

ARCHÉOLOGIE

UNE NOUVELLE CITADELLE ANNULAIRE VIKING

La discrète trace ronde visible dans un champ de l'île de Seeland, au Danemark, correspond à l'une des forteresses du roi viking surnommé Harald à la dent bleue.

Le pied à peine posé en Angleterre, Guillaume le Conquérant, au XI^e siècle, bâtit un château de bois. Les Normands maîtrisèrent ensuite le territoire anglais à l'aide d'un réseau stratégique de 500 mottes castrales (des tertres). Au X^e siècle, Harald à la dent bleue, l'allié danois de l'arrière grand-père de Guillaume, ne procéda pas autrement pour unifier le Danemark en un royaume. Mais au lieu de mottes castrales, il construisit de curieuses citadelles annulaires, qu'il installa en nombre à la croisée de toutes les routes et voies d'eau importantes des zones riches de son territoire. Étonnamment, on n'avait jamais trouvé une telle forteresse dans le sud de l'île de Seeland, pourtant l'une des plus riches régions scandinaves. C'est désormais chose faite: Søren Sindbæk, de l'université d'Aarhus, au Danemark, et deux collègues ont identifié une structure parfaitement circulaire dans un champ nommé Borgring (littéralement «château annulaire»!), non loin de la ville de Køge, à une quarantaine de kilomètres au sud de Copenhague.

Lorsqu'ils ont commencé leur enquête sur la forteresse présumée, les chercheurs disposaient du plan exact des citadelles annulaires vikings. On le connaît en effet grâce à la forteresse particulièrement bien conservée de Trelleborg, au Danemark: remparts circulaires en terre et gazon, renforcés du côté interne par des assemblages de poutres verticales et horizontales; bardage extérieur du rempart en rondins; fossé en V circulaire; rues pavées de bois reliant à angle droit des portails placés au nord, au sud, à l'est et à l'ouest; quatre cadrans contenant chacun quatre maisons délimitant une cour.

Les chercheurs ont donc recherché ces éléments. À l'aide d'un magnétomètre, ils ont d'abord démontré le caractère presque parfaitement circulaire de la structure. Ils ont ensuite établi que les remparts avaient été édifiés à l'aide de mottes de terre ou de gazon et d'argile. Des lignes radiales en marquent l'emplacement qu'ils interprètent comme les traces d'anciennes charpentes de renfort sous-jacentes aux remparts. Larges de 10-11 mètres, ces derniers forment un cercle d'un diamètre moyen de



Ci-dessus, cette restitution à échelle réduite d'une forteresse viking circulaire du type de celle de Trelleborg montre l'un de ses portails et le bardage de poutres qui en protégeait les remparts. Ci-dessous, la flèche jaune indique où se trouve la trace visible en télémétrie lidar de la citadelle découverte dans un champ nommé Borgring, qui signifie littéralement «château annulaire».



122 mètres. À l'extérieur des remparts, les chercheurs ont retrouvé des trous de poteaux en bois massif d'une quarantaine de centimètres de diamètre, dessinant un cercle d'un diamètre extérieur de 144 mètres: les restes du bardage.

Afin d'être sûrs, les chercheurs devaient aussi identifier au moins deux portails situés en des points cardinaux. En suivant le bardage le long du mur nord-ouest, ils sont parvenus en un point où il plonge brusquement vers l'intérieur: la fouille a alors révélé les restes de poteaux brûlés, puis d'un portail incendié large d'environ 5 mètres, ainsi que de planches posées à plat sur le sol. Dès lors, ils ont pu rechercher par sondage un autre portail situé à angle droit. Ils ont choisi de rechercher le portail est, et l'ont effectivement trouvé (incendié lui aussi) à l'endroit attendu.

La datation par le radiocarbone de deux fragments de bois place la construction entre 893 et 1017, ce qui est compatible avec la très courte période de construction des citadelles circulaires, située vers 975-980.

