



Le trouble du pastis

HERVÉ THIS

L'alcool trouble les sens, l'eau trouble certaines essences, comme l'anéthole du pastis, ainsi que le mesurent les faisceaux de neutrons.

L'idée lui vint de faire les absinthes, et il commença de les mouiller, délicatement, goutte par goutte, élevant de temps en temps à la hauteur de ses yeux le verre où l'alcool, peu à peu, se colorait sous l'action de l'eau, décomposé en longues spirales nuageuses.

Courteline, *Le train de 8 heures* 47.

Ah, ce léger trouble qui survient quand l'eau ajoutée au pastis promet une désaltération proche ! Le pastis n'a pas l'apanage de cette opacification : se troublent aussi le sirop d'orgeat, ou encore l'absinthe, dont la couleur verte prenait naguère une teinte blanche... Pourquoi ce trouble ? Pourquoi ces changements de couleur ? À l'Institut Laue Langevin de Grenoble, Isabelle Grillo a utilisé un spectromètre de diffusion de neutrons aux petits angles pour répondre à ces questions dans le cas du pastis.

Le pastis du joueur de pétanque est principalement composé d'eau (55 pour cent en volume), d'alcool éthylique (45 pour cent en volume), d'anéthole (environ deux grammes par litre) et de divers composés qui contribuent au goût du breuvage. Contrairement à ce que son nom indique aux chimistes (les alcools ont une désinence en -ol), l'anéthole n'est pas un alcool, mais une molécule aromatique, déjà utilisée dans l'Antiquité pour ses vertus thérapeutiques ou pour parfumer les aliments et les produits de beauté.

L'anéthole est extrait des graines d'anis et de fenouil. C'est un liquide légèrement jaune, très odorant, soluble dans l'alcool éthylique et très peu dans l'eau : les molécules d'eau s'attirent fortement et ne se lient que faiblement avec les molécules d'anéthole ; aussi ne les retiennent-elles pas en leur sein et les molécules d'eau et les molécules d'anéthole constituent-elles des phases séparées. En revanche, les molécules d'alcool ont autant

d'attrance pour l'anéthole que pour leur congénère et les dissolvent en leur sein. Dans la bouteille de pastis, la concentration en anéthole est suffisante pour que l'influence solubilisatrice de ce corps soit prépondérante : l'anéthole reste dissous et le breuvage est transparent. Quand on ajoute de l'eau, l'alcool qui est soluble dans l'eau se lie à l'eau, formant une solution majoritairement aqueuse et l'anéthole, qui se trouve au sein de cette solution, s'en sépare, formant des gouttelettes, qui sont cause de nébulosité.

COULEUR DES ÉMULSIONS

Le lait, la crème, la sauce mayonnaise sont également des émulsions ; leur couleur est due à la réflexion de la lumière sur la surface des gouttes dispersées dans l'eau.

La lumière se réfléchit aussi à la surface des gouttes microscopiques d'anéthole ; de ce fait, l'œil voit de la lumière blanche (si la source est blanche) issue du breuvage. En outre, les gouttelettes d'anéthole, beaucoup plus petites que celles formées avec les corps gras et de la taille de la longueur d'onde de la lumière, diffusent la lumière. En effet, la lumière, qui est une propagation d'un champ électrique et d'un champ magnétique, excite les électrons du matériau qu'elle traverse ; ceux-ci rayonnent (diffusent) dans toutes les directions. Au total, le milieu est nébuleux, car la lumière n'est plus transmise, mais totalement diffusée

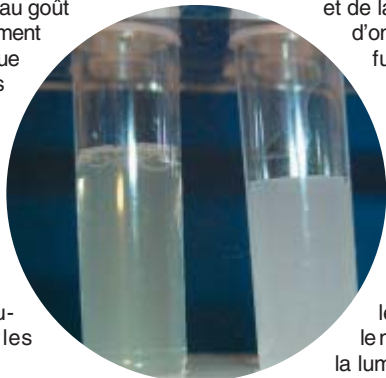
et on ne voit plus les objets derrière la solution. Sur la photographie ci-contre, le pastis est dilué cinq et dix fois : la nébulosité augmente avec la dilution.

