



Tout au chocolat

HERVÉ THIS

Comment introduire du chocolat dans toutes les pâtisseries.

Nœl, le réveillon du Nouvel An... Le chocolat s'impose, mais où l'introduire ? Une pâte feuilletée au chocolat, par exemple ? Le passionné de la brune fève sait que le chocolat contient du beurre de cacao, et il voudrait substituer ce dernier au beurre normal, pour confectionner la pâte feuilletée. Toutefois, il sait aussi que le chocolat est d'une dureté qui interdit la réalisation souhaitée. Quelques idées simples sur les changements d'état donnent la solution du problème et conduisent à une transposition de la majorité des recettes classiques de pâtisserie.

Pour réaliser de la pâte feuilletée, le pâtissier forme d'abord une «détrempe», en travaillant de la farine avec un peu d'eau, parfois du beurre. Puis il étale son pâton, et place dessus une couche de beurre qu'il a amolli en le travaillant un peu. Il replie les bords de la détrempe sur le beurre afin de l'envelopper complètement, puis il effectue des «tours» : six fois de suite, il allonge cette enveloppe beurrée au rouleau et la replie sur elle-même, de sorte que la pâte qu'il cuit finalement est composée d'une alternance de couches de pâte et de beurre.

Comment y mettre du chocolat ? Le chocolat à croquer, malgré son contenu en beurre de cacao, ne peut être utilisé à la place du beurre, parce qu'il est trop dur. Le beurre de cacao, qui est la matière grasse du chocolat (on n'évoquera pas ici les débats à propos des législations qui autorisent l'introduction d'autres matières grasses dans le chocolat), est composé à 80 pour cent de trois composés : trois «triglycérides», dont la molécule a un squelette de glycérol (ce que l'on nomme couramment la glycérine) auquel sont liés des «acides gras» (l'acide palmitique, l'acide stéarique et l'acide oléique).

Cette composition explique les remarquables propriétés physiques du beurre de cacao. Si le beurre de cacao n'était composé que d'une seule sorte de molécules, il fondrait à une température fixe, tout comme l'eau fond à 0 °C sous pression normale. Toutefois, comme il est formé de plusieurs types de molécules, sa température de fusion

s'étale sur une gamme de températures, qui commence à -7 °C (pour certains triglycérides) et s'achève à 34 °C. Malgré tout, le beurre de cacao est une matière grasse remarquable, car 75 pour cent de ses composés fondent entre 20 et 34 °C, et près de 50 pour cent entre 30 et 34 °C. Autrement dit, le chocolat n'est pas un corps pur, mais il n'en est pas très éloigné.

Cette caractéristique, qui est un avantage pour la consommation du chocolat en tablette, gêne le cuisinier, qui fait généralement ses préparations à des températures de l'ordre de 20 °C seulement. D'où les difficultés, notamment, pour la préparation de la pâte feuilletée. Pour la résoudre, comparons le beurre de cacao au beurre, plus hétérogène : le chocolat sera plus malléable si nous le rendons plus «impur». L'idée n'est pas neuve : les cuisiniers ont l'habitude de fondre du chocolat avec du beurre, afin d'obtenir des préparations chocolatées plus molles. Cependant, on peut poursuivre l'idée : à de l'huile neutre que l'on chauffe, on ajoute du chocolat, qui se mêle parfaitement et modifie à volonté les propriétés de fusion.

Cette idée conduit à la réalisation attendue, d'une pâte feuilletée au chocolat (notons qu'une autre solution aurait été l'ajout de poudre de cacao à la farine ou au beurre laitier), mais la systématique entamée conduit aussi à une transposition générale de tous les desserts.

Tous les desserts au chocolat ! De la pâte feuilletée, on arrive simplement à de la pâte à foncer au chocolat, à de la pâte brisée ou de la pâte sablée, toujours au chocolat : il suffit de remplacer le beurre par du chocolat dont la composition lipidique a été changée. De même, on fera de la pâte à savarin au chocolat, de la brioche au chocolat, de la pâte à choux au chocolat, de la pâte à biscuit à l'amande et au chocolat sans farine... Parfois, on parviendra même à mettre le chocolat où on ne l'attend pas, comme dans une crème amandine au chocolat : à du chocolat fondu, on ajoute de la poudre d'amande, un alcool, puis on mêle de la crème pâtissière (obtenue par cuisson de jaunes d'œufs, de sucre de lait et de farine).

