sont aujourd'hui conservés à l'Académie de Saint-Pétersbourg.

Comment ce manuscrit, conservé en Russie, est-il arrivé en Californie ? Dans un article publié en 1896, le premier directeur de l'Observatoire Lick évoque la mise en vente du manuscrit en Allemagne. L'Observatoire Lick s'en est porté acquéreur.

À l'époque de Kepler, l'astrologie, bien que bannie par l'Église, qui y voyait une limitation de l'autorité divine, était très répandue dans les cours d'Europe, non pas à des fins prédictives et superstitieuses, mais à des fins politiques. Plutôt que de laisser les prédictions – bonnes ou mauvaises – se répandre anarchiquement parmi la population, les monarques préféraient contrôler ce moyen d'influer sur l'opinion publique. Kepler ne croyait pas à l'astrologie, mais il était persuadé que l'ordonnement de l'Univers avait un effet sur la vie quotidienne.

Les temps ont bien changé : la communauté des astrologues est aujourd'hui bien distincte de celle des astronomes. Est-ce parce que ces derniers sont payés plus régulièrement ?



Sur le recto du manuscrit de Kepler (en bas) figurent un en-tête d'une main inconnue, une carte du ciel dessinée par Kepler et un commentaire de l'astronome Wilhelm von Struve (en bas à droite). Le verso du manuscrit (en haut) porte les positions des planètes.

L'amour est aveugle

Même aveugles, les serpents tiges parviennent à se nourrir et à trouver leurs partenaires.

L'intégrité des organes sensoriels est-elle indispensable à la survie des animaux ? Les chamois ou les koalas meurent rapidement lorsqu'ils sont aveuglés au cours d'épizooties de kératoconjonctivite, et l'on imagine mal que des prédateurs aveugles, lions ou rapaces, puissent survivre. La perte de la vision (ou d'autres sens) peut être graduelle : c'est le cas pour les espèces qui ont progressivement évolué vers des habitats troglodytes (certains insectes ou poissons cavernicoles, par exemple), mais il est difficile de concevoir qu'une perte soudaine de la vision n'ait qu'un faible impact sur les organismes. Pourtant nous avons observé que des serpents aveugles peuvent survivre.

L'erpétologue américain Carl Gans a proposé, il y a 20 ans, une théorie qui complète la pensée classique et gradualiste des processus évolutifs : il existerait des situations écologiques dans lesquelles les organismes sont «suréquipés». Des individus plongés dans un environnement modifié auraient des capacités sensorielles superflues, lesquelles pourraient disparaître sans dommages pour l'individu.

Cette théorie est très difficile à vérifier dans les conditions naturelles : les animaux gravement mutilés (accidentellement aveuglés, sourds...) sont condamnés à court terme. Toutefois, les résultats que nous avons récemment obtenus sur les serpents apportent des éléments à la thèse du sur-

équipement. En 1997, en collaboration avec des collègues australiens, nous avons mis en place une étude de terrain sur les serpents tiges (*Notechis scutatus*) de l'île de Carnac, au large de Perth, en Australie occidentale. L'histoire de cette population, estimée à plus de 350 adultes, est assez particulière. Les serpents tiges de Carnac sont les descendants de 80 individus capturés dans la région de Perth, donc issus du continent, mais relâchés sur l'île, il y a 70 ans, par les autorités qui avaient confisqué les animaux d'un forain nommé Rocky Vane. Ce dernier organisait des spectacles avec les serpents, mais ceux-ci tuèrent sa femme (et l'un de ses collaborateurs quelques années avant), d'où la confiscation.

Dès les premières captures, nous avons été surpris d'observer la fréquence élevée des individus qui présentaient des cicatrices sur le dos et sur la tête : sur un total de 212 serpents tiges individuellement marqués, seuls 46 étaient intacts. Ce caractère inhabituel a été confirmé par l'observation de serpents tiges capturés à proximité de Perth et dans d'autres régions de l'Australie : tous étaient intacts. Parmi les serpents insulaires, 14 étaient borgnes et 16 autres totalement aveugles. Les cicatrices et les blessures, parfois encore sanguinolentes, attestent le caractère accidentel des lésions.

