

jour, 11 constituants et 10 notes (notamment florale, sucrée et fruitée) ont été identifiés. Chaque note correspond à une combinaison particulière de molécules. Par exemple, la note florale est une combinaison de sept composés, dont le linalol et le nérolidol qui apportent une note fleurie boisée, tandis que l'antranilate de méthyle a une odeur qui rappelle celle des fleurs d'oranger. La note sucrée repose sur l'association de quatre esters et d'un alcool. La note fruitée résulte d'une alliance entre le salicylate de méthyle et le benzoate de méthyle qui rappelle la prune et le cassis. Le jasmin de nuit présente un parfum plus voluptueux. Il résulte de la combinaison de 18 composés responsables de notes dominantes florale, sucrée, chaude et puissante, relevées par des notes âcre et épicée. Le parfum des fleurs du jasmin de nuit est caractéristique des senteurs nocturnes des tropiques. Le parfum des fleurs du jasmin de jour est séduisant par ses accords fleuris, sucrés, fruités.



J. Smadja

Des spermatozoïdes sensibles à la température

On a découvert que la température est un facteur déterminant pour le succès d'une fécondation.

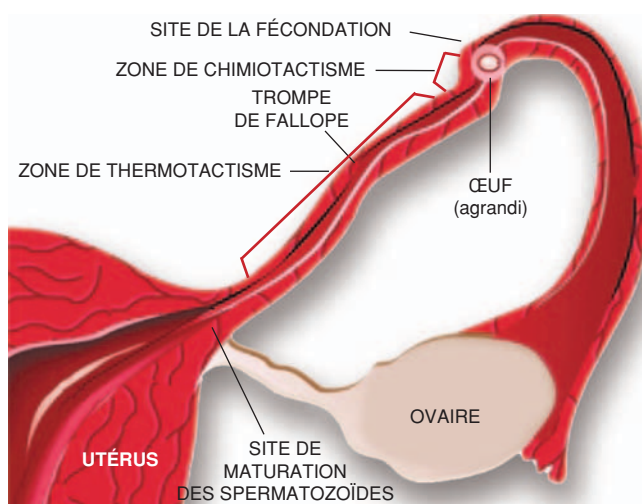
Chez les mammifères, la rencontre d'un ovule et d'un spermatozoïde a généralement lieu dans les trompes de Fallope, des conduits reliant l'utérus à chacun des deux ovaires. En 1991, Michaël Eisenbach et ses collègues, de l'Institut Weizmann, en Israël, avaient découvert que les ovules (les œufs non fécondés) émettent des signaux chimiques à courte portée qui attirent les spermatozoïdes ; c'est un mécanisme de chimiotactisme. Aujourd'hui, ils ont montré que les spermatozoïdes se dirigent aussi vers l'ovule grâce à des variations de température.

On savait déjà que certains micro-organismes utilisent les variations de température pour se diriger ; c'est le thermotactisme, mais on ignorait qu'il avait un rôle chez les mammifères. Il apparaît aujourd'hui que le thermotactisme intervient dans la sélection des spermatozoïdes. Longtemps, on a pensé que seul le grand nombre des spermatozoïdes présents dans les trompes de Fallope rend possible un phénomène aussi improbable que la fécondation. Un millilitre de sperme contient environ 100 millions de spermatozoïdes, aussi croyait-on que des millions de spermatozoïdes atteignaient la zone où a lieu la fécondation. Or, les biologistes savent aujourd'hui que seuls 250 spermatozoïdes environ atteignent les trompes. La portée du chimiotactisme était trop courte pour expliquer l'efficacité des spermatozoïdes rescapés. Le thermotactisme lève le mystère. Quand ils parviennent dans les trompes de Fallope, les spermatozoïdes s'attachent à la paroi où ils subissent une maturation nécessaire à la pénétration dans l'œuf. Cette maturation achevée, ils se détachent de la paroi. Au bout de 20 minutes en moyenne, quelques-uns parviennent à l'ovule. Selon M. Eisenbach, ceux qui ont des chances de rencontrer l'ovule sont des spermatozoïdes sensibles à la chaleur.