Dans d'autres cas, où la matière grasse utilisée est la crème, plutôt que le beurre, la stratégie devra être différente : c'est la crème qui sera remplacée par une préparation au chocolat. Cette fois, la manipulation du point de fusion du chocolat ne suffit pas, car la crème est avant tout une émulsion, c'est-à-dire une dispersion de gouttelettes de matière grasse dans de l'eau (l'eau du lait) ; les gouttelettes restent durablement (mais pas indéfiniment) séparées, parce qu'elles sont entourées de molécules «tensioactives», avec une partie qui est hydrophile (elle se place dans l'eau) et une partie hydrophobe (qui vient au contact de la matière grasse).

Pour remplacer la crème, le cuisinier devra confectionner une émulsion de chocolat... ce qui n'est pas difficile : dans une casserole, placez une solution aqueuse (eau, café, thé, Cognac...), puis chauffez en ajoutant des carrés de chocolat ; une émulsion de chocolat se forme. Cette «béarnaise au chocolat» est l'équivalent de la crème.

Enfin, pour confectionner une bavaroise au chocolat, une nouvelle opération est nécessaire. Partons de la recette classique : on confectionne une crème anglaise, en fouettant du sucre en poudre avec des jaunes d'œufs, puis on ajoute du lait et on cuit la préparation ; on y dissout de la gélatine, et l'on incorpore enfin de la crème fouettée.

Où mettre le chocolat ? Les jaunes d'œufs ne peuvent être remplacés, car c'est leur coagulation qui donne à la crème anglaise sa texture : les agrégats d'œuf cuit sont en suspension dans l'eau du lait. La gélatine, non plus, ne peut être remplacée par du chocolat. La crème, alors ? Il s'agit, dans cette recette, de crème fouettée. Qu'à cela ne tienne : nous fouetterons une émulsion de chocolat et obtiendrons une mousse nommée chocolat Chantilly (voir *Pour la Science*, n° 230, décembre 1996). Et c'est cette mousse de chocolat qui sera ajoutée à la préparation. À vos tablettes !

Prochain rendez-vous France Info et Pour la Science le 27 décembre 2000, avec la chronique Info Sciences de Marie-Odile Monchicourt.

■ POUR LA SCIENCE

VOTRE ABONNEMENT 100 % NUMÉRIQUE

1 an au prix de 48 €

soit **4 € seulement par numéro** au lieu de ~~5,20 €~~

Pour consulter et télécharger
en toute liberté sur www.pourlascience.fr
les 12 prochains numéros
dès leur parution.



Oui, je m'abonne
à *Pour la Science* 100 % numérique
1 an (12 numéros) pour 48 €

Je préfère découvrir toutes
les offres d'abonnement disponibles
en cliquant ici.

Un nœud...peu gordien

Nous avons reconstitué un nœud en accord avec le mythe du nœud gordien tranché par Alexandre le Grand.

Jusqu'en 334 avant notre ère, en Phrygie, un temple érigé par le roi Midas et dédié à Zeus abrite un nœud noué par Gordius, le premier roi de Phrygie. Ce nœud est célèbre à travers le monde : une prophétie promet à celui qui le dénoue l'empire d'Asie ; ce fût Alexandre le Grand qui le trancha d'un coup d'épée !

Doit-on voir dans cette solution expéditive le tempérament radical d'un soldat ou plutôt, le fruit de la réflexion d'un ancien élève d'Aristote ? En d'autres termes, pouvait-on dénouer le nœud gordien sans le trancher ? Nous proposons ici quelques hypothèses et un exemple de nœud qui s'accorde avec la légende.

Que nous dit l'histoire ? Le nœud gordien, à l'abri dans son temple, a été une attraction très popu-

laire : de nombreux prétendants, alléchés par la prophétie, n'ont pas réussi à dénouer le nœud.