Nous avons identifié les causes des blessures en observant les comportements alimentaires. Les serpents tiges se nourrissent des poussins des mouettes argentées (*Larus novaehollandiae*) qui nichent en colonies sur Carnac. Les oiseaux défendent vigou-

reusement leur progéniture en infligeant des coups de bec aux serpents. Bien que les mouettes aient extrêmement peur des serpents (à raison), leurs comportements parentaux dominent et les incitent à prendre des risques élevés. Apparemment, les serpents tiges aveugles ne semblaient pas affectés par leur mutilation. Au

contraire, ils sont en moyenne plus grands que les autres. Une seconde mission, en 1998, nous a permis de recapter la plupart d'entre eux, montrant qu'ils avaient parfaitement survécu. Leur croissance en longueur, ainsi que leur prise de masse annuelles (des indicateurs directs de leur succès alimentaire) sont tout à fait normales. Ces résultats démontrent que les serpents tiges aveugles

BRÈVES

Le recul de la forêt

Proconsul, l'un des derniers ancêtres communs des grands singes supérieurs et de l'homme, vivait dans un milieu relativement sec. Erik Bestland, de l'Université de l'Idaho, et Evelyn Krull, de l'Université de l'Oregon, ont analysé les sols de 18 millions d'années de l'île de Rusinga, sur le lac Victoria, au Kenya contenant de nombreux fossiles de *Proconsul*. La zone, fréquemment dévastée par les éruptions du volcan Kisingiri tout proche, était couverte d'une forêt très ouverte. Contrairement à ce que laissent supposer les analyses antérieures de pollens, la forêt dense et humide n'occupait que des espaces restreints.



Alan Walker

Trous noirs créant une galaxie

En observant des radiosources puissantes, une équipe d'astronomes hollandais et américains a découvert la plus lointaine, donc la plus ancienne, galaxie connue ayant en son centre un trou noir : elle existait quand l'Univers n'avait guère plus d'un milliard d'années. On pensait qu'un trou noir massif se constituait par agglomération de la matière galactique ; or, en un temps si bref, un trou noir ne peut se former. Cette observation favoriserait un autre scénario de formation des galaxies : de petits trous noirs primordiaux coalesceraient en un noyau proto-galactique qui attirerait le gaz et la poussière environnante pour donner une galaxie analogue à celle qui a été découverte.

Les OGM et les papillons

La transformation génétique des organismes végétaux évite l'emploi de pesticides, mais elle affecte les papillons : John Losey et ses collègues de l'Université Cornell ont étudié le développement de larves de monarque (*Danaus plexippus*) sur des feuilles de maïs où ils avaient dispersé le pollen de maïs transgénique. Ce maïs contient un gène du bacille *Bacillus thuringiensis* qui fait produire à la plante une toxine repoussant les ravageurs. Sur les feuilles pollinisées, les larves du papillon se développent très lentement, et leur mortalité est supérieure à la normale.



Xavier Bonnet

Un nouvel anticoagulant

L'héparine est le plus utilisé des anticoagulants. Après chaque opération chirurgicale, elle est injectée au patient pour diminuer le risque de thrombose. Cette molécule, composée d'une trentaine de sucres, a toutefois des effets secondaires : elle provoque des hémorragies ou la formation de caillots dans les vaisseaux. Maurice Petitou et Jean-Marc Herbert ont mis au point une molécule analogue à l'héparine, mais composée de seulement 17 molécules de sucres. Apparemment dénuée d'effets secondaires, son activité antithrombotique est dix fois supérieure. Les premiers essais cliniques sont prévus en l'an 2000.

Extinction des feux!

Les enfants de moins de deux ans dont la chambre est éclairée pendant la nuit risqueraient plus que les autres de devenir myopes. C'est ce qu'établit une enquête menée auprès des parents de 479 enfants par des ophtalmologues de Philadelphie. Le risque semble d'autant plus grand que la lumière est plus intense : parmi les enfants étudiés, 48 pour cent de ceux qui avaient dormi avec une lumière artificielle étaient devenus myopes, contre seulement 31 pour cent de ceux qui n'avaient subi que la lumière d'une veilleuse, et 9 pour cent de ceux qui avaient dormi dans l'obscurité complète.

Faire la grosse voix

Pourquoi de nombreux oiseaux ont-ils une trachée si longue qu'elle se replie dans l'animal, entre la gorge et le poumon? Quel avantage procure-t-elle? L'ornithologue W. T. Fitch affirme que la trachée joue le rôle de caisse de résonance et que plus elle est longue, plus le son est grave. Un son caverneux est associé à un individu de grande taille : il effraye les prédateurs et aguche les futurs conjoints.



