

Fraîches couleurs

Comment éviter le noircissement des fruits et des légumes.

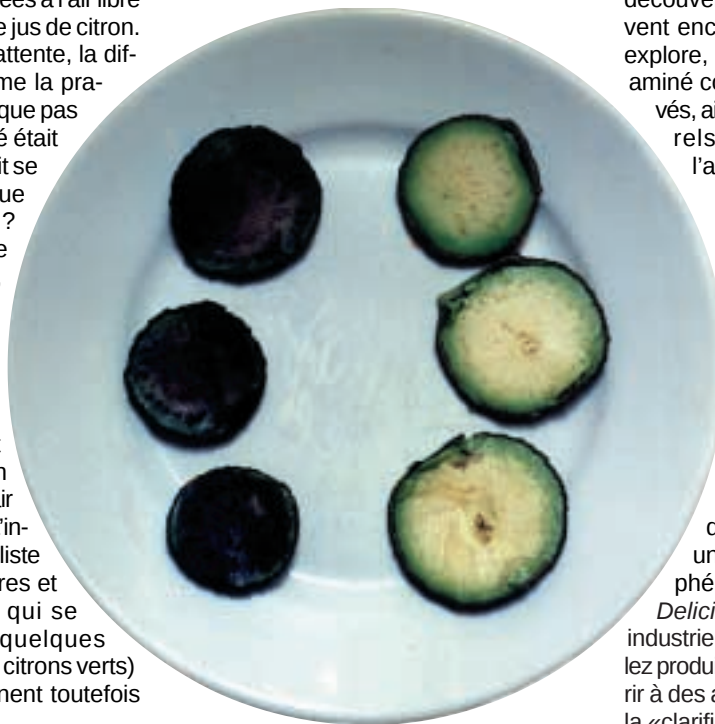
Le temps des légumes est revenu ; leur couleur tendre est gage de leur fraîcheur. Hélas à peine émincés, avocats, salsifis ou champignons noircissent. Comment éviter cette dégradation ? Comment servir des jus de pommes pressés maison qui ne s'assombrissent pas entre la cuisine et la table ? Cuisinières et cuisiniers préconisent le citron dont le jus, disent-ils, préviendrait l'apparition de couleurs associées à la surmaturation, à l'endommagement ou à la pourriture des végétaux. Leur recommandation est-elle fondée ?

Mettons-la à l'épreuve : comparons des rondelles d'avocat laissées à l'air libre à des rondelles arrosées de jus de citron. Après quelques heures d'attente, la différence, manifeste, confirme la pratique culinaire, mais n'explique pas l'effet protecteur. Si l'acidité était en cause, le vinaigre devrait se substituer au citron... ce que réfute l'expérience. Alors ? Le citron renferme de l'acide ascorbique, ou vitamine C, qui est un composé antioxydant. Autrement dit, de l'acide ascorbique pur (on en trouve en pharmacie) devrait être plus efficace que le jus de citron : c'est bien le cas. En outre, on observe que l'oxygène de l'air participe au brunissement. L'industrie peut-elle allonger la liste empirique que les cuisinières et cuisiniers ont établie et qui se résume au jus de quelques agrumes (citrons, oranges, citrons verts) et aux saumures, qui donnent toutefois un goût salé ?

Le brunissement des végétaux est dû à des enzymes nommées polyphénoloxydases, qui modifient les molécules de polyphénol (un centre benzénique, à six atomes de carbone disposés aux sommets d'un hexagone, auquel sont liés plusieurs groupes hydroxyle OH) des fruits et des légumes. En présence d'oxygène, ces enzymes remplacent les groupes hydroxyle par des atomes d'oxygène, puis les quinones ainsi formées réagissent, engendrant des pigments bruns de la même famille que la mélanine (qui se forme quand nous bronçons). Ce brunissement enzymatique, qui défend appa-

remment les plantes contre les ravageurs, fait rage dans la plupart des fruits, des feuilles et dans de nombreux champignons ; il ne sévit pas dans les végétaux intacts, parce que les enzymes et les polyphénols sont séparés par des membranes.

Divers traitements physiques évitent le brunissement des légumes et fruits qui sont émincés, ce qui est fréquemment leur lot, en cuisine : la congélation ou la réfrigération ralentissent l'action des enzymes, mais ne la bloquent pas ; la pasteurisation est plus radicale, car elle dégrade les enzymes, mais elle ne s'applique pas à tous les fruits et légumes, car



Laissés à l'air libre, des morceaux d'avocat

elle dégrade souvent la texture ou la couleur des végétaux. Enfin le conditionnement en l'absence d'oxygène évite l'apparition des composés bruns ; l'industrie procède parfois sous atmosphère d'azote ou de dioxyde de carbone.

Revenons à la chimie : n'existe-t-il pas des inhibiteurs qui, en proportion infime, préviendraient le brunissement enzymatique ? Dix micromoles par litre d'acide salicylhydroxamique inhibent complète-

ment les polyphénoloxydases des pommes ou des pommes de terre, par exemple ; et la bentonite, une argile qui absorbe les protéines, réduit l'activité polyphénoloxydase des vins ; la gélatine, le charbon actif ou la polyvinylpolypyrrolidone extraient aussi des phénols solubles des vins et des bières, mais ils modifient les propriétés des produits.