Tous les nœuds fabriqués à partir d'une corde non fermée peuvent être dénoués, c'est-à-dire que, quelle que soit leur complexité, ils peuvent être transformés en une corde lisse, ce n'est qu'une question de temps et de patience. Or la légende du nœud gordien n'indique aucune limitation dans le temps : on en déduit qu'il était fermé ou encore que les extrémités de la corde étaient jointes. En outre, l'historien grec Arrien (95-175), dans son ouvrage sur l'expédition d'Alexandre, indique qu'aucune extrémité du nœud n'était visible.

La configuration la plus simple d'un tel nœud fermé est une boucle. Dénouer un nœud revient alors à le transformer en une boucle simple. Cependant, certains nœuds fermés, dits non triviaux, ne peuvent être dénoués sans être coupés.

En mathématiques, cette observation est à la base de la classification des nœuds : des nœuds sont équivalents quand on passe de l'un à l'autre sans rompre la corde. Cette propriété évidente même pour un non-mathématicien l'était déjà au IV^e siècle avant notre ère. Ainsi, nous sommes à la recherche d'un nœud équivalent à une boucle simple. Pourtant, le nœud

imaginé par Gordius ne devait pas être facile à défaire. Nous pensons que c'était une boucle simple, enchevêtrée de telle façon qu'elle ne pouvait être dénouée par de simples manipulations.

Ces différentes propriétés nous conduisent à proposer un exemple de ce que pouvait être le nœud gordien (voir la figure) : une conformation équivalant à une boucle simple, mais que l'on ne peut pas transformer en une boucle simple sans étirer la corde dont est fait le nœud. Une corde fermée est repliée et nouée deux fois pour former à chaque extrémité de la boucle un domaine volumineux par lequel on fait passer la boucle terminale restante. Puis, la corde est rétrécie par un traitement, telle une déshydratation, qui réduit sa longueur et son élasticité. Au total, les deux boucles terminales ne sont plus assez longues pour repasser au-dessus des domaines terminaux : l'épée s'impose !

À l'inverse, lorsque le nœud n'est pas assez serré ou si la corde est élastique, les boucles terminales peuvent repasser par dessus les domaines terminaux. Par ailleurs, des simulations sur ordinateur et des manipulations avec des cordes réelles ont montré que des domaines composés chacun d'un unique nœud simple ne retiennent pas les boucles. Par leurs configurations, ces domaines sont quasi sphériques et les boucles terminales n'ont pas besoin d'être étirées pour repasser par dessus (voir la figure). Dans le cas d'un nœud lâche, l'épée n'est plus nécessaire et l'Asie aurait peut-être été gouvernée par un homme plus pacifique.

Piotr PIERANSKI, École polytechnique de Poznan, Pologne
Andrzej STASIAK, Université de Lausanne



UN NœUD qui pourrait être le célèbre nœud gordien est composé de deux domaines volumineux constitués chacun de l'extrémité d'une corde fermée nouée plusieurs fois ; les boucles terminales sont passées par dessus ces domaines avant que la corde ne soit rétrécie (en haut). Cette opération empêche les boucles de repasser en sens inverse : seule une épée peut dénouer un tel nœud. En revanche, des domaines composés d'un unique nœud simple sont insuffisants pour retenir les boucles terminales (en bas). Si tel avait été le nœud gordien, Alexandre aurait pu le défaire sans le trancher (ci-contre).



La tortue des steppes

Pour retrouver son domaine, elle se repère à l'odorat.

Les mécanismes d'orientation des animaux rivalisent d'ingéniosité : la boussole solaire des abeilles, l'orientation stellaire ou magnétique des oiseaux migrateurs... Se repérer au mieux pour optimiser l'exploitation des ressources est une question de survie. Les tortues des steppes (*Testudo Horsfieldii*) manifestent ainsi des capacités d'orientation étonnantes, sans doute grâce à l'odorat.