Ainsi, il se confirme que Harald à la dent bleue a bien stabilisé son royaume en établissant très vite un maillage stratégique de forteresses rondes en rondins: le premier réseau Bluetooth en quelque sorte! ■

FRANÇOIS SAVATIER

H. Goodchild *et al.*, *Antiquity*, vol. 91(358), pp. 1027-1042, 2017

TRIGONOMÉTRIE BABYLONIENNE ?

Une tablette d'argile de 3 700 ans, retrouvée au début du xx^e siècle dans le sud de l'Iraq, fait en ce moment débat : à quoi servait-elle ? Composée de quatre colonnes et quinze lignes, elle contient une collection de triplets de Pythagore, des entiers vérifiant la relation $a^2 + b^2 = c^2$ entre côtés d'un triangle rectangle. Daniel Mansfield, de l'université de la Nouvelle-Galles du Sud, en Australie, avance dans une étude que la tablette servait à des calculs trigonométriques, bien avant leur introduction par les Grecs. Une idée séduisante, mais très spéculative d'après la plupart des spécialistes.

UNE ÉTOILE EN ORBITE RELATIVISTE

Les anomalies observées dans l'orbite de Mercure autour du Soleil s'expliquent par d'infimes effets de correction de la relativité générale par rapport à la gravitation newtonienne. Une équipe menée par Marzieh Parsa, de l'université de Cologne, vient d'observer un effet similaire, de quelques pourcents par rapport à l'orbite newtonienne, pour l'étoile S2 tournant autour du trou noir supermassif au centre de la Voie lactée, à 26 000 années-lumière de nous.

SCHIZOPHRÉNIE ET TEMPS TROUBLÉ

La schizophrénie touche 600 000 personnes en France et 0,7 % de la population mondiale. L'équipe d'Anne Giersch, de l'université de Strasbourg, a constaté, chez les patients atteints, un lien entre les troubles de la personnalité, relatifs à la notion du « soi », et ceux de la perception du temps. Les chercheurs ont proposé des tests cognitifs à une cinquantaine de personnes. Celles souffrant le plus des troubles du « soi » avaient aussi le plus de mal à lier des événements discontinus et donc à les intégrer dans un continuum temporel.

MACROPHAGES ET TESTICULES

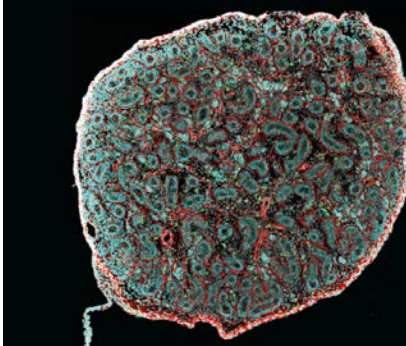
En plus de participer, avec le reste du système immunitaire, à la lutte contre les agressions extérieures, les macrophages jouent un rôle de gardien de la fertilité en modérant la réponse immunitaire. L'équipe de Michael Sieweke, du Centre d'immunologie de Marseille-Luminy, a précisé comment ces cellules gardiennes se mettent en place.

Les testicules assument un double rôle : libérer des hormones masculines telles que la testostérone et produire les cellules reproductrices – les spermatozoïdes. Or ceux-ci apparaissent à la puberté, mais l'éducation du système immunitaire visant à ne pas éliminer de cellules du soi se développe bien avant ce stade. Les spermatozoïdes pourraient donc ne pas être reconnus comme tels et détruits. C'est grâce à l'intervention de deux types de macrophages testiculaires, dont l'origine vient d'être caractérisée, que la fonction des testicules est préservée.