Pour corroborer la théorie, il fallait mesurer la taille des gouttelettes. Pour les émulsions telles que la mayonnaise, où les gouttes sont grosses (de l'ordre du dixième de millimètre), les observations ne nécessitent qu'un microscope optique (les

grosses gouttes réfléchissent la lumière). Pour le pastis, en revanche, I. Grillo a dû utiliser des neutrons diffusés à de petits angles, afin de détecter les gouttelettes d'anéthole. La diffusion de neutrons aux petits angles est une technique puissante que les physico-chimistes utilisent pour observer la forme et l'organisation d'objets ayant des tailles comprises entre quelques nanomètres (ou milliardièmes de mètre) et quelques dix-millionnièmes de mètre. Lors des mesures, le comportement nébuleux du composé pur après l'ajout d'eau et d'alcool éthylique a été comparé à celui du pastis vendu dans le commerce. Comme il est recommandé par le fabricant de diluer le pastis par cinq fois son volume, cette dilution a été étudiée, et comparée à une dilution double.

La diffusion de neutrons a révélé que les gouttes d'anéthole ont un rayon proche d'un demi-micromètre, à la température ambiante et juste après la préparation de la boisson-échantillon. Le rayon d'une goutte ne dépend pas de la concentration en anéthole, mais celui du pastis modèle est un peu plus gros que celui du pastis réel. Avec le temps, c'est-à-dire après 12 heures pour l'expérience menée, les gouttes d'anéthole grossissent d'un tiers environ. Ces études ont testé également l'effet de la température sur la taille des gouttelettes d'anéthole : le diamètre double lorsque la température passe de 10 °C à 40 °C (mais qui aurait l'idée de se rafraîchir avec une boisson à cette température ?), ce qui corrobore l'idée selon laquelle une fusion de gouttelettes voisines (favorisée par l'agitation thermique) engendre des structures de plus en plus grosses.

Les tailles, toutefois, restent suffisamment petites pour diffuser la lumière, et c'est seulement une sédimentation qui viendra définitivement à bout de l'émulsion... mais le breuvage sera bu bien avant, puisque, à la température ambiante, il faut plus de deux jours pour que la boisson redevienne claire !



Rendez-vous de France Info et de Pour la Science, le 26 novembre, avec la chronique Info Sciences de M.-O. Monchicourt.

L'euro gagne du terrain

La migration des nouvelles pièces dans les pays de la zone euro se poursuit. En France, seul le centre-Ouest résiste encore à ce gigantesque brassage.

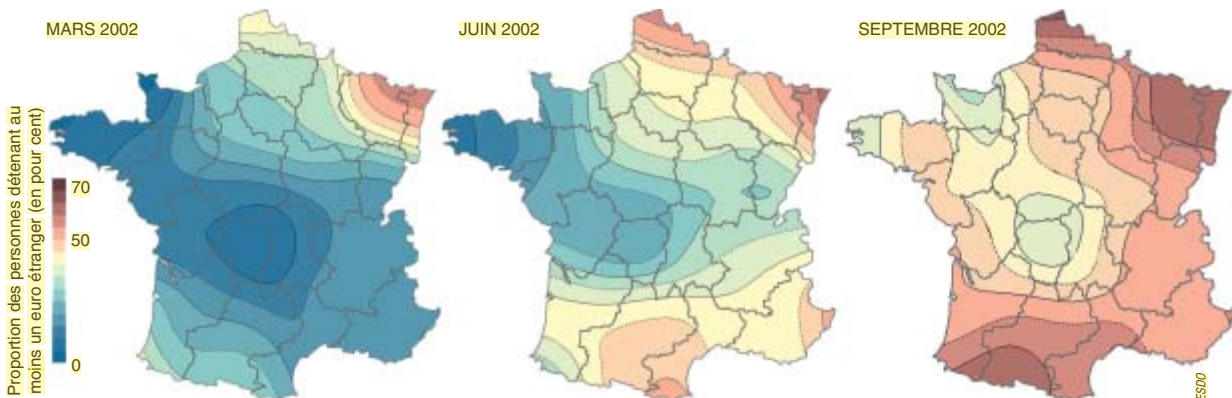
Comment peut-on évaluer la fréquence des voyages effectués par nos voisins européens en France ou par les Français à l'étranger? Pour le savoir, ouvrez votre porte-monnaie. La mise en circulation de la nouvelle monnaie européenne permet, pour la première fois, d'évaluer avec précision l'intensité des relations nouées entre les habitants des différents pays européens. Les pièces de monnaie sont principalement véhiculées par les personnes au cours de leurs déplacements, et la présence d'une pièce étrangère en un point donné du territoire français signale l'existence d'un réseau social et spatial reliant ce point du territoire français au pays d'où la pièce est originaire. L'Observatoire de la diffusion spatiale de l'euro (ESDO) a effectué une série de sondages au cours desquels on demandait aux personnes interrogées de montrer le contenu de leur porte-monnaie. Réalisées à trois reprises depuis le lancement de l'euro, ces enquêtes font apparaître l'avancée des pièces étrangères sur le territoire.