Libertins

Les archéologues, qui restaurent actuellement une fresque mythologique décorant le mur d'une chambre souterraine de la Maison dorée, somptueux palais construit par Néron à Rome, lui ont découvert un caractère libertin : les signatures de Sade et de Casanova. Sade, qui séjourna à Rome en 1772 se serait arrêté au même endroit que Casanova, qui y était, lui, en 1770. Attirés ou inspirés?

sont d'aussi bons chasseurs que leur congénères «intacts». Nous avons équipé d'émetteurs deux mâles aveugles : tous les deux ont réussi à trouver une femelle et à s'accoupler. La perte de la vue n'a pas eu de conséquence détectable sur ces prédateurs.

Dans leur milieu d'origine (le continent), les serpents tigres chassent à vue des amphibiens qui constituent l'essentiel de leur régime alimentaire. Sur Carnac, tout est différent : il n'y a pas le moindre point d'eau, et les amphibiens y sont totalement absents. Les serpents tigres ont su s'adapter à leur nouvel environnement et y survivent malgré la perte soudaine de vision.

Cette performance est liée à la combinaison d'un ensemble de facteurs. Les serpents sont des animaux très plastiques : ils sont capables de tolérer des perturbations physiologiques importantes (par exemple, des jeûnes très longs, plus d'un an parfois) et d'adopter des tailles ou des vitesses de croissance très variables, ce qui leur permet de s'adapter à leur environnement (par exemple, pour s'«ajuster» aux proies disponibles).

Sur Carnac, les proies – des milliers de poussins nichant au sol – sont faciles à capturer. De plus, la densité de serpents facilite les rencontres entre les sexes. Enfin, il n'y a pas de prédateurs, au moins pour les adultes. Dans ces conditions écologiques exceptionnelles, la vue est superflue : les serpents sont de fins limiers, qui utilisent à la fois leur odorat (narines, épithélium olfactif, bulbe olfactif), ainsi que leur système vomeronasal (langue, organe de Jacobson situé dans le palais, bulbe olfactif accessoire).

Ce second système sensoriel (absent chez les oiseaux et chez les mammifères) est extrêmement performant : le serpent compare simultanément les informations chimiques collectées par chaque brin de sa langue bifide, et il s'oriente ainsi avec précision. Les serpents tigres aveugles trouvent facilement leurs proies et leurs partenaires sexuels en suivant des pistes olfactives. Ils étaient bien suréquipés pour les nouvelles conditions de vie.

Curieusement, le nom du serpent tigre, *scutarius*, fait référence à une écaille en forme d'écusson qui est située sur le crâne. C'est la cible principale des becs des mouettes, et l'évolution produira peut-être des serpents munis d'un bouclier faisant office de casque.

Xavier BONNET, Conseil général des Deux-Sèvres, Don BRADSHAW, Université d'Australie occidentale, Richard SHINE, Université de Sydney.

Un très vieil atelier

Il y a 2,3 millions d'années, la taille de la pierre était déjà perfectionnée.

Contrairement au vieil adage selon lequel «l'outil fait l'homme», ce dernier n'en a peut-être pas été le premier fabricant : les archéologues ont mis au jour, depuis une vingtaine d'années, des outils taillés il y a 2,6 millions d'années, avant l'apparition probable de la première espèce du genre *Homo*. La découverte récente d'un «atelier de taille» de 2,34 millions d'années bouleverse notre perception de ces premiers tailleurs de pierre, qui ont fait preuve d'un étonnant savoir-faire.

La taille des roches par des groupes d'hominidés, dès la fin de l'ère tertiaire, semble cantonnée à la moitié Nord du Rift Est-africain. Une douzaine de sites y ont été découverts et fouillés. La formation de Hadar, dans le Nord de l'Éthiopie, a livré les plus anciens, datés de 2,6 à 2,5 millions d'années. Dans le bassin du Turkana, les sites de l'Omo, au Sud de l'Éthiopie, et ceux de la formation de Nachukui, au Kenya, sont un peu plus récents : 2,4 à 2,3 millions d'années.