Employés dans l'industrie agro-alimentaire, les sulfites évitent le brunissement en se liant aux quinones et en formant des sulfoquinones incolores : le dioxyde de soufre et le métabisulfite de sodium sont un outil courant des producteurs de vin, par exemple, mais ils ont des effets secondaires qui préoccupent les autorités sanitaires : aux bénignes migraines causées par les vins excessivement sulfités s'ajoutent des crises d'asthme ou d'urticaire, des nausées, voire des chocs anaphylactiques. La recherche d'autres inhibiteurs aussi efficaces et sans inconvénient s'impose.

De nombreux inhibiteurs ont été découverts ou synthétisés, mais ils doivent encore prouver leur innocuité. On explore, par exemple, la cystéine, acide aminé contenant du soufre, et ses dérivés, ainsi que bien des composés naturels (dans le miel, les figues ou l'ananas) ou de synthèse.

En France, Jacques Nicolas, au CNAM, et ses collègues de la Station INRA de Montfavet explorent une voie nouvelle : l'utilisation de cyclodextrines, des molécules en forme d'abât-jour qui évitent le brunissement en extrayant les polyphénols dans leur cavité centrale. J. Nicolas et ses collègues ont d'abord analysé l'effet anti-brunissement de ces molécules dans des solutions modèles contenant un ou deux phénols et de la polyphénoloxydase de la pomme *Red Delicious*. En attendant l'application industrielle de leurs résultats, si vous voulez produire un jus de pommes sans recourir à des atmosphères inertes, recourez à la « clarification », qui consiste à laisser le brunissement se produire ; comme les polyphénoloxydases des pommes se trouvent dans le chloroplaste des cellules, elles restent dans les débris solides, qui noircissent, s'agrègent et sédimentent. Laissez alors reposer le jus avant de decanter le liquide ambré et clair.

Hervé THIS

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science, le 29 mai 1996, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt.

Une armée de métier adaptable

Les fourmis ajustent à la menace les effectifs des ouvrières combattantes.

Comme l'abeille, la fourmi est un insecte social, c'est-à-dire qu'elle vit en colonies, réparties en castes spécialisées. Cette division du travail accroît l'efficacité du groupe. Dans les sociétés de fourmis, les rôles sont distribués entre les reines fertiles, qui assurent la reproduction, et les ouvrières stériles, qui sont au service de la communauté.

Luc Passera et ses collègues du Laboratoire d'éthologie de l'Université Paul Sabatier, à Toulouse, et Laurent Keller et son équipe de l'Institut d'écologie de l'Université de Lausanne ont montré que les effectifs des castes ne sont pas figés : ainsi le nombre des «soldats» augmente quand les colonies de fourmis du genre *Pheidole* se sentent menacées.

Chez ces fourmis, très répandues dans les régions tempérées et notamment dans le midi de la France, les ouvrières adultes sont de deux types : les ouvrières minores de petite taille, et les ouvrières majors de grande taille, les soldats. Les ouvrières majors se différencient des ouvrières minores par la taille de leur tête, qui est armée de mandibules puissantes. Elles ont pour rôle de défendre la colonie.

Dans l'espèce *Pheidole pallidula*, un mécanisme de régulation sociale maintient quasi constantes les proportions de

soldats et d'ouvrières minores : les soldats représentent entre 5 et 30 pour cent de la colonie. Ces proportions semblent le meilleur compromis, assurant à la fois une protection minimale contre un prédateur potentiel et la croissance de la population, puisque les ouvrières minores assurent diverses activités sociales, telles que la «puériculture», le forage des galeries, la construction des nids ou encore la récolte de la nourriture.

Or, L. Passera et L. Keller ont été les premiers à montrer que ces proportions ne sont pas immuables et que les fourmis *Pheidole pallidula*, mises en alerte par toute menace d'agression, décrètent un état d'urgence qui se traduit par une augmentation du nombre de soldats.

Pour le montrer, ces biologistes ont étudié deux colonies de *Pheidole pallidula* étrangères, c'est-à-dire prélevées sur deux fourmilières différentes : ils les ont désarmées en éliminant tous les soldats. Les deux colonies ont été placées dans un couloir de circulation, de part et d'autre d'une grille qui interdisait toute intrusion ou toute attaque directe. Les fourmis ne pouvaient se toucher qu'avec leurs antennes ou leurs pattes. Se sentant menacées par les étrangères, elles réagirent en élevant deux fois plus de soldats que des fourmis témoins élevées sans menace. Comment cette

mobilisation se produit-elle ? Les ouvrières, qu'elles soient des soldats majors ou des fourmis minores passent toutes par les mêmes stades larvaires et la différenciation n'a lieu qu'au cours du dernier stade qui précède la nymphose (la larve se transforme en nymphe, laquelle donne l'insecte). Ainsi, les fourmis ne deviennent soldats ou simples ouvrières qu'au dernier moment et c'est la taille de la larve qui est le facteur déterminant. Pour que ces larves atteignent la taille qui fera de l'insecte à naître un soldat, les fourmis les suralimentent et leur administrent un régime riche en protéines.

