



PERSONNAGE IMAGINAIRE, LE SHINGOUZ viendrait d'une planète lointaine. Les auteurs de la bande dessinée *Valérien et Laureline* se sont probablement inspirés d'animaux terrestres pour imaginer cet être. Par exemple, sa trompe tubulaire n'est pas sans rappeler celle du fourmilier.

dessin du squelette à l'appui, que ces appendices sont soutenus par des excroissances osseuses partant des omoplates. Les ailes du Shingouz, même si elles ressemblent à celles des chauves-souris, ne leur seraient donc pas homologues, d'autant plus que le Shingouz ne vole pas ! Quelle serait alors la fonction de ces mystérieuses excroissances osseuses ? S'agit-il d'accessoires d'apparat, à l'instar des plumes colorées chez les oiseaux ou des bois chez les mammifères, censés attirer et charmer le partenaire pendant la période des amours ? A priori non, car le mâle et la femelle arborent tous deux ce type de structure.

Des capteurs solaires sur le dos

Notre hypothèse est que les « ailes » du Shingouz contribuent à la thermorégulation (gestion de la température interne du corps). En augmentant la surface de contact du corps avec le milieu extérieur, elles favorisent les échanges thermiques, à la façon des oreilles qui permettent aux éléphants d'évacuer leur chaleur interne. Étant donné le climat de la planète d'origine du Shingouz, la fonction inverse est plutôt à envisager : les « ailes » fonctionneraient comme des capteurs solaires absorbant le moindre photon pour maintenir une température interne constante. De telles structures seraient alors analogues aux grandes plaques osseuses dressées sur le dos des

stégosaures (dinosaures herbivores du Jurassique), ou aux os ornements des crocodiles ou de leurs cousins stégocéphales – ces os présentent de nombreux sillons et crêtes qui augmentent la surface de contact du corps avec l'extérieur. Le Shingouz, bien connu dans l'univers de *Valérien* pour être un cupide marchand d'informations, serait donc aussi un paisible « écolo » muni de capteurs solaires sur le dos !

En parlant de réputation, qu'en est-il de son alcoolisme chronique ? L'encyclopédie des *Habitants du ciel* nous renseigne aussi sur ce point croustillant : la seule source énergétique produite sur la planète d'origine du Shingouz est une sorte de fluide minéral nommé glingue, semblable aux fluides hydrothermaux très riches en silice que l'on trouve sur Terre – sauf que le glingue est très riche en alcool ! Le Shingouz s'en délecte et l'assimile sans difficulté grâce à son foie très volumineux et son triple estomac. Cet organe rappelle l'estomac multiple des ruminants qui digèrent plusieurs fois leur nourriture.

Le Shingouz use-t-il de la même technique pour mieux digérer l'alcool ? La question reste ouverte. L'alcool étant plus soluble dans l'eau que dans les graisses, la concentration d'alcool dans le sang dépend de la quantité d'eau contenue dans le corps. La tolérance du Shingouz à l'alcool suggère donc que son corps contient une forte quantité d'eau et peu de graisse. Ce penchant n'est pas sans rappeler celui d'autres animaux, tels les

vervets, petits singes d'origine africaine dont certaines populations caribéennes se délectent de jus de canne fermenté et présentent une très bonne tolérance à l'éthanol.

Et pour boire tout cet alcool, le Shingouz se sert d'une trompe tubulaire, résultat de la fusion de la mâchoire inférieure et de la mâchoire supérieure. Cette trompe est percée de deux orifices, l'un pour la respiration, l'autre pour l'alimentation. Chez les mammifères bien réels, cet hyperallongement de la partie préorbitaire du crâne nommé longirostrie s'observe chez les tatous (la famille des *Dasypodidae*), les pangolins (*Manidae*) et les fourmiliers (*Myrmecophagidae*).