C'est dans la formation de Nachukui que nous avons fouillé, avec nos collègues du Projet archéologique de l'Ouest Turkana, le site de Lokalele 2C, un «atelier de taille» d'environ 20 mètres carrés. L'échelle chronologique régionale, établie à partir de l'empilement des couches de sédiments lacustres et fluviaux et de cendres volcaniques, a permis de dater ce site de 2,34 millions d'années. À cette époque, le bassin du Turkana était traversé par un fleuve où se jetaient des rivières temporaires, issues d'un massif montagneux bordant le bassin, à l'Ouest. C'est dans une ancienne plaine d'inondation, à la confluence d'une de ces rivières et du fleuve, qu'un groupe d'hominidés s'est installé et a taillé la pierre pour en tirer des éclats coupants.

Tous les vestiges de cette activité ont été abandonnés sur place : des nucléus (blocs de matière première dont on tire des éclats), des éclats, des galets et de petits blocs bruts en attente d'être taillés, ainsi que des percuteurs. Environ 60 blocs de roches volcaniques diverses, probablement charriés par les cours d'eau voisins, ont été débités. Les blocs provenant de roches au grain le plus fin ont fourni de longues séries d'éclats (plus d'une trentaine dans certains cas), tandis que les blocs de moins bonne

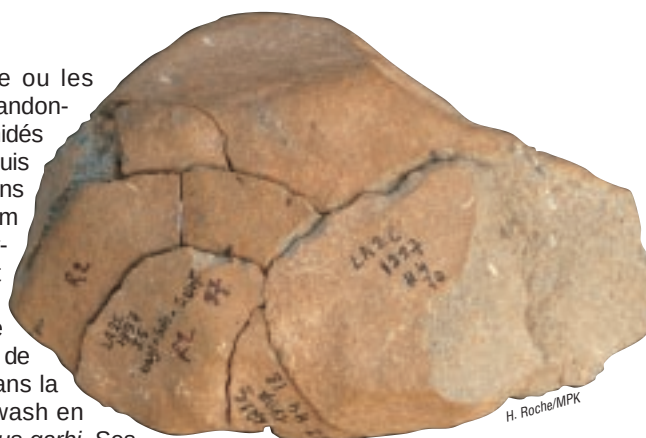
qualité n'ont servi qu'à la production de quelques éclats. Les tailleurs de pierre ont donc exploité de préférence les roches les plus «taillables» et fournissant les éclats aux tranchants les plus acérés.

Grâce à l'exceptionnelle conservation de cet ensemble, nous avons reconstitué la plupart des blocs taillés, dont certains totalement, en recollant les éléments qui en avaient été détachés. Ces remontages offrent la possibilité, unique pour un site aussi ancien, de retracer tout le processus qui va du bloc brut au nucléus abandonné. Le débitage a presque toujours été réalisé selon le même schéma opératoire : tous les éclats sont enlevés de la même face du nucléus, par percussion sur un replat naturel ou préparé. Cette technique exploite judicieusement la forme naturelle des blocs. Tout au long du débitage, des angles de frappe adéquats pour détacher des éclats sont conservés. Ce type de débitage, qui requiert une bonne précision motrice, indique une élaboration technique supérieure à celle que l'on connaissait dans les sites du même âge.

Qui a taillé si astucieusement ces outils ? Plusieurs espèces d'hominidés sont

candidates. Lorsque les ou les tailleurs de Lokalalei abandonnent leur outils, des hominidés taillent déjà la pierre depuis au moins 200 000 ans dans la savane Est-africaine. Tim White, de l'Université Harvard, et ses collègues ont récemment annoncé la découverte d'une nouvelle espèce d'australopithèque de 2,5 millions d'années dans la moyenne vallée de l'Awash en Éthiopie : *Australopithecus garhi*. Ses restes étaient accompagnés d'os de mammifères portant des traces de découpe, et d'autres os longs écrasés par percussion, peut-être pour en extraire la moelle. Bien qu'on n'ait pas retrouvé d'outils associés à cette espèce, *Australopithecus garhi* en a peut-être utilisés, voire fabriqués.