UNE STRATÉGIE COÛTEUSE

Cette stratégie de défense a plusieurs conséquences pour la colonie : la production de soldats est lente, car il faut environ sept semaines pour les fabriquer, et elle est coûteuse, puisqu'il faut nourrir davantage les larves. Enfin, comme davantage de larves deviennent des soldats, le nombre d'ouvrières minores diminue : la colonie se défend bien, mais elle se dépeuple.

Une autre attitude consisterait à redistribuer les tâches entre les fourmis déjà actives dans la colonie, mais les tâches sont très spécifiques et le comportement des fourmis peu flexible. Toutefois, si, en temps de paix, les soldats sont presque inactifs et représentent une sorte de luxe, ils sont beaucoup plus efficaces que les minores en temps de guerre. En raison de leur taille, ils assurent une défense passive du nid en bloquant l'entrée ; en cas d'intrusion, ils portent, avec leurs mandibules, des morsures fatales aux étrangères immobilisées par plusieurs ouvrières minores. Ainsi les fourmis s'imposent un «effort de guerre» pour adapter au mieux leurs caractères physiques à la tâche.

Reste à découvrir le signal qui déclenche la production de soldats : il s'agirait d'une phéromone, une molécule-signal transmise par contact (quand on supprime toute possibilité de contact entre les deux espèces, les fourmis ne se sentent pas menacées). Contrairement aux fourmis d'une même fourmilière, celles de deux fourmilières différentes émettent des hormones différentes (même si elles sont de la même espèce). Les fourmis qui surveillent l'entrée de la colonie détecteraient cette molécule par contact avec l'intrus, transmettraient l'information au reste de la colonie, qui déciderait de suralimenter les larves pour produire des soldats au lieu d'ouvrières.

Marie-Thérèse LANDOUSY



Fourmis majors soldats entourées d'ouvrières minores.

Sont-ils bien morts ?

Une méthode de vérification de la mort au XVIII^e siècle.

Les croque-morts n'ont jamais vérifié avec les dents la réalité des décès : le verbe croquer a ici le sens argotique de «faire disparaître». Au début du XVIII^e siècle, lorsque cette expression est apparue, la vérification de la mort était toutefois un acte important : la peur d'être enterré vivant était une phobie. La fouille archéologique d'un charnier de la grande peste, qui sévit à Marseille de 1720 à 1722, nous a permis, avec Georges Léonetti, du service de médecine légale de la Faculté de médecine de Marseille, et Olivier Dutour, du Laboratoire d'anthropologie biologique, de montrer qu'une méthode de vérification de la mort décrite dans des anciens traités médicaux, l'introduction d'une épingle dans le gros orteil, était vraiment utilisée.

L'angoisse collective de l'inhumation prématurée est

De nombreuses épreuves de vérification sont décrites en détail : pour les «épreuves chirurgicales», relatées par Buffon, on utilise des instruments tranchants, piquants ou brûlants, que l'on applique sur la face interne des mains, des bras, des omoplates, sous la plante des pieds ou sous les ongles des orteils. Les ouvrages médicaux recommandent une attention particulière en temps de peste, où le risque de fausse mort était maximal : la nécessité d'isoler au plus vite les cadavres provoquait de nombreuses infrac-



est celle d'une femme d'âge mûr. Une épingle avait été introduite en dehors du tendon de l'extenseur du gros orteil droit, à proximité de la phalange, et recourbée sur le dos de la phalange, à la moitié de son trajet.

Ces épingles d'une longueur de 25



L'épingle de 25 millimètres encore en place (à droite) avait été introduite dans le gros orteil du cadavre. Ce procédé de vérification de la mort, que l'on ne connaissait que par des traités médicaux, a été découvert sur deux corps inhumés dans un charnier de la peste qui a dévasté Marseille entre 1720 et 1722.

tions aux règles régissant les enterrements ordinaires et les défunts étaient inhumés dans les heures qui suivaient le décès.

DES ÉPINGLES DANS LES SÉPULTURES

Sur deux corps inhumés côte à côte dans un charnier de la peste de Marseille, nous avons découvert, au niveau de l'extrémité du gros orteil, une épingle à tête en bronze. Le premier corps est celui d'une jeune femme, dont l'inhumation a suivi de peu le décès : sa position indique que le cadavre n'était pas encore rigide. Une épingle avait été introduite sous l'ongle du gros orteil gauche, tangentiellement à la dernière phalange. La seconde sépulture

millimètres correspondent à un modèle utilisé communément pour relier des feuillets dans les liasses d'archives de Marseille du XVIII^e siècle. Dans les deux cas, leur position prouve qu'elles ont été plantées volontairement sur le cadavre. Leur découverte met en évidence, pour la première fois grâce à l'anthropologie de terrain, une pratique de vérification de la mort telle qu'elle est décrite par les médecins du XVIII^e siècle. Pour l'une des deux femmes dont le décès avait ainsi été certifié, les fossoyeurs avaient toutefois peut-être encore un doute : ils ont déposé sur ses membre inférieurs un bloc de pierre de 50 kilogrammes.