La proportion des personnes ayant au moins une pièce étrangère dans leur porte-monnaie a augmenté rapidement, puisqu'elle est passée de 24 pour cent en mars 2002 à 34 pour cent en juin pour atteindre 48 pour cent en septembre. Cette diffusion des pièces euros étrangères n'est pas uniforme sur le territoire français. Au mois de mars 2002, la principale zone de pénétration des pièces étrangères est le Nord-Est de la France, en particulier l'Alsace, la Lorraine et le Nord-Pas-de-Calais, où l'incidence est déjà supérieure à 40 pour cent. Les frontières espagnole et italienne semblent alors moins actives. Au mois de juin 2002, la zone de pénétration s'étend à tout le bassin Parisien, mais la progression la plus spectaculaire s'observe dans la partie méridionale du pays. Avec les vacances estivales, la présence des pièces se généralise, notamment sur tout le littoral Atlantique. Seul le Limousin, le Finistère et la Basse-Normandie semblent encore résister à l'arrivée des pièces étrangères.

On aurait pu penser que la diffusion des pièces étrangères serait importante dans les grandes agglomérations et, notamment, en Île-de-France, région particulièrement bien connectée au reste de l'Europe par les réseaux de transport aérien, routier et ferroviaire. Or, si l'Île-de-France se caractérise qualitativement par une plus grande diversité des pièces euros étrangères que les autres régions (on y trouve des pièces de tous les pays), elle ne constitue pas quantitativement un centre majeur de diffusion à l'intérieur du territoire : la participation à des réseaux internationaux ne concerne finalement qu'une petite partie de la population francilienne et les effets du tourisme international se cantonnent à une portion spatialement limitée de l'agglomération. Une enquête plus précise sur la diffusion des euros étrangers dans l'agglomération parisienne montrerait sans doute des contrastes marqués entre les zones internationales (aéroports, quartiers d'affaires, centre historique) et les quartiers enclavés.

En première analyse, la distribution spatiale des pièces étrangères semble obéir aux règles des modèles classiques de la géographie, qui combinent un effet positif de la taille de la population (plus un pays est grand, plus il envoie de pièces étrangères vers la France) et un effet négatif de la distance (plus deux régions sont éloignées, plus les pièces mettent de temps à parcourir la distance qui les sépare). S'il est logique que les pièces luxembourgeoises soient moins nombreuses que les pièces allemandes en France (effet de taille), il est également logique que les pièces néerlandaises soient moins nombreuses que les pièces belges (effet de distance). En revanche, il est plus étonnant de constater que les pièces espagnoles sont plus fréquentes que les pièces allemandes, et que l'incidence des pièces belges est à peu près la même que celle des pièces allemandes. Les pièces espagnoles sont plus fréquentes, même si l'on ne tient pas compte des pièces de 50 centimes d'origine espagnole que la Banque de France, à cours de pièces françaises de cette valeur, a distribué au début de l'année 2002. Les proximités à prendre en compte pour comprendre la diffusion ne relèvent pas uniquement de la distance kilométrique, mais doivent également tenir compte des liens historiques, culturels ou linguistiques qui peuvent renforcer certaines interactions.