Par des techniques de traçage cellulaire, les chercheurs ont montré que deux compartiments du testicule sont peuplés de macrophages : le compartiment interstitiel, qui contient aussi les cellules productrices de testostérone, et le compartiment tubulaire, autour des tubes séminifères qui abritent les précurseurs des spermatozoïdes. Et leurs populations de macro-

LES GARDIENS DE LA FERTILITÉ

Sur cette coupe de testicule de souris, les tubes séminifères sont marqués en rouge et les macrophages en vert.



phages sont distinctes. Les macrophages interstitiels sont présents dès le stade *in utero* et sont issus de progéniteurs embryonnaires, tandis que les macrophages dits périvitellaires n'apparaissent qu'à la puberté et proviennent de progéniteurs hématopoïétiques de la moelle osseuse, lieu de synthèse des cellules immunitaires. Reste à élucider les mécanismes d'immunosuppression induits par ces macrophages et qui autorisent la production de spermatozoïdes. Après quoi, on pourra peut-être agir sur certaines infertilités dues à des surréactions immunitaires. ■

NOËLLE GUILLON

N. Mossadegh-Keller et al., *Journal of Experimental Medicine*, en ligne le 7 août 2017

PAVAGES AUX PENTAGONES : FIN

Quelles formes peuvent recouvrir un plan lorsqu'on les répète les unes à côté des autres dans un motif sans fin, nommé pavage ? Les Grecs anciens avaient déjà prouvé que les seuls polygones réguliers qui peuvent paver le plan sont les triangles, les quadrilatères et les hexagones.

Une nouvelle démonstration de Michaël Rao, du CNRS et de l'École normale supérieure de Lyon, met aujourd'hui un point final à la classification des polygones convexes (réguliers ou non) qui couvrent le plan en conquérant le dernier bastion : les pentagones, qui ont résisté pendant 99 ans. Dans sa démonstration assistée par ordinateur, Michaël Rao a identifié 371 façons d'assembler les sommets des pentagones entre eux pour former un pavage, et les a vérifiées une par une.



L'un des 15 types de pavages pentagonaux du plan.

À partir de conditions géométriques simples, par exemple que la somme des angles en chaque sommet doit être égale à 360 degrés, Michaël Rao a déterminé que seules les 15 familles de pentagones déjà connues (la dernière n'a été identifiée qu'en 2015) conviennent. ■

C. D.

M. Rao, en ligne le 1^{er} août 2017, <https://arxiv.org/abs/1708.00274>

EN IMAGE

UN DINOSAURE PARFAITEMENT FOSSILISÉ RÉVÈLE SES SECRETS

Un monstre de pierre de une tonne et demie, de cinq mètres de long et muni de quatre rangées de pointes sur le dos: telle est l'impressionnante découverte réalisée en 2011 dans une mine du Canada, dans la province de l'Alberta. Près de 7000 heures de travail plus tard, voilà le colosse prêt à nous révéler ses secrets.