Michel SIGNOLI

Laboratoire d'anthropologie biologique, Faculté de médecine de Marseille

Un gaz d'humains

Les foules humaines sont simulées en considérant les hommes comme des particules en interaction.

Quel est le point commun entre le gonflement d'un «airbag», la pollution atmosphérique, la visite d'une exposition et l'évacuation d'un stade de football? Tous ces événements sont simulés par une méthode qui utilise des particules. La Société ArSciMed a mis au point un logiciel qui simule ces phénomènes.

Si les liquides et les gaz sont constitués d'un ensemble d'éléments (atomes, molécules), on ne traite pas leur dynamique en considérant ces éléments. Les simulations de ces systèmes sont généralement macroscopiques : elles n'utilisent pas les propriétés de leurs composants, mais ses caractéristiques fluides. Malheureusement, ces études macroscopiques décrivent mal des situations turbulentes : l'approche microscopique est alors mieux adaptée.

Le principe de la simulation consiste à considérer des ensembles d'éléments auxquels on associe des attributs qui déterminent leur évolution. À la différence des molécules de gaz, les éléments d'une foule humaine possèdent une faculté de décision. Aussi modélise-t-on un flux de piétons en considérant chaque individu comme une particule à laquelle on prescrit des règles de comportement.

L'accélération d'une particule est déterminée par la somme des forces d'interaction entre cette particule et toutes les autres, ajoutée à des forces extérieures. On associe à cet aspect de mécanique classique une loi non déterministe : entre deux pas de temps, les règles d'évolution des trajectoires sont de nature probabiliste. Les transitions entre deux trajectoires peuvent être globales (indépendantes des positions des particules) ou associées à la densité locale des particules.

Dans les réunions publiques, les forces de cohésion entre individus varient entre la faible cohésion des supporters d'une équipe spor-

tive, et celle, importante, d'une famille. Des classes d'individus sont ainsi définies en fonction de leurs comportements, ce qui permet de prendre en compte des foules importantes.

LA SIMULATION DU COMPORTEMENT HUMAIN

Deux types de comportement humain sont traités : les réflexes (c'est-à-dire les réactions immédiates) et les décisions qui résultent d'une analyse de la situation. Le comportement réflexe est un phénomène local dépendant de la densité. Aux faibles densités, le changement de direction entre deux individus est activé à une distance donnée et les collisions sont exceptionnelles. À mesure que la densité croît, la fréquence des collisions augmente et elles peuvent faire interagir plus de deux individus.

La modélisation des décisions humaines dépend d'un ensemble de paramètres comme la destination, la

densité, la durée d'arrêt en un lieu donné, la présence d'obstacles et le but des personnes. Ces paramètres sont représentés par un «champ de décision». Les individus, auxquels on associe un «état de charge», évoluent dans ce champ de décision comme une particule chargée évoluerait dans un champ électromagnétique.

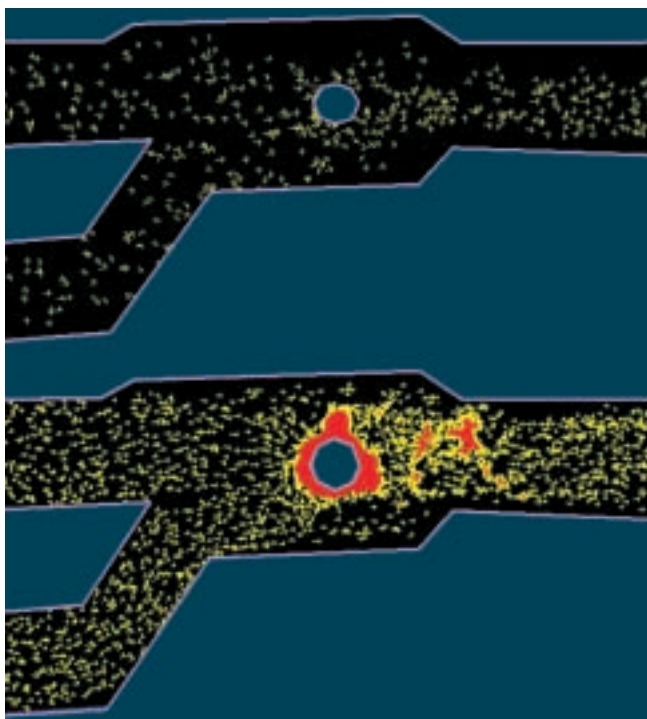
Cette modélisation a été appliquée dans de nombreuses situations allant du simple lèche-vitrines dans un centre commercial à la situation critique de l'évacuation d'une foule nombreuse. On étalonne les paramètres de comportement en appliquant le modèle à des situations connues.