Pour interpréter correctement la répartition des pièces euros étrangères en France, il est nécessaire de recourir à des modèles de simulation qui permettent de filtrer les effets banals (le rôle



Diffusion, en France, des euros issus des différents pays de l'Europe. Les régions frontalières ont été les premières où les euros étrangers ont diffusé, plus que l'Île-de-France, pourtant au cœur de nombreux échanges internationaux (cf. *Population & Sociétés*, novembre 2002).

BRÈVES

La nuit, tous les dinos sont gris

Comment les dinosaures voyaient-ils la nuit? Pour répondre à cette question, l'équipe de Thomas Sakmar, de l'Institut médical Howard Hugues, a reconstitué l'ancêtre de la rhodopsine, la protéine qui assure la détection de la lumière dans la rétine. À partir des séquences des gènes de la rhodopsine d'animaux actuels, tels les chiens, les poissons, les vaches, les biologistes ont déduit le gène qui devait coder la protéine des archosaures, les ancêtres des oiseaux et des crocodiles. Puis, ils ont fabriqué la protéine correspondante et en ont étudié les propriétés: elles s'associe comme toutes les rhodopsines au 11-cis-rétinal et son spectre d'absorption montre que les archosaures étaient sans doute, comme les chats, nyctalopes.

Une nouvelle «planète»

Derrière l'orbite de Neptune, la lointaine banlieue du Système solaire est constituée d'une vaste ceinture, dite de Kuiper, regroupant des milliards de petits astres glacés. C'est le cas de Pluton. Pourtant, si la plupart de ces objets sont beaucoup plus petits que Pluton et que son satellite Charon, Chad Trujillo et Michael Brown, de l'Institut de technologie de Californie, ont découvert un nouvel objet de Kuiper, qu'ils proposent de nommer *Quaoar* (le nom des Indiens de Californie), dont le diamètre est de l'ordre de la moitié de celui de Pluton. Cet objet est, comme Pluton, presque de taille planétaire, et le Système solaire compte désormais, selon les conventions, huit ou dix planètes.

Les gibbons sont revenus

Depuis les années 1960, personne n'avait vu de gibbons à crêtes noires *Nomascus nasutus nasutus*; aussi les croyait-on disparus. Toutefois, au mois de septembre 2002, une expédition menée par le primatologue suisse Thomas Geissmann a aperçu un groupe de 26 de ces primates dans le Nord du Vietnam. Selon les premières observations, le groupe est constitué de suffisamment d'individus pour espérer la survie de l'espèce. Néanmoins, la protection de leur habitat, réduit à 2 500 hectares à cause de la déforestation, et des mesures visant à empêcher le braconnage de ces primates, dont les os sont recherchés pour la médecine traditionnelle, restent indispensables à leur pérennité.



de la proximité kilométrique et celui de la taille des foyers émetteurs) pour mettre au jour des effets spécifiques (barrières, relations préférentielles). Si l'on prend l'exemple de la diffusion des pièces euros allemandes sur le territoire français en juin 2002, on montre que la configuration spatiale observée n'est pas tout à fait conforme à celle qui aurait été obtenue par une simple application d'un modèle de diffusion standard. La diffusion apparaît plus faible que prévue en Lorraine alors qu'elle est conforme aux prévisions en Alsace. Cette différence pourrait s'expliquer par des facteurs économiques: de nombreux Alsaciens travaillent en Allemagne et rapportent des euros allemands, tandis que les habitants du Nord de la Lorraine vont plutôt travailler au Luxembourg. On remarque également que la proportion de pièces euros allemandes est marquée dans le Midi, ce qui peut s'ex-

pliquer par des facteurs, tels que le tourisme, les relations économiques ou encore le transit routier vers l'Espagne. La poursuite de cette recherche nécessitera d'analyser plus précisément le phénomène de diffusion dans les zones frontalières ou au sein des grandes agglomérations. Il serait très intéressant de pouvoir étendre ces observations à l'ensemble du territoire européen. Cette recherche permet de considérer l'euro comme marqueur des relations internationales qui se nouent entre les Européens par-delà les frontières, mais on peut penser à d'autres applications des phénomènes de diffusion, notamment dans le domaine de la diffusion des pathologies, c'est-à-dire de l'épidémiologie.

Claude GRASLAND (Université Paris 7, UMR Géographie-cités), France GUERIN-PACE (INED), Bénédicte GARNIER (INED) et Aurélie TOSTAIN (UMS RIATE)

Mithra le Rhénan

Un lieu de culte découvert en Allemagne présente toutes les caractéristiques connues du culte de Mithra.