Cette longirostrie semble liée à une réduction, voire une perte, de la denture : tatous, pangolins et fourmiliers étaient d'ailleurs rangés autrefois dans un groupe artificiel nommé édentés, alors qu'ils n'avaient pas tous complètement perdu leurs dents. Les paléontologues se sont aperçus que ce phénomène était en fait apparu plusieurs fois au cours de l'évolution des mammifères. Est-ce aussi le cas chez le Shingouz ? Quoi qu'il en soit, cet extraterrestre arbore tantôt des caractères habilement empruntés à des animaux réels, tantôt des traits qui lui sont bien propres : une mosaïque qui le rend d'autant plus crédible et attachant ! ■

Jean-Sébastien STEYER est paléontologue au CNRS-MNHN, à Paris. Roland LEHOUCQ est astrophysicien au CEA, à Saclay. Marc BOULAY est sculpteur numérique.

ART & SCIENCE

Le pharaon et les extraterrestres

La lame d'une dague retrouvée à côté de la momie de Toutânkhamon a été fabriquée à partir du fer d'une météorite venue des confins du Système solaire. Un matériau idéal pour le fils du dieu Soleil...

Loïc MANGIN

Vers 1338 avant notre ère, le roi Akhénoton meurt dans des circonstances mystérieuses. Après une brève régence de Smenkhkaré et de Ânkh-Khéperouré, c'est son fils, âgé de seulement 9 ans, qui lui succède : Toutânkhaton. Il sera plus connu sous le nom de Toutânkhamon, qu'il prendra après l'abandon du culte du dieu unique Aton. Le jeune pharaon monte sur le trône de la Haute et Basse-Égypte et devient alors le fils du dieu Amon, et de Rê, le dieu solaire. Il sera l'incarnation de notre étoile moins d'une dizaine d'années. Mais les rois n'étaient pas les seuls échantillons du Système solaire à être appréciés et vénérés par le peuple égyptien à cette époque. C'était aussi le cas du fer...

De fait, jusqu'au 1^{er} millénaire avant notre ère, le fer était rare dans la vallée du Nil, car les Égyptiens ne savaient pas l'extraire du minerai le contenant (il faut le porter à plus de 1 000 °C) : c'était l'âge du Bronze. Le fer était alors précieux – plus que l'or – et réservé à une élite sous la forme d'objets ornementaux et rituels. D'où provenait le métal ? Du ciel, comme les pharaons !

C'est ce qu'ont montré Daniela Comelli, physicienne à l'École polytechnique de Milan, et ses collègues. Ces chercheurs ont analysé un bel objet, la dague de Toutânkhamon (page ci-contre, c) trouvée dans son tombeau mis au jour en 1922 par l'archéologue Howard Carter dans la vallée des Rois, près de Louxor.

Les bandelettes qui emmaillotaient la momie de Toutânkhamon cachaient deux poignards. La lame de l'un, près de l'abdomen, était en or, celle de l'autre, près du flanc droit (*indiqué par la flèche sur la photo b*), en fer. Cette dernière, non oxydée, semble homogène. La poignée de l'arme est en or fin, décoré en cloisonné, et arbore à son extrémité un pommeau de cristal de roche. Le fourreau, également en or, est orné d'un motif floral d'un côté et de plumes de l'autre, une tête de chacal ornant la pointe.

Les physiiciens italiens ont reçu l'autorisation d'examiner la lame de fer à l'aide d'une

Les Égyptiens connaissaient peut-être l'origine céleste du fer qu'ils utilisaient – avec 2 000 ans d'avance sur les Occidentaux

technique non invasive, la spectrométrie de fluorescence par rayons X, pour en analyser la composition. Résultat : le métal est constitué, outre de fer, d'environ 10 % de nickel (Ni) et quelque 0,5 % de cobalt (Co). De telles proportions ne se trouvent pas dans le fer d'origine terrestre, plus pauvre en nickel. En outre, le rapport Ni/Co correspond à celui que l'on trouve dans les chondrites ferreuses, des météorites non différenciées dont le matériau s'est formé en même temps que le Système solaire.

L'équipe italienne a cherché à en savoir plus sur la météorite et a consulté la banque de données MetBase qui recense toutes les

informations disponibles sur les météorites connues. La composition de la lame correspondait à celle de la météorite Kharga, découverte en Égypte en 2000 à Marsa Matruh, une ville portuaire à 240 kilomètres à l'ouest d'Alexandrie.