Ces petites tortues (20 centimètres de longueur et 1 kilogramme en moyenne), très répandues en Asie centrale, sont soumises à des températures extrêmes : 45 °C en été et -15 °C en hiver. Dès juin, quand les chaleurs de l'été arrivent, les tortues des steppes creusent le sol sableux et s'enterrent à 50 centimètres de profondeur. Elles ne sortiront de leur torpeur qu'en mars, quand les températures remontent. Ce sont des animaux ectothermes (leur température varie selon l'environnement, contrairement aux mammifères, endothermes, dont le métabolisme maintient la température corporelle), qui perdent moins de dix pour cent de leur masse pendant les neuf mois passés sans boire ni manger. À leur sortie, les tortues ne disposent que de trois mois pour se nourrir afin d'emmagasiner des réserves et pour se reproduire. D'autres espèces, par exemple les vipères péliades, qui vivent au-delà du cercle polaire, en Suède, ont une période d'activité aussi restreinte.



La tortue des steppes, qui vit en Asie centrale, passe neuf mois de l'année sous terre, en état d'hibernation, puis d'estivation. Pendant ses trois mois d'activité, elle optimise ses déplacements et se repère grâce à un mécanisme d'orientation très efficace, fondé sur l'odorat.

La période des accouplements des tortues des steppes dure seulement 15 jours, et les femelles pondent jusqu'à trois fois par saison. Pressées par le temps, les tortues font preuve d'une excellente connaissance de leur terrain. Les études menées depuis 1996 en Ouzbékistan ont montré que les tortues possèdent en effet un domaine vital vaste pour un animal de cette taille : une vingtaine d'hectares pour les mâles et une quarantaine pour les femelles. D'une année sur l'autre, elles restent fidèles à leur espace. Disposent-elles d'une capacité à se repérer dans l'espace, qui leur permettrait d'optimiser l'efficacité de leurs déplacements ?

Pour répondre à cette question, deux expériences ont été poursuivies durant l'été 2000. D'abord, 19 tortues ont été équipées d'un émetteur de radiofréquences, puis transportées dans des sacs hermétiques à 1 000 mètres hors de leur domaine vital. La position des tortues a alors été suivie jour après jour et leur trajet reconstitué. Trois jours plus tard, 18 tortues étaient déjà revenues sur leur lieu de capture, avec une vitesse moyenne de 85 mètres par heure, tandis que leur vitesse de déplacement habituelle ne dépasse pas 20 mètres par heure. De surcroît, le retour a été précis : les tortues n'ont parcouru que 1 383 mètres en moyenne au lieu des 1 000 mètres du trajet direct.

Comment ces tortues relâchées en terrain inconnu ont-elles retrouvé le chemin de leur domaine ? L'orientation magnétique semble le mécanisme d'orientation principal chez les tortues marines bien que des possibilités d'orientation olfactive aient été invoquées pour certaines tortues terrestres. Pour trancher, nous avons répété l'expérience, mais cette fois après avoir collé de petits aimants sur la carapace de 13 nouveaux animaux, afin de créer un « brouillage magnétique ». Les aimants perturbent localement le champ magnétique terrestre et désorientent les minuscules cristaux de magnétite présents dans le cerveau, comme on l'a montré chez les animaux capables de percevoir le champ magnétique terrestre. Ces animaux sont alors « déboussolés ».

Le résultat fut sans appel : 12 des 13 tortues sont rentrées dans leur domaine sans difficulté et aussi rapidement qu'en l'absence de brouillage magnétique. L'hypothèse de l'orientation magnétique est ainsi éliminée. Les tortues des steppes retrouvent-elles leur chemin grâce à l'odorat ? Il reste désormais à tester cette hypothèse, après avoir mis au point des méthodes pour masquer l'olfaction, sans perturber les réactions naturelles des tortues.

A. LEGRAND et D. CHARFALLOT,
Centre d'études biologiques de Chizé

BRÈVES

L'âge des pyramides

Comment les grandes pyramides de Gizeh ont-elles été orientées vers le Nord avec une telle précision ? Selon l'égyptologue britannique Kate Spence, les Égyptiens se fondaient sur le passage simultané à la verticale de deux étoiles : Kochab de la petite Ourse et Mizar de la grande Ourse. La légère déviation observée dans l'orientation des pyramides successives serait due à l'évolution de la carte céleste au fil des siècles, résultant du déplacement de l'axe de rotation de la terre. Si l'hypothèse est vérifiée, les astronomes pourraient calculer l'âge de ces pyramides à cinq ans près.