Entre le II^e et le III^e siècle, dans l'Empire romain, le christianisme était concurrencé par une autre religion, le mithraïsme. Répandue dans tout l'Occident, cette religion d'origine orientale était pratiquée en Germanie, où plusieurs dizaines de lieux de culte, des mithraea, ont été identifiés. La plupart se trouvent dans la vallée du Rhin ou à proximité. Une fouille de sauvetage vient ainsi de révéler un «mithraeum», à Güglingen, entre Karlsruhe et Heilbronn. Sous la direction d'Andrea Neth, du Service régional des monuments historiques du pays de Bade, les archéologues ont

mis au jour les restes d'une maison à colombages présentant les caractéristiques des mithraea. Construit au sein d'une petite agglomération rurale traversée par une voie romaine, ce mithraeum fut détruit par le feu. Dans la couche de 30 centimètres d'épaisseur qui surmontait les vestiges, les archéologues ont retrouvé quelques artefacts alamaniques, ce qui prouve que la vie religieuse mithraïque avait cessé à la fin du III^e siècle, quand les Alamans s'installèrent dans la région.

Le culte de Mithra est d'origine persique. Quelque 2 000 ans séparent le Mithra iranien d'origine du Mithra tardif qui fit irruption dans l'empire Romain au cours du I^{er} siècle avant notre ère. Selon la légende, ce dieu solaire, bienveillant et gardien de la vérité, est né du rocher. Cette origine explique que les adeptes de Mithra aient souvent installé leurs lieux de culte dans des cavernes (par exemple à Bourg-Saint-Aréol, en Ardèche).



Lieu de culte voué à Mithra, datant du II^e ou du III^e siècle. On y observe Mithra armé d'un couteau (flèche à gauche) et un bonnet phrygien, typique du culte de Mithra (flèche à droite).

La chimie sexuelle de l'éléphant

Comment un éléphant mâle choisit-il sa partenaire? L'urine des femelles en chaleur contient une phéromone et, à la recherche d'une partenaire, l'éléphant prélève un peu d'urine du bout de sa trompe et approche l'«échantillon» de son organe voméronasal, qui porte des récepteurs où se fixe les phéromones, ce qui déclenche l'érection. Si la phéromone restait fixée sur ses récepteurs, l'éléphant devrait rester en érection. Bets Rasmussen et ses collègues de l'Université d'Oregon ont découvert qu'une autre molécule libérée dans les sécrétions nasales de l'éléphant après l'accouplement, «lave» l'organe voméronasal de la phéromone excitatrice. Reste à comprendre les rouages moléculaires qui conduisent à la libération de la molécule nettoyeuse.

50 000 antiatomes

Au CERN, 0,00000000000000000008 gramme d'antimatière, la substance la plus chère du monde, a été obtenu par Marco Amoretti et ses collègues! Cette petite quantité représente tout de même 50 000 atomes composés d'un antiélectron (ou positon) en orbite autour d'un antiproton, alors que les précédentes tentatives arrivaient à quelques centaines d'exemplaires. Les deux types d'antiparticules, produites lors de réactions à hautes énergies ont été freinées, puis piégées dans des «bouteilles» magnétiques. Une fois ces bouteilles mises en présence, des antiatomes se sont formés. Les physiciens les décelaient... quand ils disparaissaient. La détection simultanée des mésons et des photons de 511 kiloelectronvolts indique l'annihilation d'un antiatome. À l'aide de quantités appréciables d'antimatière, les physiciens espèrent vérifier que les propriétés spectroscopiques de l'antimatière sont bien rigoureusement identiques à celles de la matière, comme le prédit la théorie.

Un dinosaure à dents de lapin

Le dernier dinosaure découvert dans la formation géologique de Yixian, au Nord-Est de la Chine, qui a déjà livré les restes de dinosaures à plumes, ressemble à un croisement entre un lézard et un lapin! Le fossile a 128 millions d'années et a reçu le nom d'*Incisivosaurus gauthieri* (lézard à incisives Gauthier), en hommage au paléontologue américain et à ses travaux sur les dinosaures théropodes carnivores, dont fait partie le fossile. Pour certains paléontologues, les incisives de rongeur atypiques du nouveau fossile correspondraient à une adaptation à un régime herbivore.