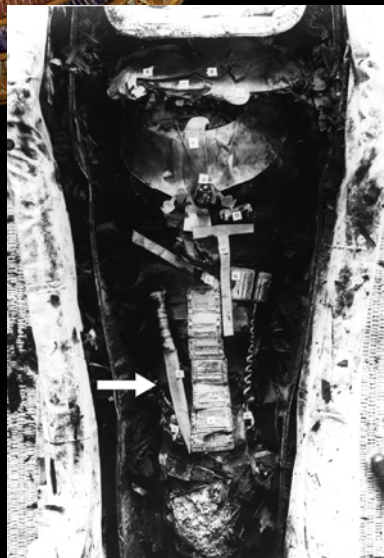
Les orfèvres qui ont fabriqué la dague de Toutânkhamon ne disposaient cependant pas de tous les fragments tombés du ciel. Et ils n'étaient d'ailleurs peut-être pas égyptiens. En effet, les archives royales d'Amarna révèlent que Tushratta, souverain du Mitanni, un royaume voisin de l'Égypte (en Syrie actuelle), a envoyé à Amenhotep III (le grand-père de Toutânkhamon selon certaines généalogies) un bracelet de fer ainsi que des poignards dotés de lames de ce même matériau. Le couteau analysé faisait-il partie de ces présents diplomatiques ?

Une question plus profonde est de savoir si les Égyptiens savaient d'où venait ce fer. Or à l'époque de Toutânkhamon, on observe une évolution dans les hiéroglyphes. À côté de celui qui signifiait « minerai, fer, métal » apparaît un autre, composite, que l'on pourrait traduire par « fer tombé du ciel » et qui est utilisé à partir de la XIX^e dynastie (au début du XIII^e siècle avant notre ère) pour décrire tout type de fer. Peut-on en déduire que les Égyptiens connaissaient l'origine céleste de ce métal ? Dans l'affirmative, ils avaient alors deux millénaires d'avance sur les Occidentaux. ■

D. Comelli et al., *The meteoritic origin of Tutankhamun's iron dagger blade*, *Meteoritics & Planetary Science*, en ligne, 20 mai 2016.