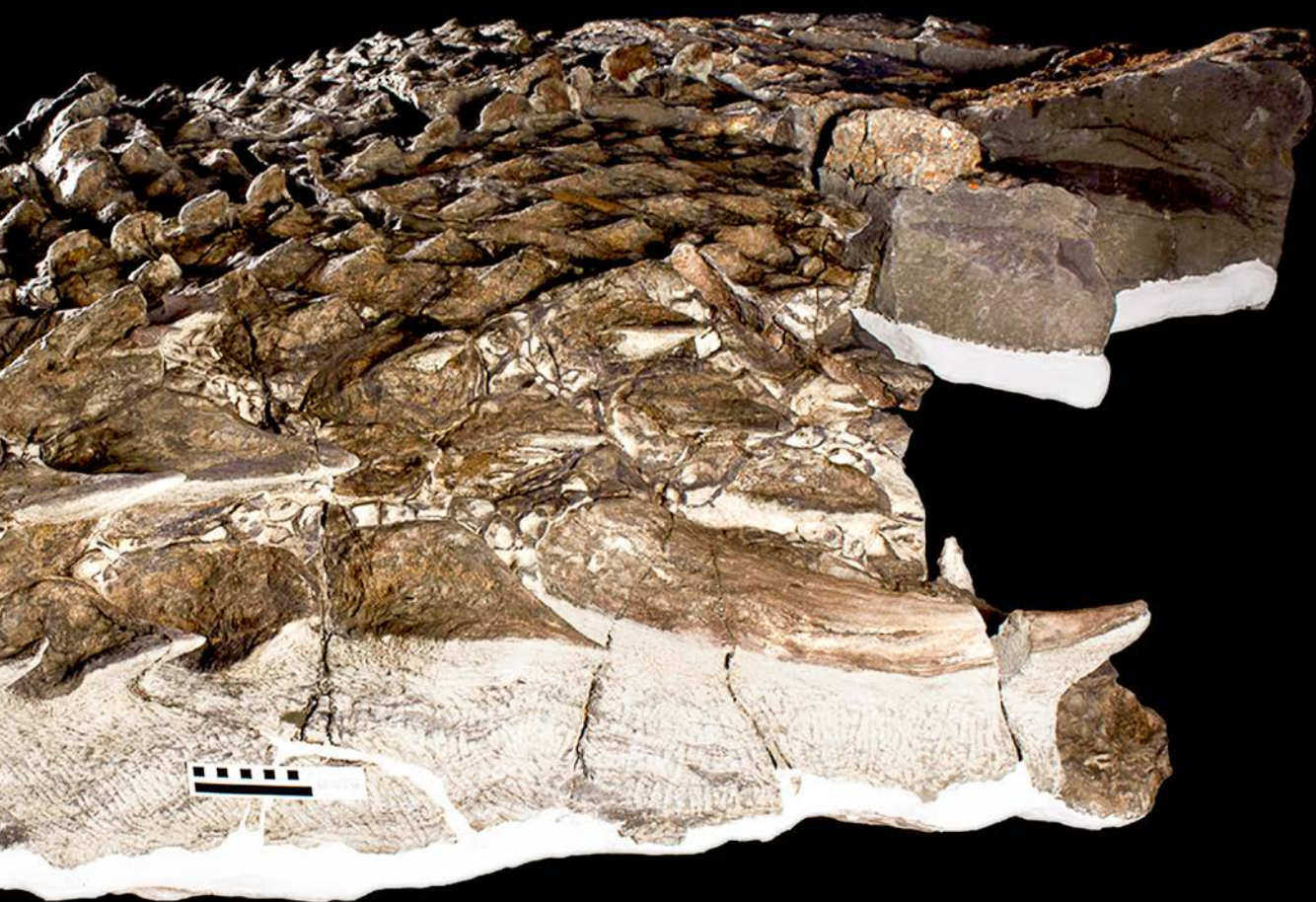
Ce fossile est celui d'un nodosaure (*Borealopelta markmitchelli*), dinosaure herbivore cuirassé de la famille des ankylosaures, probablement mort noyé il y a quelque 110 millions d'années et dont les restes, après avoir traversé les âges, se trouvent aujourd'hui dans un très bon état de conservation. Une chance «aussi faible que de gagner au loto», selon les paléontologues qui se sont occupés de l'animal.

Pendant plus de cinq ans, Caleb Brown, du musée royal Tyrrell de paléontologie, au Canada, et ses collègues ont restauré et analysé le fossile. Un travail minutieux qui leur a permis d'obtenir des détails sur les caractéristiques physiques de l'animal, mais aussi sur son mode de vie. Par exemple, en analysant la couleur de la peau du reptile, les chercheurs se sont aperçus que sa pigmentation était plus foncée sur le dos que sur la face ventrale. Ce type de camouflage, fréquent chez de nombreuses espèces, traduit souvent l'existence de prédateurs. Ainsi, et de façon surprenante étant donné sa taille et son imposante armure, *Borealopelta markmitchelli* était probablement la proie de carnivores plus gros que lui. ■

DONOVAN THIEBAUD

C. M. Brown et al., *Current Biology*, vol. 27, pp. 2514-2521, 2017





CLIMATOLOGIE

LE MÉTHANE ARCTIQUE, FAUSSE MENACE CLIMATIQUE?

La putréfaction de la matière organique saturant les sols arctiques en voie de dégel entraînera-t-elle une énorme émission de méthane (CH_4)? Pour le savoir, Xavier Faïn, de l'Institut des géosciences de l'environnement, à Grenoble, et ses collègues ont restitué les émissions atmosphériques de CH_4 lors d'un ancien réchauffement climatique.