Dans le contexte de l'évacuation de grands bâtiments, les durées d'évacuation sont souvent plus longues que celles obtenues par une approche du type fluide, ce qui s'explique par la complexité du système qui engendre des événements chaotiques. Dans certaines simulations d'évacuations, on aboutit à des situations critiques, comme la formation d'ondes de choc et de pics de densité, alors que l'approche globale conclut à une évacuation fluide.

À l'Université de Warwick, Keith Still simule des foules différemment. En notant, qu'au-dessus d'une densité critique, les foules s'auto-organisent en fonction de la configuration des lieux et en utilisant des lois simples d'évite-

ment des obstacles, il simule des foules importantes (jusqu'à 250 000 individus). Il remarqua que les motifs de foule obtenus possédaient une structure fractale (le même motif se répétait à toutes les échelles), ouvrant des perspectives sur la compréhension des mouvements de foules.

De nombreuses applications de ces simulations sont envisageables comme la conception de gares, d'expositions et de stades. Elles peuvent également servir d'outil pour l'exploitation des infrastructures existantes. Les performances actuelles (100 000 personnes simulées en temps réel) permettent l'aide à la décision lors de grands rassemblements de population : un centre de commande pourvu d'un ordinateur puissant traite des données reçues en direct (par caméra ou image aérienne) pour évaluer les différentes solutions à une catastrophe en cours. □



Simulation d'un flot humain dans un hall d'exposition. Les individus arrivent par le côté gauche, rencontrent un pôle d'intérêt au centre, puis s'en vont vers la droite. En haut, le débit est faible et le déplacement est régulier. En bas, le débit humain est tel que des pics de densité se forment (en rouge) autour du pôle d'intérêt et à l'approche du couloir de sortie, provoquant encombrements et bousculades.

Le parfum sur la peau

On sait pourquoi l'odeur d'un parfum change selon la personne qui le porte.

La perception des odeurs et la performance des parfums sur la peau varient considérablement selon les individus. Cette variabilité préoccupe les industriels de la parfumerie : leurs clients se plaignent que les parfums n'aient pas les effets attendus. Pourquoi un même parfum sent-il différemment selon la peau où il a été déposé ? Peut-on quantifier la persistance et la diffusivité des parfums ? Nous avons mesuré les performances individuelles des matières premières présentes dans une composition parfumée et étudié le comportement des ingrédients du parfum sur la peau.

Une personne qui se parfume ne souhaite pas que le parfum onéreux qu'elle vient d'acheter perde son impact au moment où elle arrive au rendez-vous qu'elle a préparé en se parfumant ! Toutefois les parfumeurs savent que la peau est un substrat complexe, qui diffère selon les individus. Elle est composée de deux couches : le derme

donne à la peau son apparence et son élasticité, protégeant l'organisme contre les dommages physiques ; l'épiderme, composé de quatre sous-couches, protège contre les substances nocives. La peau contient également des glandes sébacées, qui produisent un liquide gras. Au total, sa porosité, son acidité et sa teneur en lipides varient. Ces variations expliquent qu'un parfum qui sent merveilleusement bon sur une personne soit moins agréable sur une autre : les molécules odorantes sont souvent solubles dans les lipides, et elles réagissent de diverses façons avec les acides de la peau.

Afin d'explorer ces différences, nous avons étudié la peau de cinq hommes et sept femmes à divers moments après l'application d'une quantité contrôlée d'un parfum déposé sur les avant-bras (la peau avait été lavée, séchée, nettoyée...). Le parfum utilisé était composé de huit matières premières dans une solution aqueuse à dix pour cent

d'alcool : le cyclohexal, l'héliotropine, le linalol, la vanilline, l'isoraldéine 95, la pêche pure, le radjanol et l'hédione. On prélevait de l'air à un centimètre et à cinquante centimètres de la peau en l'aspirant à travers un filtre absorbant, puis en désorbant le parfum et en séparant les constituants désorbés par chromatographie.

Pour chaque sujet, nous avons mesuré la composition lipidique de la peau, déterminé le relief de la peau en analysant des répliques d'une parcelle de l'avant-bras (la rugosité résulte de la taille des pores), mesuré le taux d'évaporation de l'eau, ainsi que l'acidité.