Le mithraeum de Güglingen était probablement dépourvu de fenêtres, étant donné le nombre important de lampes à huile retrouvées sur place. Son plafond était recouvert d'une fresque constituée de motifs géométriques exécutés à partir de traits jaunes, rouges et vert foncé. Selon A. Neth, cette composition géométrique est étonnante, car les reconstructions du plafond des autres lieux de culte mithraïque révélaient toujours, jusqu'à présent, une représentation du firmament. Pour accentuer encore l'ambiance de crypte, les constructeurs du lieu de culte de Güglingen ont pris soin d'excaver le sol du bâtiment, procédé que l'on retrouve dans tous les mithraea qui ne sont pas installés dans des grottes.

Un mithraeum n'était pas un temple, mais un lieu de culte conçu pour accueillir une petite communauté, de l'ordre de 20 initiés. La forme allongée et la taille réduite de celui de Güglingen (5,5 mètres sur 14) s'accordent avec les dimensions modestes observées ailleurs. Les fidèles y participaient à des cérémonies quasi secrètes, dont le rite principal consistait en un repas pris en commun. Selon l'habitude romaine, ils mangeaient couchés, installés sur des banquettes de bois disposées le long des murs et la tête tournée vers les représentations divines sculptées sur les autels. Des restes de ces repas cérémoniels, notamment de nombreux os de volaille, ont été mis au jour. Les bas-reliefs décorant les autels représentent un bonnet phrygien (un sym-



Vue d'ensemble du lieu de culte voué à Mithra.

bole persique typique du mithraïsme), ou Mithra armé d'un couteau, une représentation de la naissance du Dieu à partir d'un rocher. Souvent recrutés au sein des gradés de l'armée romaine, les adeptes de Mithra formaient une sorte de société secrète, dont les ramifications s'étendirent jusqu'à l'empereur. Comme elle commençait à inquiéter les chrétiens, ils s'y opposèrent et finirent par obtenir son interdiction au IV^e siècle. Aurait-elle pu se substituer au christianisme au sein de l'Empire? Probablement pas : interdite aux femmes, secrète et élitiste, elle ne pouvait devenir une religion de masse.

Collisions de trous noirs

Des collisions de trous noirs supermassifs ont lieu dans l'Univers. En témoignerait la déviation de jets radio émis par certaines galaxies actives.

Les astrophysiciens pensent depuis longtemps que les trous noirs peuvent entrer en collision et fusionner pour former un trou noir de masse supérieure. De tels phénomènes ont été invoqués pour expliquer, par exemple, la débauche d'énergie des sursauts gamma, ces explosions si violentes qu'elles sont détectables d'un bout à l'autre du cosmos. Par ailleurs, on a observé que de très nombreuses collisions et fusions de galaxies se sont produites tout au long de l'histoire cosmique. Puisque le noyau de la plupart des galaxies contient un trou noir supermassif de quelques milliers à quelques

milliards de masses solaires, se pourrait-il que les rencontres galactiques donnent lieu à de cataclysmiques fusions de trous noirs? Oui, selon David Merrit, de l'Université Rutgers, aux États-Unis, et Ronald Eckers, du télescope australien.

Lorsque deux trous noirs fusionnent, le trou noir final doit posséder un moment cinétique égal à la somme des moments cinétiques des deux trous noirs précurseurs. Ainsi, si un trou noir géant, au cœur d'une galaxie, absorbe un autre trou noir, son axe de rotation doit changer de direction d'une quantité qui dépend de l'orientation de l'axe de rotation et de la masse du trou noir absorbé. Dans l'Univers, les trous noirs sont souvent en rotation rapide et, qu'ils soient supermassifs ou simplement de masse stellaire, ils expulsent parfois du plasma chaud par leurs pôles, le long de jets qui matérialisent leur axe de rotation. Ainsi, lorsqu'un trou noir émettant des jets polaires absorbe un autre trou noir en rotation, le changement de direction de son axe de rotation devrait se traduire par une déformation marquée de ses jets, déformation semblable aux