Par ailleurs, le plus ancien fossile connu d'un ancêtre direct de l'homme, *Homo habilis*, découvert aussi dans la vallée de l'Awash, daterait de 2,33 millions d'années. *Homo habilis* semble toutefois arriver plus tard dans le bassin du Turkana, tandis qu'une forme robuste d'australopithèque



Plusieurs éclats ont été détachés, il y a 2,3 millions d'années, de ce bloc de roche volcanique d'une dizaine de centimètres de long. La méthode de taille est étonnamment perfectionnée pour cette époque ancienne.

est présente dès 2,3 millions d'années. Pendant la longue période qui précède l'invention du biface acheuléen, il y a 1,6 millions d'années, on observe une diversité des compétences techniques. Plusieurs espèces ont-elles taillé la pierre ?

H. ROCHE et A. DELAGNES, CNRS, Préhistoire et technologie, Nanterre

Turbulence et transition de phase

La transition vers la turbulence ressemble parfois à la transition de phase du type liquide-gaz.

Les mouvements de fluide, que ce soit les écoulements de l'air dans l'atmosphère, autour du fuselage d'un avion, ou les écoulements des liquides dans les circuits de refroidissement, sont tantôt laminaires (calmes et réguliers), tantôt turbulents (désordonnés et aléatoires). Comment s'effectue le passage d'un régime à l'autre ? Dans un écoulement de cisaillement, nous avons mis en évidence la coexistence et l'intermittence entre un régime laminaire et un régime turbulent.

Les écoulements de fluide sont caractérisés par un nombre sans dimension, le nombre de Reynolds. Ce nombre est égal à la vitesse du fluide multipliée par la taille caractéristique de l'écoulement et divisée par la viscosité du fluide en mouvement. Dans un petit tube, où la vitesse d'un fluide très visqueux est faible, le nombre de Reynolds est petit, et l'écoulement est laminaire. Les deux autres paramètres étant constants, l'écoulement devient turbulent quand on augmente

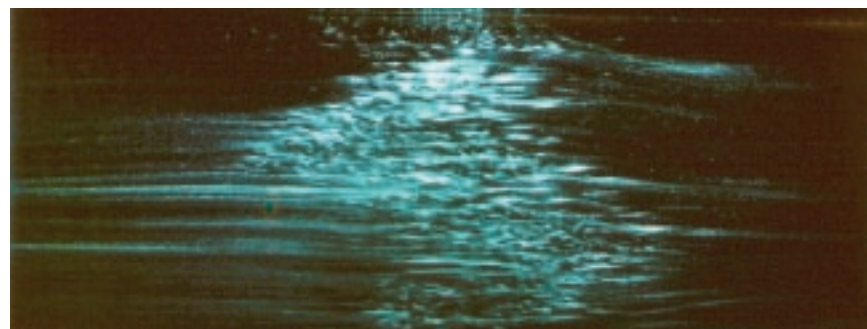
la vitesse du fluide. C'est la transition vers la turbulence.

Les transitions vers la turbulence sont de deux types : progressives ou brusques. Dans les transitions progressives, telles celles des jets ou des sillages, la turbulence apparaît dans tout l'écoulement, souvent sous la forme de tourbillons. À mesure que le nombre de Reynolds augmente, le nombre de tourbillons augmente et leur taille diminue : l'écoulement devient de plus en plus turbulent. L'analyse de ce type de transition, même si elle est délicate, reste possible.

En revanche, lorsque la transition est brusque, telle celle que l'on observe dans

les écoulements des canalisations, aucune analyse n'était jusqu'à présent possible. Dans un écoulement régulier, apparaissent soudainement de petites régions turbulentes, ou «spots», entourées d'un écoulement laminaire. Pour étudier cette transition, nous avons examiné un écoulement de cisaillement : dans une cuve remplie d'eau, une courroie en rotation entraîne l'eau dans deux sens opposés.

L'écoulement initial est laminaire. On le perturbe en injectant de l'eau de manière quasi instantanée par un petit trou. Selon le nombre de Reynolds et l'amplitude de la perturbation, trois cas



À l'aide d'un laser vert, on éclaire des paillettes argentées, mélangées à un liquide placé dans un écoulement de cisaillement. Dans ce type d'écoulement, la transition entre un état laminaire (régulier) et un état turbulent (désordonné) est caractérisée par l'apparition soudaine d'une région turbulente, entourée par des régions laminaires. Dans le spot turbulent de quelques centimètres visible sur cette photographie, l'orientation des paillettes fluctue et celles-ci renvoient la lumière dans la direction d'observation, alors que dans les régions laminaires, les paillettes restent dans le sens du courant et elles ne sont pas visibles.

Olivier Dauchot et Françoise Davaud