Comment ces biologistes sont-ils parvenus à cette conclusion ? Constatant que la température du lieu de stockage sur les parois des trompes est inférieure de deux degrés à celle du lieu de la fécondation, ils ont supposé que cette différence jouait un rôle dans la sélection des spermatozoïdes. Pour le vérifier, ils ont construit un dispositif reproduisant l'appareil génital de la lapine, pourvu d'un site de maturation des spermatozoïdes,

d'un site de fécondation, ainsi que d'une trompe les reliant. Puis, ils y ont observé le comportement de spermatozoïdes de lapin. Quittant la relative fraîcheur de la zone de maturation (37 °C), les spermatozoïdes sont attirés par la chaleur de la zone de fécondation (39 °C). Les biologistes ont constaté que les spermatozoïdes sont sensibles à une différence de température de un demi-degré seulement. Ils ont aussi établi que seuls les spermatozoïdes matures sont thermosensibles.

La découverte du thermotactisme apporte un éclairage nouveau pour l'étude de certaines stérilités masculines. Si le nombre de spermatozoïdes par unité de volume de sperme produit par un homme reste un des principaux critères de stérilité, leur sensibilité à la chaleur doit désormais être prise en compte. De surcroît, ce paramètre devrait aussi avoir des conséquences sur les techniques de fécondation *in vitro*. Aujourd'hui 100 000 spermatozoïdes sont utilisés pour chaque œuf, et, pourtant la fécondation ne réussit pas toujours. Or, le prélèvement des ovocytes chez la femme est difficile, de sorte que l'on cherche à améliorer le taux de réussite des fécondations *in vitro*. Grâce à une utilisation judicieuse de gradients de température, peut-être parviendra-t-on à concentrer les spermatozoïdes autour de l'ovule, et à mieux reproduire les conditions naturelles de la fécondation.



Pour qu'il y ait fécondation d'un œuf, les spermatozoïdes doivent remonter les trompes de Fallope après avoir séjourné un moment sur un site où ils achèvent leur maturation. On vient de montrer qu'ils se dirigent par thermotactisme (action à longue portée), attirés par une température supérieure à proximité de l'œuf, puis par chimiotactisme (action à courte portée), c'est-à-dire par des molécules libérées par l'œuf.

Espoir contre le SIDA

Les vaccins thérapeutiques contre le VIH visent à diminuer la quantité de virus dans le sang des personnes contaminées. Pour les fabriquer, on peut utiliser un virus rendu inoffensif, qui doit véhiculer des éléments activant le système immunitaire de l'hôte. L'ANRS a annoncé des résultats encourageants obtenus avec un virus *canarypox* contenant des gènes codant des enzymes qui dégradent les protéines du VIH. Un an et demi après l'administration de ce vaccin potentiel, 25 pour cent des personnes vaccinées, chez qui le virus semble « endormi », peuvent se passer de traitement antiviral.

Les insectes ont de l'inspiration

D'après des zoologistes allemands et américains, chez les insectes, l'entrée et la sortie de l'air ne sont pas des phénomènes passifs. Leur système respiratoire consiste en un réseau de minuscules conduits, les trachées, partant de la surface de l'insecte et alimentant directement en oxygène les organes. Les chercheurs ont observé ce système en action chez des insectes vivants – des fourmis, des criquets et des scarabées – grâce à des rayons X. Résultat : les trachées se dilatent et se compriment, selon les espèces, environ une à trois fois par seconde.

Le sens du baiser

Un psychologue allemand a observé 124 couples s'embrasser dans un aéroport, une gare, un parc ou sur la plage, aux États-Unis, en Allemagne et en Turquie. Pour embrasser son partenaire, chacun tourne la tête deux fois plus souvent vers la droite que vers la gauche. Rodin l'avait lui-même remarqué et reproduit dans *Le baiser*. On retrouve la prédominance de la droite (pied d'appel droit, main droite, œil dominant droit). La préférence pour la droite se manifeste déjà quelques semaines avant la naissance : les bébés tournent plus souvent la tête à droite qu'à gauche. Cette préférence influe-t-elle sur d'autres comportements asymétriques ?