Aiguilles sur mesure

Pour qu'un vaccin intramusculaire soit efficace, le liquide injecté doit atteindre, comme son nom l'indique, un muscle. Or, une équipe américaine vient de constater que ce n'est pas le cas chez les personnes trop grosses : sur les 220 personnes vaccinées qui ont été suivies, 17 pour cent des hommes et près de 50 pour cent des femmes n'ont pas été correctement vaccinés, car l'aiguille standard utilisée (16 millimètres de longueur) n'avait pas pénétré dans le muscle : la solution vaccinale avait été injectée dans la couche de graisse qui recouvre le muscle. Cette dernière est peu vascularisée, de sorte que l'antigène vaccinal y stagne sans activer le système immunitaire. Des aiguilles plus longues devraient être utilisées pour les personnes « enrobées ».

Les turbots respirent par la peau

Les turbots obtiendraient 30 pour cent de leur oxygène par l'intermédiaire de leur peau, d'après une étude sur les poissons marins d'élevage de l'IFREMER. En cas de raréfaction de l'oxygène dans l'eau, le poisson n'a plus assez d'énergie pour augmenter la fréquence des mouvements qui facilitent le passage de l'eau dans les branchies. L'appareil respiratoire cutané prend alors le relais : la peau du turbot, mince et dépourvue d'écaillles, laisse diffuser l'oxygène. La peau de tous les poissons plats, tels la sole ou le flet, jouerait aussi le rôle d'organe respiratoire annexe.

L'origine de la cocaïne

Afin de lutter contre le trafic de la cocaïne, une équipe de l'Université de l'Utah et du département américain de la justice a mis au point une méthode pour retrouver le pays où a été cultivée la drogue ; il leur suffit de quelques grammes. Pour ce faire, ils ont analysé les isotopes du carbone et de l'azote dans des feuilles de coca provenant de cinq régions productrices d'Amérique du Sud. Les quantités de carbone 13 et d'azote 15 diffèrent selon les régions. Pour l'azote, les rapports isotopiques varient en fonction de la constitution du sol, pour le carbone en fonction de l'humidité et de la longueur de la saison des pluies. Les traces d'alkaloïdes renseignent aussi sur l'origine des feuilles. On peut ainsi décrire les «cartes d'identité» des feuilles provenant des principaux sites de culture. De cette façon, les chercheurs ont retrouvé les régions d'origine de 192 des 200 échantillons analysés.

L'orbite de Néandertal

L'individu dont un fragment de crâne a été retrouvé en 1856 à Néandertal, près de Dusseldorf, a donné son nom à toute une espèce d'hominidés : les Néandertaliens. Le lieu de la découverte n'avait jamais été fouillé de façon systématique, jusqu'à ce que deux archéologues des Monuments historiques allemands reprennent les fouilles. Sensation ! Un morceau de l'orbite de l'individu de 1856 se trouvait parmi les nombreux restes rassemblés. Le visage du premier Néandertalien va enfin être reconstitué.



J. Thissen et R. Smitz

Le dîner du dinosaure

Les dinosaures herbivores, notamment les diplodocus, ne dévoraient pas la cime des arbres. L'australien Roger Seymour a montré que ces grands mangeurs de feuilles ne pouvaient pas dresser leur cou pour atteindre les plus hautes branches : leur cœur ne le leur permettait pas ; il était trop petit pour pomper le sang jusqu'à la tête, si les animaux avaient redressé leur cou. En comparant la taille du cœur de différentes espèces en fonction de la longueur du cou, il en a déduit que, pour relever la tête, il aurait fallu que le ventricule droit de leur cœur pèse... deux tonnes. Ils devaient se contenter des feuilles à la hauteur de leur tête, quand leur cou était à l'horizontale.

Culte vaudou à Mayence

Des fouilles de sauvetage ont révélé des pratiques magiques dans un lieu de culte domestique romain.