D'après les calculs actuels, les sources géologiques de CH_4 (fonte de pergélisols, tourbières...) dégagent 52000 tonnes de méthane par an. Toutefois, la concentration atmosphérique de méthane conduit à un résultat différent de celui donné par la compilation de toutes les sources de CH_4 . Aussi les climatologues soupçonnent-ils depuis longtemps qu'une partie de l'émission de CH_4 par les sols dégelés passe inaperçue. D'où l'intérêt d'une comparaison avec une autre époque de réchauffement climatique.

Les chercheurs ont choisi l'«événement du Dryas récent», un brusque réchauffement de l'atmosphère de l'hémisphère Nord d'il y a 11600 ans environ; comme celui d'aujourd'hui,

ce réchauffement a dégelé de vastes étendues de pergélisols. Pour déterminer la concentration de CH_4 d'origine géologique alors présente dans l'atmosphère, ils ont prélevé dans le glacier Taylor, en Antarctique, une série de gros volumes de glace datant de 11715, 11559, 11515, 11453 et 11357 ans avant le présent. Après y avoir mesuré la concentration résiduelle de carbone 14, ils en ont déduit, à l'aide d'un estimateur statistique, les concentrations de méthane atmosphérique aux cinq dates citées. Résultat: les émissions géologiques de méthane sont restées constantes, aux environs de 15000 tonnes par an, pendant tout l'événement du Dryas récent.

Si la comparaison avec le réchauffement actuel tient, ce résultat implique que les estimations actuelles exagèrent les émissions naturelles de CH_4 d'un facteur 3 à 4. Corrélativement, il implique que les émissions de méthane dues aux activités humaines sont très sous-estimées... ■

F. S.

V. V. Petrenko et al., *Nature*, vol. 548, pp. 443-445, 2017

EN BREF

LES NEURONES DE LA DOMINANCE

Et s'il suffisait d'activer quelques neurones pour transformer un introverti en mâle dominant? C'est ce que viennent de réussir sur des souris Tingting Zhou, de l'Institut biologique des sciences de Shanghai, et ses collègues. En enregistrant l'activité cérébrale de couples de rongeurs face à face dans un tube, les chercheurs ont détecté des neurones qui s'activaient davantage en cas de comportement dominant. Puis, à l'aide d'une technique dite d'optogénétique, ils ont activé spécifiquement ces neurones chez des mâles dominés, qui ont alors contraint leur congénère à reculer. Les neurones découverts sont situés dans le cortex préfrontal dorsomédian, une zone impliquée dans l'évaluation des coûts et des bénéfices, ainsi que dans celle des efforts à fournir.

Direction de l'innovation et des relations avec les entreprises

Organisme de formation continue

cnrs
formation
entreprises

➤ 200 formations technologiques courtes proposées par le CNRS sur ses plateformes de recherche pour les ingénieurs et les techniciens

➤ Domaines de formation
Big data, robotique, énergie, matériaux, biologie, microscopie, spectrométrie, RMN... et plus encore

+ de 1100 stagiaires formés chaque année



www.cnrs.fr

Découvrez nos stages sur
cnrsformation.cnrs.fr



contact : cfe.contact@cnrs.fr ou +33 (0)1 69 82 44 55

[@CNRS_CFE](https://twitter.com/CNRS_CFE)

PHYSIQUE

LE PIÈGE DU FOURMILION

Pour capturer sa proie, la larve de fourmilion creuse un trou dans le sable. La fourmi qui y pénètre glisse sur les parois et ne peut plus remonter. Jérôme Crassous, de l'université de Rennes, et ses collègues ont analysé les caractéristiques physiques de ce piège.