Accros au doudou

Ours en peluche, poupée de chiffon ou vieux mouchoir, quand un bébé adopte un doudou, il ne peut plus s'en passer. Pourquoi un bébé sur deux seulement s'attache-t-il à ce que les psychologues nomment un objet transitionnel ? Un psychologue américain a mené une étude sur plus de 450 familles. Selon lui, l'absence des parents lors de l'endormissement du bébé favorise l'adoption d'un doudou.

Un peu de Terre sur la Lune

Les plus anciennes roches terrestres sont-elles présentes sur la Lune ?

Il y a six ans, un numéro abscons défrayait la chronique : ALH84001. C'était le matricule d'un caillou supposé contenir des bactéries martiennes fossiles. Si ces traces de vie sont, aujourd'hui, très controversées, l'origine martienne de la météorite est avérée. Il s'agirait d'une roche qui, éjectée lors d'un impact météoritique violent à la surface de Mars, a erré dans le Système solaire avant de choir sur la Terre. Or, si une telle aventure est possible dans ce sens, elle a dû l'être dans l'autre sens, c'est-à-dire que des morceaux de Terre, arrachés à notre planète, ont dû atteindre les mondes voisins. Se peut-il que de très anciennes roches terrestres se trouvent sur le plus proche de ces mondes, la Lune ?

Des échanges de matière ont pu se produire de façon relativement fréquente à l'époque dite du grand bombardement, il y a 3,8 à 4,5 milliards d'années, lorsque le jeune Système solaire, encore empli de ses blocs de construction primitifs, était le siège de collisions multiples. Les planétologues s'intéressent beaucoup à cette période, car, bien que le grand bombardement ait sans doute été peu propice à la vie, les premières traces de vie fossilisée ont été trouvées dans des roches terrestres qui datent de plus de 3,8 milliards d'années. Cela signifie que les premiers organismes sont apparus pendant la période du grand bombardement ou très peu de

La fondation de Samarkand

Les archéologues ont découvert un rempart antérieur à l'arrivée des Perses achéménides, censés avoir fondé la ville au VI^e siècle avant notre ère.

Samarkand, située entre l'Iran, l'Inde, les steppes de l'Asie centrale et la Chine, fut l'une des cités les plus célèbres sur la route de la soie. Prise par Alexandre le Grand en 329 avant notre ère, puis par la dynastie arabe des Omeyyades en 712, elle fut un important foyer culturel samanide au X^e siècle, avant d'être ravagée par l'empereur mongol Gengis Khan en 1220 et reconstruite un peu plus loin, sur son emplacement actuel. C'est au XV^e siècle qu'elle connut son apogée, sous Tamerlan, un conquérant tatar qui prétendit reconstituer l'empire de Gengis Khan. Depuis la fin des années 1980, les anciennes républiques soviétiques de l'Asie centrale sont à nouveau ouvertes aux archéologues étrangers. Frantz Grenet et ses collègues de la Mission franco-ouzbek, fouillent l'ancienne Samarkand, dont les ruines couvrent près de 220 hectares, sur le plateau d'Afrasiab.

La ville pré-mongole, détruite par Gengis Khan, avait été fondée, croyait-on jusqu'à présent, par les Perses achéménides au VI^e siècle avant notre ère : les plus vieux vestiges du site étaient des fortifications de cette époque, retrouvées sous