Au II^e siècle, une femme trompée par son mari se rend au lieu de culte domestique de Mogontiacum, une ville rhénane de la frontière Nord de l'empire romain, devenue Mayence aujourd'hui. Après s'être procuré une statuette chez un marchand, elle s'enferme dans l'une des maisonnettes de prière, allume des lampes à huile, brûle de l'encens sur l'autel en terre, puis y dispose des nourritures précieuses : figues et dattes séchées, pignons... Psalmodiant le nom d'une divinité celte, elle brise la statuette par le milieu, puis place la partie inférieure dans un trou, phallus vers le haut pour bien montrer aux dieux sur quoi s'abat sa vengeance. Pour renforcer encore sa malédiction, elle couche ensuite la partie supérieure de la statuette le nez dans la boue, comme on enterrait alors les criminels condamnés.

Les archéologues ignorent qui fut ainsi maudit, mais ils ont retrouvé chacun des éléments de cette scène. Au printemps 2000, une fouille de sauvetage a été menée dans le vieux Mayence. La mise au jour d'un lieu de culte domestique a révélé comment priait le peuple de cette ville de garnison romaine. L'endroit se trouve non loin de l'ancienne rue qui reliait l'un des camps militaires au pont sur le Rhin. Pour accéder aux vestiges romains, les archéologues ont évacué six mètres de remblais situés sous les restes d'un monastère moyenâgeux.

Mayence est l'une de ces cités, où l'on ne peut faire un trou sans découvrir des vestiges. La ville a été fondée sous l'empereur Auguste au cours de l'invasion romaine (-27 à 14). Afin de se garder des attaques sporadiques des germains qui vivaient au Nord du fleuve, les Romains y érigèrent progressivement un mur fortifié de 550 kilomètres de long : le *limes*. Il fallait des troupes pour le garder et des bases arrière. En deçà du fleuve, le site de Mayence était stratégique, puisque placé face au confluent du Main et du Rhin. Jusqu'à 20 000 combattants, c'est-à-dire quatre légions y furent cantonnées. Comme le nouveau camp accueillait presque autant de troupes de soutien, il concentrait un énorme pouvoir d'achat, qui bientôt attira, marchands, artisans, tenanciers d'au-

berges, prostituées... Mayence était née. La ville eut bientôt son théâtre, son aqueduc, son lieu de culte...

Lieu grouillant de vie, ce dernier se composait d'une série de fosses maçonnées, où les adorateurs célébraient leurs dieux. Des restes de pieux en bois attestent que ces fosses étaient probablement recouvertes d'une maisonnette à colombage. Une guilde de petits marchands s'y était fixée, qui servait les citoyens venus prier, leur vendait des ustensiles de culte, les approvisionnait... Aucune trace de temple n'a été retrouvée à proximité du lieu de culte domestique.

Nul ne sait quels dieux y étaient honorés. Trouaille exceptionnelle, une statuette masculine (*ci-dessous*) a été découverte, laquelle porte des traces manifestes de torture. Elle indique que les habitants pratiquaient des malédictions. S'agit-il là d'un reste de magie celte ? Nul ne le sait. Les archéologues ont aussi dégagé une dizaine de tablettes de plomb. Les adorateurs romains y inscrivaient leur suppliques avant de les rouler et de les cacher dans un lieu sacré. En voie de restauration, elles n'ont pas encore été déroulées.

Une chose intriguait les Mayençais : pourquoi les anciens habitants de Mayence ont-ils consacré à leurs rites un endroit aussi central de la ville ? Un mystère que les fouilles ont éclairci en révélant la présence sur le lieu de culte de deux tumulus (tombes celtes). Une sensation, car personne n'avait encore la preuve que les Celtes occupaient le site avant les Romains. L'hypothèse semblait pourtant bonne puisque le nom Mogontiacum dérive de celui du dieu celte de la lumière : Magon. La majorité des habitants de la ville était probablement des celtes romanisés, qui respectaient les cimetières de leurs ancêtres.

Andrew COLE et Rainer FAHR



Lors des fouilles récentes d'un lieu de culte de la ville romaine de Mogontiacum (Mayence), la trouvaille la plus intéressante fut cette statuette ; cette dernière avait été brisée indiquant peut-être la pratique d'une sorte de malédiction, de magie celte.