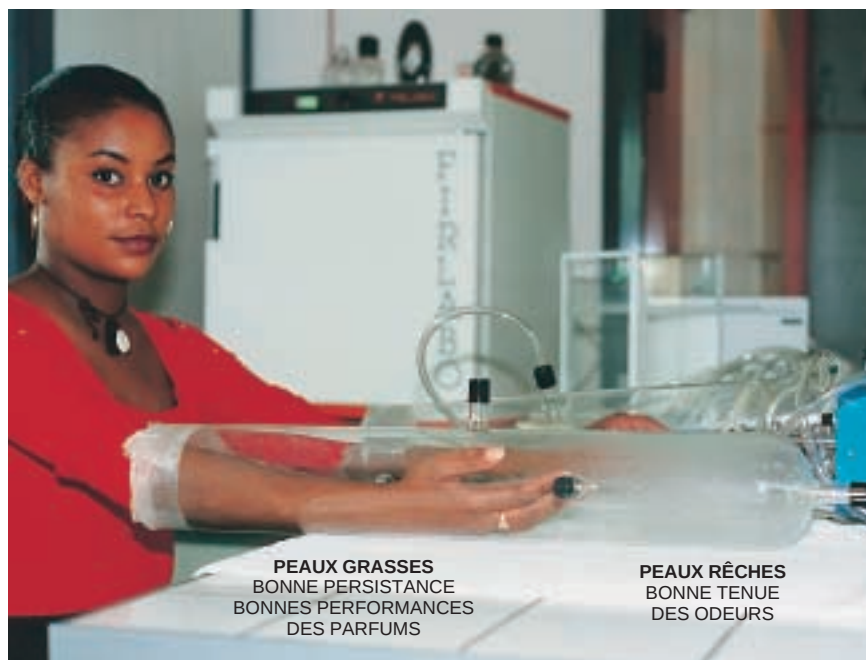
DES PEaux ET DES PARFUMS

Sur toutes les peaux, nous avons d'abord observé de fortes variations de la «substantivité» (la persistance sur la peau) et de la diffusivité. Ainsi le linalol a une faible substantivité, mais une forte diffusivité, tandis que l'héliotropine a une substantivité moyenne et une faible diffusivité. Les caractéristiques que nous avons mesurées rejoignent les observations des parfumeurs.

Puis nous avons évalué les différences de performances du mélange en fonction des divers types de peaux. Avec l'aide de George Klecak et de Thierry Weber, de la Société *Hoffmann-La Roche*, nous avons établi que la performance d'un parfum ne dépend pas de l'acidité de la peau qui le reçoit. En revanche, à l'exception du linalol, les matières premières appliquées sur deux peaux qui ne diffèrent que par la rugosité ont des comportements distincts : les peaux les plus rêches les libèrent beaucoup plus dans l'air. Dans le cas de la vanilline, la différence est d'un facteur trois. Enfin toutes les matières premières se volatilisent plus pour les personnes ayant une peau grasse, même si cette différence s'atténue avec le temps.

Au total, l'analyse par espace de tête semble une bonne méthode de mesure de la persistance des parfums sur la peau ; elle permet de trouver des réponses à l'une des plus vieilles questions de l'industrie de la parfumerie. Les analyses ne donnent pas de moyen immédiat de faire tenir de la même façon les parfums sur toutes les peaux, mais elles permettront d'ajuster les compositions afin de tenir compte des phénomènes d'évaporation, variables selon les individus.

Ahmet BAYDAR, Emmanuelle COSTANTINO et Marie TONNEAU
Société *Givaudan-Roure*



Appareil de mesure des propriétés des parfums selon la peau des personnes qui les appliquent : l'air parfumé est prélevé près du bras et à distance de lui, à l'extrémité du tube. En surimpression, on a indiqué quelques résultats des analyses effectuées.

Production en série

Le débitage de lames de pierre a 250 000 ans.

La découverte, au Kenya, de lames en roches volcaniques taillées il y a plus de 240 000 ans confirme l'ancienneté du débitage en lames des roches dures. Les méthodes utilisées pour produire en série de longs bords tranchants, particulièrement réguliers et acérés, témoignent à la fois de l'inventivité et des capacités d'abstraction des ancêtres de l'homme moderne.

En Afrique orientale, de rares concentrations d'objets de pierre, portant des traces caractéristiques d'une taille intentionnelle, témoignent que nos ancêtres ont franchi le seuil de l'hominisation il y a environ 2,7 millions d'années. Ainsi, tout au long de la préhistoire, des vestiges minéraux nous révèlent-ils des aspects du fonctionnement mental de ceux qui les ont produits. À partir de l'examen des faces supérieures des éclats de taille et des surfaces de débitage des blocs dont ils proviennent, nous reconstituons des enchaînements de gestes techniques et nous retrouvons la logique de leur organisation.

L'image mentale qu'a l'artisan du nucléus à lames qu'il projette de réaliser se concrétise progressivement au cours d'une phase préparatoire complexe. Ainsi sont mises en place les caractéristiques géométriques et mécaniques qui permettront la production d'une série continue d'éclats allongés et de forme stéréotypée. Ces caractéristiques sont régénérées à chaque fois qu'une lame est détachée du nucléus. Toute erreur d'appréciation et tout défaut de la matière première peuvent conduire à un accident de taille : la poursuite du débitage nécessite la remise en forme du nucléus. La présence de lames est toujours l'indicateur d'un niveau de compétence technique élevé.

En 1969, Margaret Leakey avait signalé des lames dans un niveau archéologique de la formation de Kapthurin, sur les rives occidentales du lac Baringo, au Kenya. Depuis 1993, des prospections dirigées par Sally Mc Brearty, de l'Université du Connecticut, ont localisé de nouveaux sites et ont confirmé leur ancienneté : ils se situent à plusieurs mètres sous une épaisse

couche de cendres volcaniques datée de 240 000 ans.