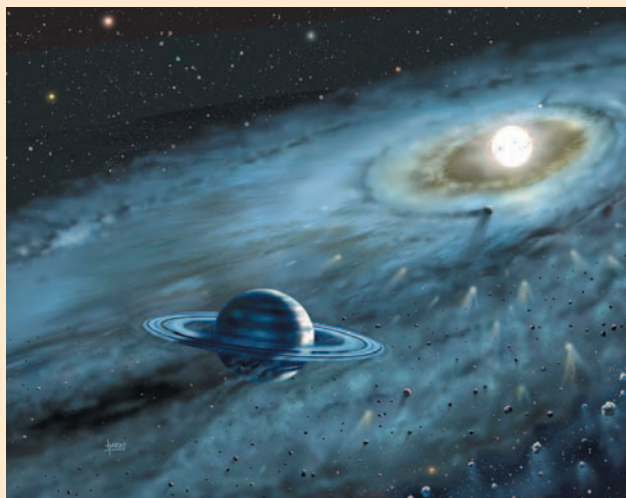
le rempart hellénistique. En -550, les Achéménides avaient fondé un immense empire, qui s'étendait de l'Indus à l'Anatolie, et qui engloba même l'Égypte, sous Darius I^{er} (-522 à -486), comptant 40 millions d'habitants. Toutefois, la ville de Samarkand existait avant que cette grande puissance n'arrive dans la région, car F. Grenet et ses collègues ont découvert un mur de grosses briques au-dessous des vestiges achéménides. Les briques sont marquées d'un signe géométrique et ont été taillées dans le loess (une sorte de limon) du plateau.

Les archéologues ont également retrouvé les restes d'un canal de 30 kilomètres de longueur amenant l'eau de la rivière la plus proche jusqu'à la ville, et ceux d'un système de puits, de canaux en éventail et de bassins qui distribuaient l'eau. Il a fallu faire des terrassements, des remblais, creuser et renforcer le talus avec des briques taillées dans le loess déblayé. Ce scénario de fondation de la ville correspond à l'étymologie du nom de Samarkand, qui signifierait « creusée dans la terre ».

Ces hypothèses ont été confirmées par les fouilles de la ville jumelle de Samarkand, Koktepe, située à 30 kilomètres plus au Nord, également perchée sur un plateau de loess et alimentée par un canal partant de la même rivière. Toutefois, Koktepe fut abandonnée à la période grecque, de sorte que les niveaux anciens sont bien conservés. Sur ce site, les archéologues ont découvert une double enceinte fortifiée. Une première population sédentaire s'y était installée, au début du I^{er} millénaire, dans des huttes semi-enterrées. Puis vers le VII^e siècle avant notre ère

temps après, aussitôt que les conditions ont été favorables. Les géologues espèrent découvrir des roches terrestres, ne serait-ce qu'un peu plus anciennes... Malheureusement, ces précieuses archives ont été détruites depuis longtemps par l'activité climatique et tectonique de notre planète. Se pourrait-il que certaines de ces roches (éventuellement avec leur cargaison de bactéries terrestres ultra-primitives) aient été mises à l'abri sur la surface inerte de notre satellite naturel par le grand bombardement lui-même ? Oui, selon John Armstrong et Lloyd Wells, de l'Université de Washington, et Guillermo Gonzalez, de l'Université de l'Iowa. Récemment, ils ont calculé qu'il pourrait y avoir jusqu'à 20 tonnes de matériau terrestre pour chaque élément de 100 kilomètres carrés de surface lunaire.

Reste à savoir comment reconnaître une roche terrestre d'une roche lunaire (la Lune étant elle-même un morceau de Terre arraché à notre planète à l'occasion d'un impact géant survenu il y a 4,5 milliards d'années). Peut-être la présence d'eau piégée dans les minéraux ou celle de carbonates constitueraient-elles un indice et ce type d'analyse pourrait éventuellement être réalisé par une sonde en orbite autour de la Lune. Toujours est-il que cette nouvelle idée ouvre un champ de recherche original.



David Hardy/ROE/ATC/NEF/NSA

À l'époque dite du grand bombardement, lorsque les collisions étaient fréquentes, des roches ont peut-être été arrachées de la Terre et mises à l'abri de l'érosion sur la Lune. Contiennent-elles des traces de vie primitive fossilisée ?

(avant la conquête achéménide du milieu du VI^e siècle) apparaissent dans l'enceinte intérieure des constructions monumentales édifiées avec les mêmes briques qu'à Samarkand (portant les mêmes marques), ce qui indique une quasi-simultanéité des constructions dans les deux villes.