a

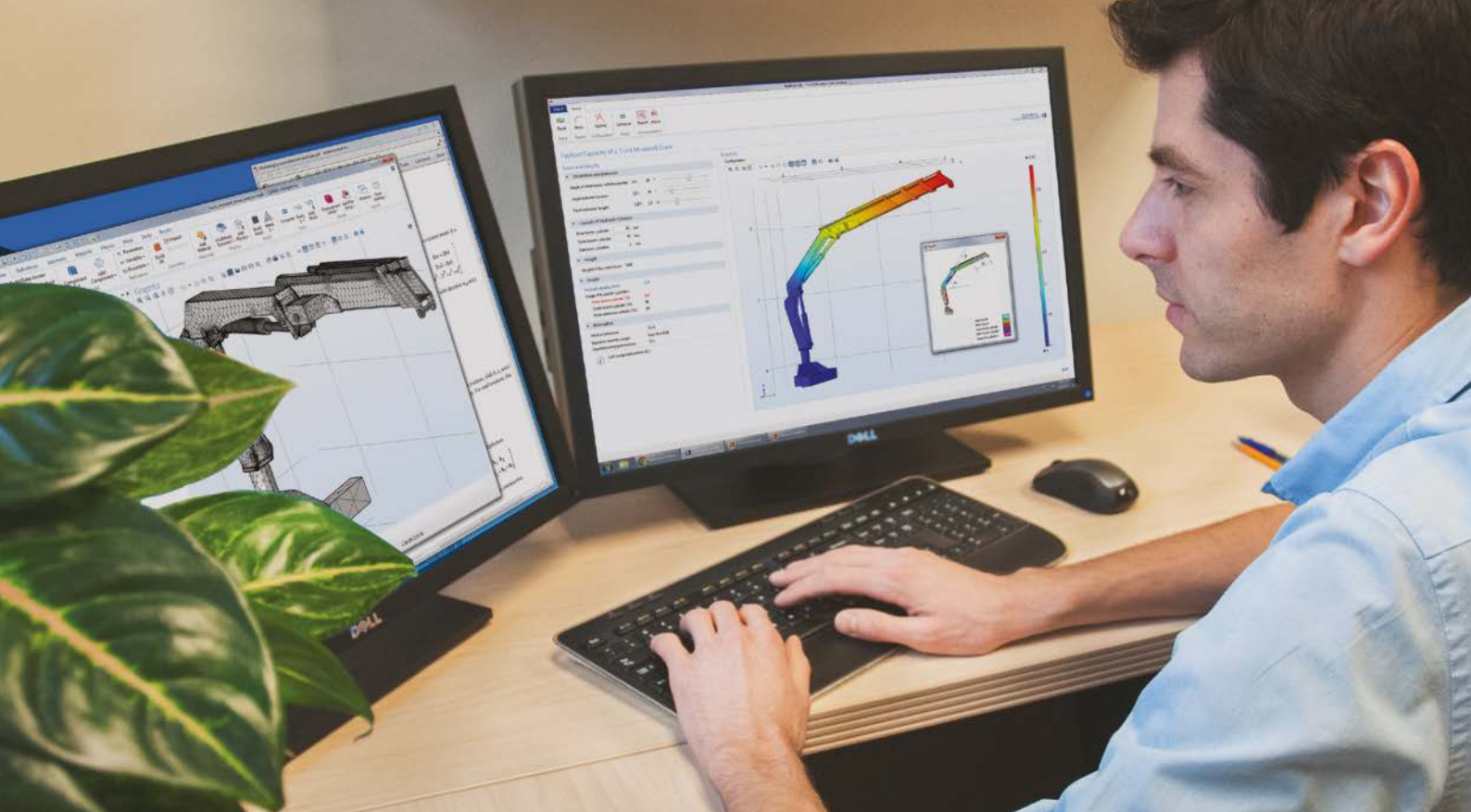


b

TOUTÂNKHAMON, dont on connaît le célèbre masque mortuaire en or massif (a), avait emporté dans la tombe (b) deux poignards, dont un avait une lame en fer (c, l'arme fait 34 centimètres de long). Ce métal provient d'une météorite.



c



LA MULTIPHYSIQUE POUR TOUS

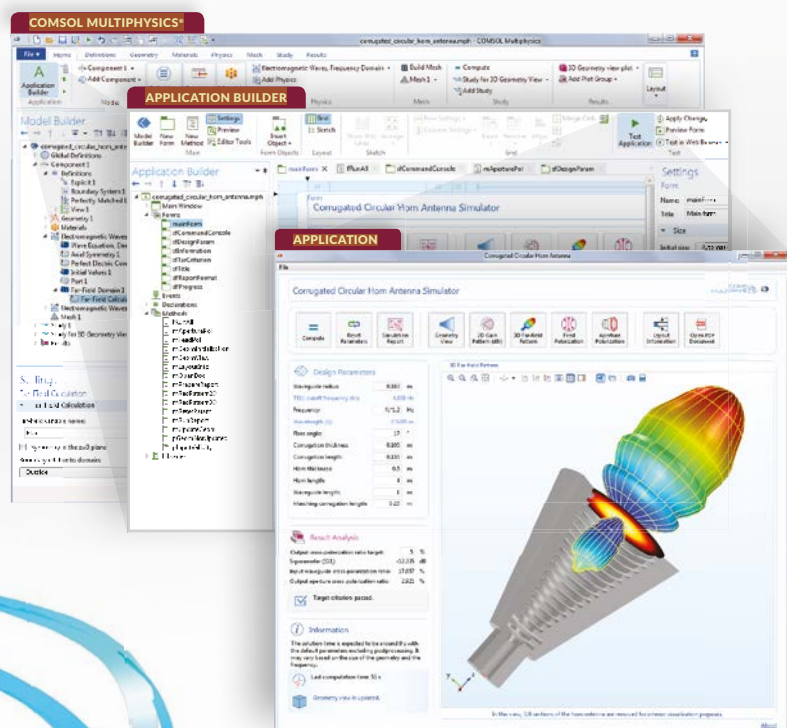
L'évolution des outils de simulation numérique vient de franchir un cap majeur.

