

Forges gallo-romaines

Les déchets renseignent sur l'organisation des forges et sur le savoir-faire des forgerons.

Les forgerons gallo-romains étaient réputés pour leur savoir-faire. Comment travaillaient-ils ? Les rares produits finis découverts dans les ateliers des sites archéologiques apportent peu d'informations sur les étapes de leur fabrication. En revanche, l'analyse physique et chimique des déchets produits lors du forgeage a permis de reconstituer l'activité d'ateliers du I^{er} siècle de notre ère. L'étude fine de ces déchets nous informe même sur le niveau technique des forgerons qui travaillaient là.

Lors du chauffage d'une pièce en acier, un oxyde, la calamine, se forme au contact de l'oxygène de l'air. Les contraintes mécaniques exercées sur la calamine par le forgeage la détachent de la surface sous forme de petits éléments, nommés battitures. La composition physico-chimique, la forme et la structure cristallographique des battitures renferment des informations sur l'opération de forgeage qui les a engendrées : température, martelage et technique.

Nous avons produit un ensemble de battitures pour plusieurs opérations associées au forgeage définies à partir de données archéologiques et ethnographiques et dans des conditions variées et bien caractérisées. La comparaison, avec ces battitures de référence, des battitures découvertes sur les sols d'ateliers qui ont fonctionné entre 15 et 80 de notre ère, sur le site de la Cité judiciaire, à Bordeaux, a révélé

que des forgerons-charrons y avaient principalement fabriqué des bandages de roues.

Nous avons localisé, sur une importante aire d'activités, des ateliers correspondant à sept étapes successives de fabrication : fabrication d'ébauches par étirage de lingots de métal brut ; réalisation de profilés à section rectangulaire ; assemblage des profilés en bandages de longueur désirée ; calibrage des bandes ; traitement thermochimique ; formage et cintrage sur un gabarit ; fermeture du cercle par soudage localisé à chaude portée (les deux extrémités à souder sont portées à 1 250 °C environ par martelage, puis des minéraux projetés réduisent la température de fusion du métal en surface et empêchent la formation d'oxydes).

Des analyses qualitatives de battitures produites par deux ateliers d'une même zone, donc par des opérations semblables, révèlent des structures microscopiques et des compositions chimiques légèrement différentes : ces variations résultent du savoir-faire des forgerons. Ceux-ci évaluent en effet la température de chauffe en fonction de la couleur du métal. Cette perception varie d'un individu à l'autre et peut produire un écart de 40 à 70 °C, suffisant, par exemple lors d'une opération de soudage, où l'on ajoute des fondants minéraux, pour modifier la constitution physique ou chimique des battitures. De même, une frappe plus ou moins régulière du forgeron laisse des stigmates reconnaissables dans les battitures. L'observation et la comparaison des battitures sur ces critères permet ainsi de distinguer les productions de plusieurs forgerons.

Jean-Claude LEBLANC, Lab. de minéralogie et de cristallographie, Université Paul-Sabatier, CNRS UMR 5563, Toulouse

BRÈVES

Cosmologie ancienne

Dans le Sud du Sahara égyptien, sur le site de Nabta, des archéologues ont découvert un alignement de mégalithes plus ancien que tous ceux qui étaient connus. Ces pierres, dont certaines ont près de trois mètres de hauteur, ont été érigées il y a 6 000 à 6 500 ans (1 000 avant Stonehenge), alors que la région, moins aride qu'aujourd'hui, était peuplée de bergers. Ces alignements avaient-ils une fonction astronomique ? Vraisemblablement, car plusieurs d'entre eux sont orientés selon les points cardinaux. En outre, un cercle de ces mégalithes est ouvert dans la direction du lever du Soleil au solstice de juin de cette époque. Il y a 5 000 ans, la désertification de la région la dépeupla. L'exode de ses habitants vers la vallée du Nil aurait favorisé le développement économique et culturel de la Haute Égypte.