Ainsi, la ville aurait été fondée plus tôt qu'on ne le pensait, aux alentours du VII^e siècle avant notre ère, par une puissance régionale dont les institutions politiques, militaires et religieuses (une citadelle, un palais et un sanctuaire ont été retrouvés) étaient situées à Koktepe. Bien qu'elle ait été capable de recruter localement une main d'œuvre importante et qu'elle ait contrôlé plusieurs villes fortifiées (au moins deux), cette puissance n'a laissé aucune trace écrite dans l'histoire. Les archéologues ont désormais un nouveau défi à relever : découvrir son identité.



Matrouz

Des briques marquées d'un signe géométrique constituent le premier mur d'enceinte de la ville antique de Samarkand fondée au VI^e siècle avant notre ère et située sur le plateau d'Afrasiab (en haut).

Rosetta reportée sine die

La sonde européenne ne partira pas avant un an.

Suite à l'échec d'Ariane 5 ECA, nouvelle version de la fusée Ariane 5, le lancement de la mission spatiale européenne *Rosetta*, initialement prévu pour le 11 janvier, a été annulé. Cette sonde devait partir sur une version plus classique du lanceur européen, mais les ingénieurs n'ayant pu exclure une défaillance similaire à celle qui a frappé le vol inaugural du modèle ECA, l'Agence spatiale européenne (ESA) a décidé de reporter le vol.

La mission *Rosetta* devait se porter à la rencontre de la comète Wirtanen et poser un engin à sa surface, en 2011, au terme d'un circuit au cours duquel elle aurait profité de l'attraction gravitationnelle de Mars et de Jupiter pour se propulser vers sa cible. Le rendez-vous avec la comète Wirtanen est désormais irrémédiablement manqué et l'ESA recherche de nouvelles comètes que *Rosetta* pourrait croiser.

Il existe des milliers de comètes dans le Système solaire, mais seules celles qui gravitent entre le Soleil et l'orbite de Jupiter sont accessibles à une telle mission. La liste de ces comètes, dressée par l'ESA, il y a dix ans, au moment où la mission avait été conçue, comprend les comètes Wild 2 (cible de la sonde américaine *Stardust*), Finlay, Churyumov-Gerasimenko, Howell et Schwassmann-Wachmann. Toutefois, l'organisation d'une rencontre en douceur entre ces bolides glacés et une sonde coûtant un milliard d'euros nécessite d'accumuler le maximum d'informations sur la comète visée. Ainsi, le choix de la nouvelle destination de *Rosetta* ne sera peut-être pas fixé avant la fin de l'année 2003 et le nouveau compte à rebours ne devrait pas commencer avant février 2004.



ESA

Des vignes sans gènes

Quatre vieilles vignes retrouvées en Allemagne ont un patrimoine génétique particulièrement riche.

Les viticulteurs du passé mélangeaient volontiers les cépages au sein de leurs parcelles. La disparition de ces paysans et la réglementation toujours plus sévère des pratiques viticoles ont réduit petit à petit le nombre de cépages du vignoble européen. Sur les quelque 6 000 variétés de vignes de culture répertoriées, nombreuses sont celles qui ne le sont plus que par les textes. Dans ce contexte, Andreas Jung et Erika Dettweiler, de l'Institut de recherche pour l'amélioration de la vigne de Geilweilerhof, viennent de retrouver d'anciennes vignes en Allemagne, qui contribueront à préserver le fond génétique du vignoble allemand.