UNE GRANDE MAÎTRISE DE LA TAILLE

Ces niveaux ont livré des vestiges qui témoignent de plusieurs méthodes de débitage de lames. Deux nucléus à un ou deux plans de frappe opposés avaient été aménagés sur des éclats épais. Une douzaine d'éclats et de lames aux talons soigneusement préparés ont été replacés sur un troisième nucléus. Ce remontage montre que la production a été interrompue par des phases de remise en forme du nucléus. Tous ces débi-



Le remontage, sur le bloc d'origine (en haut), de lames (en bas) et d'éclats de pierre taillés il y a plus de 240 000 ans montre le haut niveau technique des artisans qui ont procédé à ce débitage.

tages ont été réalisés par percussion directe à la pierre. Compte tenu de la fragilité de la matière première, les proportions de quelques lames sont remarquables et témoignent d'une grande maîtrise de la taille : certaines atteignent une douzaine de centimètres de long pour une épaisseur inférieure au centimètre.

Il y a encore une dizaine d'années, la communauté scientifique ne croyait pas à l'ancienneté du débitage laminaire. Plusieurs découvertes avaient été signalées dès la fin du XIX^e siècle, mais les préhistoriens refusaient d'en reconnaître la pratique à une autre espèce que *Homo sapiens sapiens* : la présence de lames dans un ensemble d'objets taillés était considérée comme un bon indice d'une appartenance au Paléolithique supérieur, qui a débuté il y a seulement 40 000 ans. On se souciait plus alors, dans l'enthousiasme de la recherche préhistorique naissante, de mettre de l'ordre dans la profusion de documents engendrée par la multiplication des fouilles.

Le développement, depuis une dizaine d'années, des grands travaux en Europe septentrionale (autoroutes, lignes T.G.V.) a favorisé les découvertes d'industries laminaires attribuables sans aucune contestation aux hommes du Paléolithique moyen. Des séries ont été mises au jour en Angleterre, en Belgique, dans la Manche, dans le Pas-de-Calais, dans le Nord, dans l'Yonne... Les plus anciennes datent de 250 000 ans, tandis que les plus récentes auraient été produites il y a plus de 60 000 ans, à la fin du Paléolithique moyen.

Ces découvertes ont entraîné un regain d'intérêt pour des débitages de lames du Proche-Orient : récemment révisé, leur âge s'échelonne de 300 000 à 80 000 ans. En Afrique du Sud, les plus anciens produits laminaires du Middle Stone Age (l'équivalent du Paléolithique moyen en Europe) datent de 130 000 à 60 000 ans.

Il est désormais prouvé qu'une nouvelle manière de penser et de traiter les volumes pour produire des lames, adaptée à de nouveaux besoins, a fait son apparition en Afrique, il y a au moins 240 000 ans, à la fin de la longue période de l'Acheuléen. C'est un aspect précurseur, mais momentanément sans lendemain, du potentiel technologique manifesté par les artisans acheuléens : cette conception du débitage n'est réapparue et ne s'est généralisée que plusieurs dizaines de milliers d'années plus tard.

Pierre-Jean TEXIER, CNRS ERA 28
Centre de recherches archéologiques

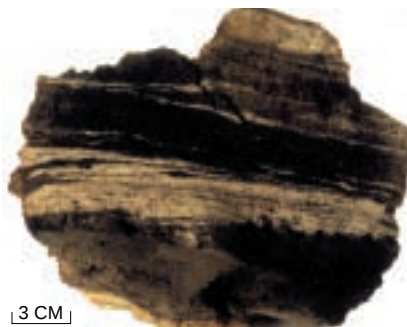
L'éruption du Pinatubo

Un panache thermique mélange les magmas.

En juin 1991, aux Philippines, le volcan Pinatubo entre en éruption, l'une des plus importantes éruptions du siècle. Le volcan émet d'abord un mélange de deux magmas, basalte et dacite, suivi d'une grande quantité de dacite, le moins dense de ce couple de magmas. Cette séquence est étrange : le fluide le moins dense qui réside normalement en surface aurait dû être éjecté en premier. L'étude d'une maquette expérimentale lève ce paradoxe apparent : le mélange des magmas résulte de la formation d'un panache thermique.

La surveillance sismique du site avant l'éruption a révélé l'existence, sous le volcan, d'une chambre magmatique de dacite. Ce magma, originaire de la croûte, est très visqueux (la viscosité du goudron), mais sa densité est relativement faible (trois fois celle de l'eau). Quelques semaines avant l'éruption, un magma basaltique pénètre dans cette chambre. Le basalte, qui provient du manteau terrestre, est plus dense, mais beaucoup moins visqueux que la dacite (sa viscosité est celle du miel). La température du basalte injecté (1 200 degrés) est supérieure à celle de la dacite dans la chambre (800 degrés).