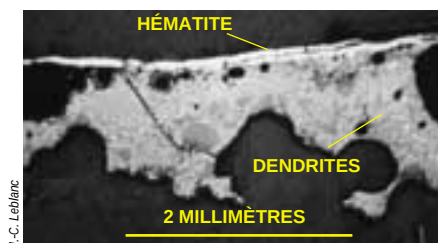
Nuit de labour

La nuit est propice aux labours : les graines de la plupart des mauvaises herbes requièrent de la lumière pour la germination, alors que les graines de semis comme le blé germent dans le noir. Aussi, quand on laboure de jour, des graines de mauvaises herbes sont amenées à la surface où elles germent avant d'être enfouies à nouveau. À l'inverse, les labours de nuit ne permettent pas la germination des mauvaises herbes, de sorte qu'une quantité inférieure d'herbicide est requise.

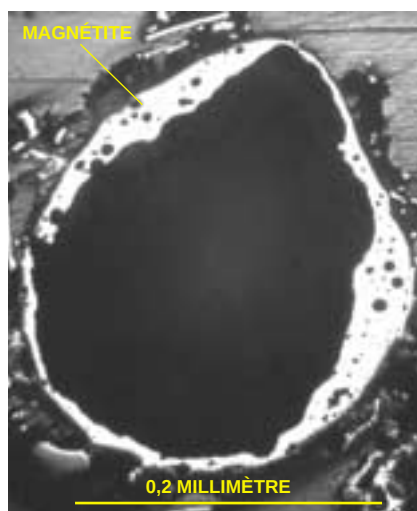
De nouveaux antibiotiques

De plus en plus de bactéries résistent aux antibiotiques, et plusieurs souches sont déjà multirésistantes. Pour éviter d'être démunis face aux maladies bactériennes, on doit utiliser avec parcimonie les antibiotiques encore efficaces ou trouver de nouvelles classes de ces précieux médicaments. Une équipe de Boston a synthétisé de la myxopyronine, une substance qui inhibe la multiplication des bactéries résistantes, et que, jusqu'à présent, on n'avait isolé qu'en quantité infime, dans certaines bactéries. La myxopyronine inhibe l'enzyme ADN polymérase bactérienne, indispensable à la réplication cellulaire, sans agir sur l'enzyme correspondante humaine.

Suite page 22



La structure microscopique et la composition chimique des déchets, nommés battitures, produits par le forgeage sont caractéristiques de l'opération réalisée. Une battiture lamellaire (à gauche), avec un liseré d'hématite et des dendrites en oxydes de fer cristallins, a été produite lors du forgeage et du soudage d'une grosse pièce. Une petite battiture globulaire creuse (à droite), entourée d'une pellicule de magnétite, est un résidu du soudage d'une petite pièce.



Viagra : les premiers doutes

Une étude conduite sur 532 hommes, la moitié prenant la pilule *Viagra*, qui rétablit la fonction érectile, l'autre moitié recevant un placebo, vient d'être publiée dans le *New England Journal of Medicine* : les hommes prenant *Viagra* ont eu deux fois plus d'érections. Toutefois, les hommes qui ont participé à l'étude n'étaient pas tous impuissants. En outre, la pilule ne traitait pas la cause de l'impuissance, les patients risquent d'augmenter les doses, ce qui inquiète les ophtalmologistes : *Viagra* dilate les vaisseaux, augmen-



Musées du Vatican

tant l'afflux de sang dans le pénis en inhibant une enzyme qui, par ailleurs, est indispensable au bon fonctionnement des cellules de la rétine responsables de la vision des couleurs. Or les personnes ayant un déficit congénital de cette enzyme finissent par souffrir de lésions irréversibles de la rétine. Une surconsommation de *Viagra* aura-t-elle les mêmes conséquences?

Le «star system»

Une société de l'Illinois qui, en échange de quelques centaines de francs, attribue à des étoiles les noms choisis par ses clients est poursuivie pour publicité mensongère : les astronomes n'utilisent, outre les coordonnées stellaires, que les noms attribués par l'Union astronomique internationale, qui ne commercialise pas ces noms.