Les grands pays viticoles tentent de préserver le patrimoine génétique menacé de leurs vignes. Après la destruction d'une grande partie du vignoble européen par le phylloxera à la fin du XIX^e siècle, l'usage de porte-greffes résistants sur lesquels on greffe une variété noble s'est généralisé. Aujourd'hui, les pépiniéristes n'utilisent plus que des greffons résistants aux principales maladies de la vigne, qu'ils obtiennent auprès de conservatoires nationaux. Si cette pratique protège le vignoble, elle appauvrit aussi son patrimoine génétique. Des zones immenses sont plantées d'une variété seulement, leurs parcelles ne comportant souvent qu'un seul et même génotype ! Face à ce problème, l'INRA préconise depuis 20 ans la création, à l'échelon local, de banques de clones, où l'on rassemblerait quelques centaines de types différents d'une même variété. En France, une centaine de variétés sont protégées de cette façon contre l'érosion génétique.

La même politique est appliquée en Allemagne, mais depuis moins longtemps. En outre, les viticulteurs allemands, confrontés depuis toujours à des conditions climatiques difficiles, ont poussé plus loin la sélection de cépages. Ainsi, alors que plus de 133 variétés sont toujours utilisées et autorisées en France, il n'y en a guère qu'une soixantaine en Allemagne dont 12 seulement donnent l'essentiel de la production. Cette situation rend la constitution d'un fond génétique préservé d'autant plus nécessaire. Pour tenter de découvrir un nouveau génotype, A. Jung et E. Dettweiler ont recherché des plantations anciennes sur les coteaux du pays de Bade. Les quatre parcelles qu'ils

repérèrent étaient exploitées depuis 80 ans, certaines depuis 200 ans. Ils ont d'abord identifié à l'œil 50 variétés parmi les 1 500 ceps examinés. Puis, ils ont fait quelques études d'ADN.

L'observation a d'abord révélé de grandes variations morphologiques, signe d'une richesse génétique préservée. Les biologistes ont recueilli pour le conservatoire de Geilweilerhof le plus de pieds sains différents des variétés usuelles. La richesse génétique des vieilles vignes s'explique d'abord par leur âge, mais aussi par les pratiques des exploitants qui les entretiennent. Chaque fois qu'un cep meurt, il est remplacé par une pousse issue du même champ, de sorte que le patrimoine génétique est préservé.

La richesse génétique de ces vieilles vignes se traduit aussi par la présence de nombreux ceps de variétés anciennes quasi disparues en Allemagne, tels l'elbling noir, le putz-scheere ou encore le seidentraube. Les biologistes ont surtout retrouvé trois rangées de gouais blanc. Très répandu au Moyen Âge, le gouais blanc présentait plusieurs avantages : la vigne était productive, robuste et quasi insensible à la pourriture, mais le vin était de qualité médiocre. Après que la nécessité de produire des vins de qualité s'est imposée, le gouais blanc a été abandonné, ne subsistant guère que sous certains climats difficiles, tel le Haut-Valais suisse. Pourtant, son importance passée fut notable, puisque 72 cépages européens en descendent, parmi lesquels l'auxerrois, le gamay ou encore le riesling. L'un d'entre eux, le chardonnay, est devenu le cépage le plus répandu dans le monde, ce qui montre l'intérêt de conserver les vieilles variétés de vigne, même médiocres.

Odeur et grossesse

Pendant la gestation, une hormone, la prolactine, favorise la naissance de neurones olfactifs, qui stimulent les comportements maternels, mais aussi paternels.

Chez les animaux, des insectes aux êtres humains, l'odorat est un sens particulièrement sollicité dans les relations entre, d'une part, les mâles et les femelles, par exemple dans le choix du partenaire, et, d'autre part, entre une mère et ses petits : une mère reconnaît ou repère ses petits grâce à leur odeur. Aussi, tout au long de la vie, des neurones sont créés dans le système olfactif. Cependant, les origines biologiques de cette neurogenèse sont longtemps restées inconnues. L'équipe de Tetsuro Shingo, de l'École médicale de l'Université de Okayama, au Japon, a montré que chez les souris, elle dépend d'une hormone, la prolactine.