Pour simuler la chambre magmatique les géophysiciens utilisent une petite cuve et des fluides d'emploi plus faciles que



Dans ce mélange de laves éjectées, le basalte est sombre et la dacite est claire.

les magmas : de l'eau plus ou moins salée (pour choisir la densité) où il ajoutent une quantité ajustée de polymère (pour régler la viscosité). Les viscosités et les densités reproduisent à cette échelle, le comportement des magmas dans la chambre. On modélise le phénomène en injectant lentement à travers une fente un liquide chaud et dense, correspondant au basalte, dans un réservoir rempli d'un liquide moins dense et plus visqueux, correspondant à la dacite.

Le liquide injecté s'étale tout d'abord sur le plancher de la cuve en une langue très fine. À proximité de la fente d'injection, le liquide supérieur se dilate en raison de l'augmentation de la température locale, et il se crée un panache thermique qui s'élève sous l'action de la poussée d'Archimède. Ce panache dans le liquide le plus visqueux est suffisamment puissant pour entraîner dans son ascension une mince pellicule du liquide injecté. Au cours de l'expérience, une petite quantité de ce liquide s'accumule près du plafond de la cuve et y stagne tant que l'injection se poursuit.

Lors du mélange des deux magmas, le basalte chauffe la dacite saturée d'eau. Comme la solubilité de l'eau dans ce magma diminue lorsque la température augmente, la dacite dégaze. Les bulles de vapeur ainsi créées augmentent la pression et dilatent la chambre magmatique, ce qui déclenche l'éruption.

Ces mécanismes, entraînement des basaltes suivi d'un dégazage, expliquent pourquoi le mélange dense se trouvait au sommet de la chambre au moment de l'éruption. De plus, l'analyse des résultats expérimentaux prédit que, dans la chambre magmatique du Pinatubo, la pellicule de liquide basaltique entraînée avait quelques centimètres d'épaisseur, conformément à la taille des structures de mélange relevées au Pinatubo et dans d'autres volcans similaires.

Don SNYDER et Stephen TAIT
Institut de physique du globe, Paris

Crapauds droitiers

Ils le doivent à leur estomac.

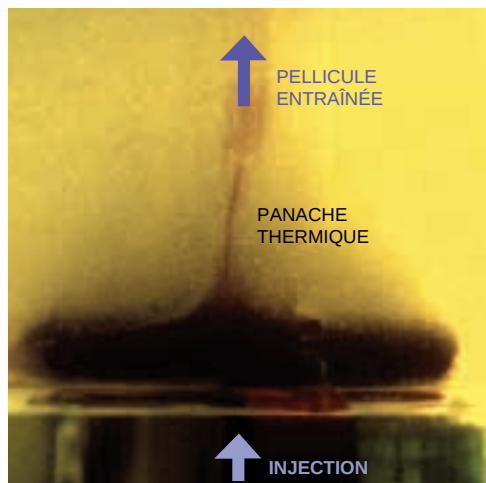
Pourquoi certains animaux, dont les hommes, utilisent-ils leurs membres de façon asymétrique ? Des primates, des souris et des oiseaux possèdent cette caractéristique : les poules grattent le sol préférentiellement avec leur patte droite. Une équipe des Universités de Padoue et d'Udine, en Italie, et de Nouvelle Angleterre, en Australie, a montré que des populations de crapauds sont constituées majoritairement de droitiers. La cause en serait une asymétrie des viscères.

Des crapauds européens (*Bufa bufa*) ont été soumis à des tests où ils devaient utiliser leurs membres antérieurs. Les chercheurs leur ont enveloppé la tête avec un ballon en caoutchouc, ou leur ont collé un morceau de papier humide sur la bouche et sur le nez. Dans plus de 55 pour cent des cas, c'est le membre antérieur droit qui était utilisé en premier pour enlever l'objet gênant.

Soumis à un test analogue, des crapauds de la canne à sucre (*Bufa marinus*), originaires d'Amérique du Sud, se répartissaient équitablement entre gauchers et droitiers. En revanche, dans un exercice où ils étaient plongés dans l'eau le ventre vers le haut, ils ont majoritairement utilisé leurs membres droits pour contrôler leur rétablissement.

Selon des études similaires sur d'autres animaux, la latéralisation des membres proviendrait de leur utilisation pour rechercher ou manipuler de la nourriture. Pour les crapauds, Tomio Naitoh, de l'Université Shimane, au Japon, et Richard Wassersug, de l'Université Dalhousie, au Canada, proposent une explication anatomique plus spécifique.

Les crapauds possèdent un fort réflexe de vomissement : lorsqu'ils ingèrent une substance toxique, ils régurgitent le contenu de leur estomac et l'estomac lui-même. Ils peuvent alors enlever toute trace de la substance toxique de la paroi interne de l'estomac. L'estomac des crapauds est asymétrique : lorsqu'il est régurgité, il s'étale plutôt vers la droite. Une plus grande habileté du membre antérieur droit, le plus proche de la surface à nettoyer, serait un avantage certain pour la survie du crapaud. La latéralisation aurait-elle aussi des causes internes chez les vertébrés supérieurs ? □



Dans une cuve fermée de un mètre de diamètre, remplie d'eau salée, on injecte un liquide analogue, mais plus dense et plus chaud qui s'élève, entraîné par un panache thermique.