Riches gallo-romaines

Deux sépultures du Bas-Empire romain (IV^e siècle de notre ère), exceptionnellement conservées, ont été découvertes à Naintré, dans la Vienne. Deux caveaux accolés contenaient chacun des vases, de la vaisselle, divers autres objets familiers, et aussi un sarcophage en pierre et un cercueil en plomb. À l'intérieur de ces derniers, qui n'ont été qu'entrouverts, les restes de deux femmes de classe aisée sont couverts de leurs vêtements et reposent sur des étoffes. Le Centre archéologique régional de Poitiers installe un laboratoire en atmosphère contrôlée (80 pour cent d'humidité et 5°C) avant de rouvrir les cercueils et d'en entreprendre l'étude.

Suite page 24

Rééducation accélérée

L'injection de stimulants facilite la récupération de chats paraplégiques

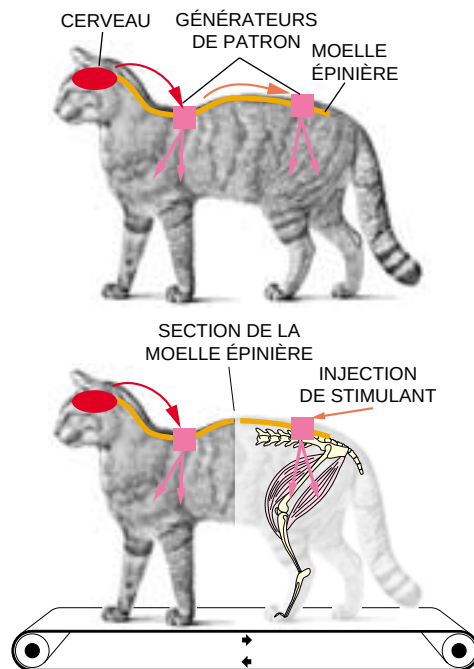
Une lésion de la moelle épinière, due à un traumatisme vertébral ou à une maladie, entraîne souvent une paralysie des membres inférieurs. Saura-t-on un jour faire remarquer les personnes atteintes? Nous avons rééduqué les membres postérieurs de chats paraplégiques en combinant un entraînement sur tapis roulant et l'injection temporaire d'un produit stimulant.

Comment marchons-nous? Chez les mammifères supérieurs, comme chez les invertébrés et chez les vertébrés primitifs, le «patron locomoteur», séquence d'activation coordonnée des muscles qui produit les mouvements alternés des membres, du corps ou des appendices nécessaires à la locomotion, est engendré par un ensemble de neurones nommé «générateur central de patron» qui est situé, pense-t-on, dans la moelle épinière. Les centres supérieurs du cerveau l'activeraient et l'adapteraient aux besoins de l'animal (vitesse, direction...) en libérant des neurotransmetteurs. La peau, les muscles et les articulations transmettent aussi au générateur de patron des informations qui permettent l'adaptation des mouvements aux contraintes de l'environnement immédiat (obstacles, surface inégale, etc.).

Chez des chats dont la moelle épinière est coupée au niveau de la dernière vertèbre thoracique, le cerveau ne commande plus le générateur central de patron des membres postérieurs, car les neurotransmetteurs qui activent la marche sont synthétisés par des neurones situés au-dessus de la moelle épinière, dans le tronc cérébral. Le train arrière reste donc paralysé.

Nous avons injecté dans l'arrière-train de tels chats, près de la moelle épinière, de la clonidine, une molécule qui imite certaines actions des neurotransmetteurs et qui active des neurones de la moelle épinière. L'enregistrement de l'activité musculaire montre l'apparition d'une activité rythmique alternée dans les deux membres quelques minutes seulement après l'injection de la clonidine. Placé sur un tapis roulant, l'animal commence à marcher.