L'importance de la mémoire olfactive dans le comportement maternel a guidé les biologistes vers l'étude de la neurogenèse pendant la grossesse. Cette période est-elle propice à ce phénomène ? Pour y répondre, ils ont injecté à des souris fécondées et à d'autres non fécondées un constituant de l'ADN marqué qui indique les zones de prolifération cellulaire. Au septième jour de gestation, le nombre de cellules marquées augmente de 65 pour cent dans une zone particulière du cerveau, tandis qu'il n'augmente pas chez les souris non fécondées. Puis, la concentration redevient normale au quatorzième jour pour augmenter à nouveau sept jours après l'accouchement.

La plupart des nouvelles cellules nées dans cette zone migrent vers le bulbe olfactif, où elles deviennent des interneurons (des neurones au rayon d'action limité) qui participent à la mémoire olfactive. Ainsi, la gestation et la période postparturiale sont



Andreas Jung et Erika Dettweiler

Pied de gouais blanc.

propices à la prolifération neuronale et à l'augmentation du nombre de neurones olfactifs favorisant la mémoire olfactive.

Dans une deuxième étape, l'équipe de T. Shingo a tenté de distinguer le rôle des hormones maternelles de celui d'autres signaux émis lors de l'implantation des embryons. Pour ce faire, ils ont examiné des souris vierges qui se sont accouplées avec des mâles stériles. Là encore, le cerveau des femelles est le siège d'une neurogenèse notable. L'implantation d'embryons n'est donc pas nécessaire : des hormones seraient à l'origine de la neurogenèse. Des expériences ont écarté les œstrogènes et la progestérone. Restait la prolactine. Cette hormone est présente dans les tissus nerveux de tous les animaux. Chez les mammifères, la quantité de prolactine est maximale pendant la première partie de la gestation, puis diminue jusqu'au terme pour augmenter de nouveau pour la lactation. Ce profil correspond à celui de la neurogenèse olfactive et faisait de cette hormone un bon candidat pour entraîner la prolifération neuronale. L'injection de pro-

lactine à des souris dépourvues d'ovaires a entraîné des effets similaires à ceux observés chez les souris gravides à la fois en ce qui concerne la prolifération des cellules progénitrices de neurones et l'augmentation du nombre de neurones dans le bulbe olfactif. La prolactine est bien l'hormone responsable des modifications neurologiques observées pendant la gestation.

Cependant, la prolactine et ses récepteurs sont aussi présents chez les mâles, chez qui l'injection de prolactine a les mêmes effets neurologiques. De plus, la neurogenèse olfactive augmente chez les souris qui s'accouplent sans être fécondées. Par ailleurs, les concentrations plasmatiques de prolactine augmentent notablement après l'orgasme chez l'homme et chez la femme. Selon une hypothèse compatible avec ces observations, la prolactine favoriserait chez le mâle une mémoire olfactive propice à le retenir près de la femelle. Au final, la neurogenèse olfactive stimulée par la prolactine favorise les comportements maternels, mais aussi paternels.

Chimie verte

Plus propres et plus efficaces, les liquides ioniques vont-ils remplacer les solvants organiques ?

Benzène, toluène... Les solvants organiques sont sur la liste des produits les plus polluants. Pourtant, de nombreuses réactions chimiques industrielles ont lieu en phase liquide, dans de tels solvants organiques, qui sont souvent volatils, inflammables et cancérogènes. On pourrait les remplacer par des liquides ioniques, moins polluants et moins volatils. Les premiers liquides ioniques « prêts à l'emploi » viennent d'être commercialisés.