Des applis spécialisées sont désormais développées par les spécialistes en simulation avec l'application Builder de COMSOL Multiphysics®.

Une installation locale de COMSOL Server™, permet de diffuser les applis dans votre organisme et dans le monde entier.

Faites bénéficier à plein votre organisme de la puissance de l'outil numérique.

comsol.fr/application-builder



IDÉES DE PHYSIQUE

Superballes, superrebondissements

Les rebonds déroutants des « superballes » sont, en théorie, prévus. Mais en pratique, ils doivent beaucoup à un heureux concours de circonstances.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

Pour décrire la réflexion d'un rayon lumineux sur un miroir ou d'une particule sur une surface parfaite, le physicien déclare : « L'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence. »

Pourtant, jouer avec une superballe nous convaincrait presque du contraire ! Effets rétrogrades, rebonds périodiques... : autant d'effets saisissants qu'une étude théorique prévoit dans des conditions idéales, desquelles s'approchent justement les superballes. Les performances de ces objets sont dues à leur matériau, certes, mais aussi, comme nous allons le découvrir, à une coïncidence favorable entre deux différents modes de vibration.

Rebonds d'une balle idéale

Commençons par décrire le rebond le plus simple. Lâchons, sans lui donner d'effet, une balle supposée idéale. Lors de sa chute, l'énergie potentielle de pesanteur est convertie en énergie cinétique. Au contact du sol, la balle se comprime et, au moment où elle s'immobilise complètement, son énergie se retrouve intégralement stockée sous forme d'énergie potentielle élastique. La balle se détend alors, retrouve sa forme initiale, rebondit avec une vitesse verticale opposée à la vitesse incidente et remonte jusqu'à sa hauteur initiale.

Évidemment, tout cela suppose l'absence de dissipation d'énergie, ce dont on peut douter : une balle réelle ne rebondit pas si

haut. Là réside la première des qualités des superballes. Composées de Zectron, un caoutchouc synthétique breveté par le chimiste américain Norman Stingley en 1964, leur coefficient de restitution – le rapport vitesse de rebond/vitesse incidente – dépasse les 90 %, ce qui les fait remonter à plus de 80 % de la hauteur de chute.

Qu'advient-il lorsqu'on lance la balle avec une incidence oblique, en lui imprimant ou non une rotation sur elle-même autour d'un axe horizontal ? Sans dissipation d'énergie et en supposant que le contact au sol est quasi ponctuel (donc aucun couple de forces ne s'exerce lors de l'impact), on trouve que la hauteur de rebond dépend uniquement de la hauteur de chute et de la vitesse initiale selon la verticale. Cela signifie qu'il y a indépendance entre les

mouvements horizontaux et les mouvements verticaux.

En revanche, la rotation et le mouvement horizontal sont étroitement liés. On note par exemple que la vitesse horizontale du point de contact (laquelle résulte de la vitesse de translation de la balle et de sa rotation propre) s'inverse lors de l'impact au sol, comme s'il y avait un choc contre un mur vertical.

Les conséquences de cette inversion du sens de rotation de la balle sont multiples. Il peut notamment y avoir périodicité du mouvement puisque, après deux rebonds de la balle sur le sol, on retrouve la même vitesse horizontale et la même rotation. Ainsi, quand on lâche une balle en rotation, elle acquiert au premier rebond une vitesse horizontale et se met à tourner en sens inverse. En revanche, le second rebond se



Dessins de Bruno Vacaro

LES REBONDS CONTRE-INTUITIFS D'UNE SUPERBALLE. Les changements surprenants de direction et de sens de rotation s'expliquent par le fait que la vitesse horizontale du point d'impact de la balle s'inverse au moment du choc, et ce en gardant presque la même amplitude, comme si elle était réfléchiée par un mur vertical.