En outre, l'injection quotidienne de clonidine, les jours qui suivent la lésion, permet l'entraînement quotidien du



Chez les vertébrés supérieurs, les muscles responsables de la marche sont activés (flèches roses) par des générateurs de patron locomoteur (carrés roses) situés dans la moelle épinière (trait orange) ; ces générateurs sont activés lorsqu'ils reçoivent des neurotransmetteurs (flèches rouges) émis par le cerveau. Chez un chat dont la moelle épinière est coupée (en bas), la commande volontaire de la marche du train arrière est impossible. L'injection d'un stimulant (clonidine) près du générateur de patron facilite la marche sur tapis roulant : après une semaine d'entraînement, le chat marche seul sur le tapis.

chat à la marche sur un tapis roulant (cet entraînement précoce serait impossible sans la drogue). La récupération locomotrice semble ainsi accélérée : en une semaine environ, au lieu de plusieurs, le chat peut marcher sur le tapis roulant avec son train arrière sans injection préalable de clonidine.

Une telle approche combinant l'entraînement locomoteur et la pharmacothérapie, de même que la stimulation électrique fonctionnelle des membres, est en cours de validation chez l'homme dans des laboratoires québécois et français. Elle faciliterait une certaine récupération fonctionnelle. Elle ne rétablit toutefois pas la commande volontaire de la marche. D'autres thérapeutiques sont aussi explorées : la greffe de cellules libérant des substances analogues à la clonidine dans la moelle épinière, ou de cellules qui rétablissent des connexions entre les parties lésées de la moelle épinière et le générateur central de patron qui commande les jambes.

Serge ROSSIGNOL

Centre de recherche en sciences neurologiques, Université de Montréal

Suicide nuptial chez les fourmis

Le mâle est tué par la femelle juste après l'accouplement.

L'organisation des sociétés de fourmis est variée : certaines se répartissent rigoureusement les tâches, d'autres non. C'est du moins ce que l'on pensait, car Christian Peeters, du Laboratoire «Fonctionnement et évolution des systèmes écologiques», et Thibaud Monnin, du Laboratoire d'éthologie expérimentale et comparée, ont montré que, même dans certaines espèces non spécialisées, seules quelques fourmis assurent la reproduction de la colonie.

Dans la plupart des sociétés de fourmis, deux catégories de femelles adultes cohabitent. D'une part, les ouvrières, sans ailes et généralement stériles, accomplissent les tâches sociales, telles que l'élevage du couvain, l'approvisionnement ou encore la défense. D'autre part, les reines, ailées et reproductrices, s'envo-

lent à la recherche d'un partenaire étranger à la colonie et fondent une nouvelle société.

Au contraire, parmi les quelque 1 500 espèces de fourmis, dites primitives, qui ressemblent à des guêpes, le dimorphisme entre reines et ouvrières est peu marqué ; dans certains groupes dépourvus de reines, toutes les ouvrières peuvent s'accoupler ; elles ont une spermathèque fonctionnelle, un organe où le sperme du mâle est stocké.

Pourtant, chez certaines espèces de ces groupes sans reine, seule certaines fourmis se reproduisent (comme dans les sociétés hiérarchisées). La stratégie des mâles dépend alors du nombre de femelles capables de s'accoupler. Chez une fourmi indienne, par exemple, où toutes les ouvrières peuvent se reproduire, le mâle s'accouple à plusieurs jeunes femelles : seules les fourmis où la concentration en hormones de la reproduction augmentera jusqu'à stimuler l'activité ovarienne seront fécondées et pondront des œufs. L'espèce *Diacamma australe* a adopté une autre stratégie, où la régulation intervient avant l'accouplement : une ouvrière dominante castré les autres ouvrières en leur arrachant leurs ébauches d'ailes. Cette ablation inhibe le cycle hormonal qui aboutit normalement à l'ovulation. Seule l'unique ouvrière ailée est fécondable.