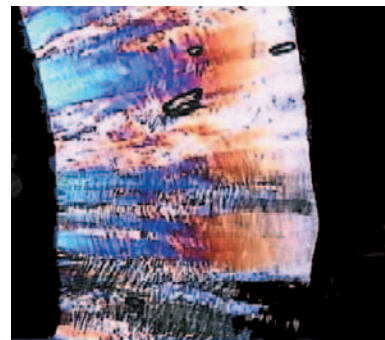
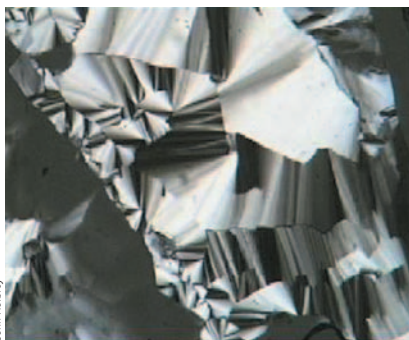
Les liquides ioniques sont des sels fondus, composés d'anions et de cations. Le plus souvent, à température ambiante, les ions existent sous forme cristalline. Dans le sel de table, par exemple, les ions chlorure (Cl^-) et sodium (Na^+) sont arrangés dans un réseau cubique. Un tel empilement est stable et ne fond qu'à 800 °C. Les premiers sels fondus, décrits au début du XX^e siècle, étaient composés d'ions inorganiques simples. Leur température de fusion étant souvent supérieure à 400 °C, ils sont inutilisables dans des réactions mettant en jeu des molécules organiques, qui se décomposent à des températures bien inférieures. Certains composés ioniques ont des températures de fusion inférieures, mais ils nécessitent souvent des atmosphères contrôlées contraignantes et sont finalement peu exploités dans l'industrie chimique hormis quelques cas rares.

Dans les années 1990, les premiers sels fondus, liquides à température ambiante, ont été synthétisés : on les nomme liquides ioniques. Les chimistes ont conservé les anions et remplacé les cations inorganiques simples des sels qui existaient déjà par des chaînes organiques (des composés aromatiques portant des chaînes plus ou moins longues). Les cations étant beaucoup plus volumineux que les anions, les ions s'empilent mal : l'édifice cristallin qu'ils forment est moins stable que celui des sels composés d'ions de taille similaire ; c'est pourquoi ces liquides ioniques ont une température de fusion inférieure à celle des sels fondus classiques.

Ces liquides ioniques dissolvent de nombreuses substances chimiques, tant ioniques que moléculaires du fait de leur structure particulière, à la fois organique et inorganique, et de leur polarité. Ils ont une faible tension de vapeur, de sorte qu'ils s'évaporent peu et ne sont pas inflammables ; ils sont faciles à stocker (sous forme de poudre) et à transporter. On peut y

effectuer un grand nombre de réactions classiques de synthèse organique. Le rendement de nombreuses réactions est même supérieur, et les réactions sont souvent plus rapides. De surcroît, ils ne se décomposent qu'à haute température et certains restent liquides et stables sur des gammes de températures comprises entre -100 °C et 400 °C. À ce jour, aucune toxicité n'a été constatée. Les effets de solvation mis en œuvre dans les liquides ioniques diffèrent de ceux mis en jeu dans l'eau ou dans les solvants organiques. On ignore encore les mécanismes intimes, mais on sait que les liquides ioniques stabilisent des composés intermédiaires et des degrés d'oxydation que l'on n'obtient pas dans les réactions chimiques connues. Toutefois, les chimistes ont déjà montré l'importance des cations organiques pour abaisser un point de fusion, alors que les anions semblent responsables de la majorité des autres propriétés, tels la conductivité, la viscosité et les effets de solvation... Ainsi, en jouant sur la nature de l'anion et sur la longueur de la chaîne organique, on ajuste les propriétés des liquides ioniques. Des milliers de tels solvants peuvent être synthétisés en fonction des propriétés physico-chimiques recherchées.

Aujourd'hui, les liquides ioniques commencent à quitter le stade expérimental. Dix nouveaux liquides ioniques apparaissent chaque mois. D'importants groupes industriels mettent au point des liquides ioniques qu'ils substitueront aux solvants classiques... dès que les taxes sur les déchets organiques et sur les émissions de gaz à effet de serre les y contraindront et justifieront le coût des transformations visant à adapter les procédés industriels aux liquides ioniques.



Les liquides ioniques (ici, un chlorure 1-hexadécyl-3-méthylimidazolium), cristallisent (à gauche) à des températures inférieures à celles où cristallisent les cristaux ioniques « classiques », tel le sel de table. Ils présentent parfois une phase cristal liquide (à droite) (images obtenues en lumière polarisée ; le grossissement est environ égal à 100).