Les chercheurs ont reproduit en laboratoire la configuration du piège à l'aide d'objets de différentes masses posé sur un plan incliné de billes de verre. Ils ont observé que seuls ceux de masse intermédiaire produisaient une pression et des forces de frottement adaptées pour glisser dans le trou. Ainsi, un insecte très léger ne perturberait pas assez la structure granulaire pour provoquer une avalanche. À l'inverse, un insecte très lourd formerait son propre creux dans le sable et trouverait alors un appui pour sortir du trou. La fourmi, en revanche, ne peut y échapper! ■

G. D.

J. Crassous et al., *Phys. Rev. Lett.*, vol. 119, 058003, 2017

PHYSIQUE DES PARTICULES

MINIDÉTECTEUR DE NEUTRINOS

La détection des neutrinos, particules élu-sives, est très difficile et nécessite d'immenses dispositifs. Aux États-Unis, une équipe de physiciens américains et russes a pourtant réussi à détecter des neutrinos avec un appareil dont la taille ne dépasse pas celle d'un extincteur. Les chercheurs se sont intéressés à un type particulier d'interactions des neutrinos de basse énergie avec les noyaux des atomes du détecteur, type d'interactions que l'on n'avait jamais mesuré jusqu'à présent. Bien qu'elles soient plus fréquentes que les autres, ces interactions constituaient un défi expérimental: les déceler revient à mesurer le recul d'une boule de bowling heurtée par une balle de tennis de table.

La miniaturisation du système est un grand pas en avant. Des minidétecteurs pourraient notamment servir au contrôle de la prolifération des armes nucléaires, les matières radioactives étant émettrices de neutrinos à des taux différents selon leur nature. ■

D. T.

D. Akimov et al., *Science*, en ligne le 3 août 2017

ASTROPHYSIQUE

MUSE... ET LE CIEL DEVIENT PLUS NET



La nébuleuse planétaire NGC 6369 est le résultat de l'explosion d'une étoile qui a dispersé son gaz et sa poussière dans son voisinage. Les images ont été prises par l'instrument Muse sans le système d'optique adaptative (à gauche) et avec (à droite).

Les images obtenues par le VLT (le *Very Large Telescope*) de l'Observatoire européen austral (ESO), situé au sommet du Cerro Paranal, au Chili, vont devenir encore plus spectaculaires et riches d'informations pour les astrophysiciens. En effet, Yepun, le quatrième télescope du VLT (dont le nom est celui de la planète Vénus en langue mapuche) a bénéficié d'une amélioration importante de son système optique. L'instrument Muse placé à l'un de ses foyers exploite maintenant ce système et, déjà, les premières images sont d'une netteté exceptionnelle.

Dans le domaine de l'observation astronomique depuis le sol, les turbulences atmosphériques constituent un facteur limitant pour la qualité des images. Elles tendent, par le phénomène de réfraction, à dévier les rayons lumineux et à produire un certain flou dans les images. Une façon de s'en abstraire est d'envoyer les télescopes dans l'espace, comme pour *Hubble* ou le futur *James-Webb*. Une autre solution est d'utiliser un système d'optique adaptative: le miroir secondaire du télescope est déformé en temps réel pour compenser les effets des turbulences.

Un tel dispositif a été installé sur Yepun. Pour obtenir le profil des turbulences, quatre lasers de 22 watts excitent les atomes de sodium dans la haute atmosphère. Ces derniers forment ainsi quatre «étoiles artificielles» dont les images permettent de calculer, à chaque milliseconde, les déformations à corriger.

Combiné au système d'optique adaptative, l'instrument Muse a déjà obtenu des images spectaculaires de nébuleuses planétaires telles que IC 4406 ou NGC 6369 (ci-dessus). Muse, opérationnel depuis 2014, est composé d'un ensemble de spectrographes fonctionnant dans les longueurs d'onde du visible. L'une de ses missions est l'étude des galaxies jeunes, situées dans l'Univers lointain et donc peu lumineuses. Avec le système d'optique adaptative, l'instrument pourra observer les galaxies en formation, parmi les moins brillantes.

Le miroir d'optique adaptative de Yepun mesure environ un mètre de diamètre, ce qui en fait le plus grand jamais construit. Il a nécessité des techniques de pointe qui seront cruciales pour le miroir d'optique adaptative de 2,4 mètres de l'ELT, le futur télescope géant de l'ESO. ■

S. B.

Communiqué de l'ESO : http://bit.ly/PLS480_MUSE