C. Peeters et T. Monnin ont également observé que toutes les ouvrières de l'espèce brésilienne primitive *Dinoponera quadricaps* – la plus grande fourmi du monde, puisqu'elle mesure environ trois centimètres – ne s'accouplent pas. Chez *Dinoponera quadricaps*, la régulation a lieu avant l'accouplement. Chaque groupe compte au maximum une centaine d'ou-

vières, toutes identiques. À la mort de l'ancienne reproductrice ou après scission de la colonie, des affrontements ritualisés établissent très vite une hiérarchie sociale où se détache une ouvrière dominante qui, campée sur ses pattes, a un maintien arrogant. Seule cette ouvrière, nommée alpha, s'accouplera. Les sécrétions d'hormones sexuelles d'une fourmi dépendent de sa position hiérarchique, et elles sont maximales chez l'ouvrière alpha.

Cette fourmi est la seule à faire de brèves sorties, chaque soir, aux abords du nid, à la recherche d'un prétendant étranger à la colonie. Sitôt accouplée, la femelle fait basculer son abdomen vers l'avant ; elle entraîne le mâle devant elle et lui sectionne l'abdomen. L'acte dure une à deux minutes. Elle met ensuite près d'une demi-heure à se débarrasser des pièces génitales de son partenaire qui sont restées engagées dans son propre appareil sexuel. Elle n'est alors plus réceptive aux avances d'autres prétendants potentiels.

Dans cette espèce, les mâles, qui ne vivent qu'un à deux jours, meurent pour assurer leur descendance. Un mâle n'a guère de chances de trouver une deuxième fourmi alpha vierge au cours de sa brève vie et se sacrifie pour empêcher un rival de s'accoupler. Selon C. Peeters, le «bouchon d'accouplement» est une garantie de paternité. Puisqu'au bout d'une trentaine de minutes, la femelle n'est plus sexuellement réceptive, le mâle kamikaze aura fécondé tous les œufs de la fourmi alpha pendant la période où elle est fécondable. Un tel bouchon d'accouplement existe chez d'autres fourmis primitives, notamment chez *Diacamma australe*, où des ouvrières stériles viennent sectionner l'abdomen du mâle après l'accouplement de la fourmi qui pondra les œufs de la colonie.

Marie-Thérèse LANDOUSY



La femelle (à gauche) a basculé son abdomen vers l'avant et entraîné le mâle qui la couvrait. Elle sectionne alors l'abdomen du mâle avec ses mandibules.

Un vaccin contre le cancer ?

De petites vésicules sécrétées par l'organisme stimulent le système immunitaire, qui détruit certaines tumeurs chez la souris.

Les cellules tumorales portent des molécules nommées antigènes qui devraient les signaler à l'attention du système de défense de l'organisme : ces cellules expriment, par exemple, des protéines anormales codées par un gène muté ; or le système immunitaire est activé quand il reconnaît des

molécules étrangères, et il détruit les cellules qui les portent. L'idée est née, il y a quelques années, qu'en stimulant le système immunitaire contre les protéines portées par les cellules tumorales – les antigènes tumoraux –, on disposerait d'un moyen de lutter contre le cancer : c'est l'immunothérapie adoptive. Travaillant dans cette voie, l'équipe de Laurence Zitvogel, à l'Institut Gustave Roussy, et celle de Sebastian Amigorena, à l'Institut Curie, viennent d'isoler des particules qui activent suffisamment le système immunitaire pour que, chez des souris, certaines tumeurs régressent, voire disparaissent.

Le système immunitaire est activé quand les antigènes étrangers sont absor-

bés par des cellules dites présentatrices d'antigènes, qui les découpent en morceaux (les peptides antigéniques) et les exposent correctement à leur surface. Les cellules dendritiques sont de telles cellules présentatrices d'antigènes. Tant qu'elles sont immatures, elles ne sont pas capables d'activer directement les lymphocytes T, mais absorbent les antigènes, les découpent et les associent aux molécules du complexe majeur d'histocompatibilité de classe I et II. Ces paires peptides-molécules du complexe majeur d'histocompatibilité sont transportées à la surface des cellules dendritiques en cours de maturation, lesquelles deviennent capables de présenter les antigènes et d'activer les lymphocytes T.