

stratégie que pourrait adopter le premier prisonnier sans avoir connaissance du numéro qui va être attribué au second. Pourtant, s'ils sont malins, les deux prisonniers sont sûrs (à 100 %) d'être sauvés. Voici comment faire.

Le premier prisonnier, qui a une connaissance complète de la permutation f définie par la disposition des cartons dans les boîtes, examine ses cycles. Si tous ont 25 éléments ou moins, il ne fait rien. Si l'un des cycles est d'ordre 26 ou plus (il ne peut en exister qu'un seul), il va le casser.

Pour ce faire, il prend un élément du cycle, par exemple 1, et suit les cartons comme quand on applique la stratégie *Suivre*. Il va donc à la boîte 1, puis à la boîte $f(1)$, puis à la boîte $f(f(1))$, etc. Il repère la 25^e boîte du cycle, puis continue jusqu'à trouver le carton 1 dans la boîte k ($k > 25$). Il échange les cartons de la 25^e boîte ouverte et de la boîte ouverte la k -ième fois. En faisant cela, le cycle auquel appartient 1 a maintenant pour longueur 25 (car la 25^e boîte ramène en 1). La permutation obtenue après l'échange des cartons n'a donc aucun cycle de taille supérieure à 25. Le prisonnier 2, en appliquant la stratégie *Suivre* à partir de la boîte k , sera ainsi certain de trouver le carton k qu'on lui aura demandé, et ce quel que soit k .

D'une énigme à l'autre

La variante suivante se présente très simplement et n'implique que très peu de personnages. Inspirée du problème du Monty Hall, elle a été proposée par Adam Landsberg, du Scripps College, aux États-Unis, et Eric Grundwald, de Londres.

Un jeu télévisé est organisé. Trois rideaux sont disposés sur la scène. L'un cache une voiture, un autre une clé, et le troisième rideau un appareil GPS. On ne sait pas dans quel ordre sont disposés les trois objets, et cet ordre a été choisi au hasard. Trois membres d'une même famille sont invités à jouer. Le premier pourra regarder derrière deux des rideaux et il doit trouver la voiture. Le second pourra regarder derrière deux des rideaux et devra trouver la clé de la voiture. Le troisième, toujours en observant derrière deux rideaux, devra trouver le GPS. Les joueurs jouent les uns après les autres, sans savoir

ce qu'ont fait et vu ceux déjà passés. Ils gagnent et emportent la voiture, la clé et le GPS si chacun a trouvé ce qu'il devait trouver. En jouant au hasard, ils gagnent dans $(2/3)^3 = 29,629\%$ des cas. Pourtant, en s'y prenant bien, ils pourraient gagner dans $2/3$ des cas, soit avec une probabilité de 66,66 %. Comment ?

Ils appliquent la stratégie *Suivre* en convenant d'un ordre entre les joueurs (celui qui doit trouver la voiture est le 1, celui qui doit trouver la clé est le 2, et celui qui doit trouver le GPS est le 3) et d'un ordre des éléments à trouver (la voiture est le 1, la clé le 2, le GPS le 3). La disposition des cadeaux derrière les rideaux définit une permutation f de l'ensemble $\{1, 2, 3\}$ dans lui-même. La probabilité de perdre correspond alors au rapport entre le nombre de permutations f ayant un cycle de taille 3 et le nombre total de permutations de 3 éléments, c'est-à-dire $3! = 6$.

On peut appliquer le raisonnement général considéré plus haut (il conclut que la probabilité de perdre est $1 - 1/3$), mais un raisonnement direct est possible. En effet, les 6 permutations de 3 éléments sont : $(1 \rightarrow 1, 2 \rightarrow 2, 3 \rightarrow 3)$, $(1 \rightarrow 1, 2 \rightarrow 3, 3 \rightarrow 2)$, $(1 \rightarrow 2, 2 \rightarrow 1, 3 \rightarrow 3)$, $(1 \rightarrow 2, 2 \rightarrow 3, 3 \rightarrow 1)$, $(1 \rightarrow 3, 2 \rightarrow 1, 3 \rightarrow 2)$, $(1 \rightarrow 3, 2 \rightarrow 2, 3 \rightarrow 1)$. Deux d'entre elles ont un cycle de taille 3 : $(1 \rightarrow 2, 2 \rightarrow 3, 3 \rightarrow 1)$ et $(1 \rightarrow 3, 2 \rightarrow 1, 3 \rightarrow 2)$. Les autres n'ont que des cycles d'ordre 1 ou 2. Les joueurs gagneront donc dans $2/3$ des cas.

Deux variantes à 6 prisonniers ont été proposées récemment par Roland Yéléhada, (voir l'encadré page ci-contre). Les deux problèmes ont la propriété suivante qui vous forcera à réfléchir : ni la stratégie *Au hasard* ni la stratégie *Suivre* ne sont les meilleures. Attention, l'un des deux problèmes est facile et l'autre beaucoup moins.

Dans le monde physique, les miracles sont légion (une télévision, une voiture ou un smartphone seraient des objets magiques pour un homme du XV^e siècle). Dans le monde mathématique, certains miracles se produisent et ce qu'un raisonnement approximatif semblait éliminer définitivement (on ne pourrait faire mieux que la stratégie *Au hasard*) se révèle erroné pour le chercheur astucieux. De tels moments font le bonheur des mathématiciens.

L'AUTEUR



J.-P. DELAHAYE est professeur émérite à l'université de Lille et chercheur

au Centre de recherche en informatique, signal et automatique de Lille (CRISTAL).

BIBLIOGRAPHIE

Wikipedia, **100 prisoners problem**, https://en.wikipedia.org/wiki/100_prisoners_problem

E. Grundwald, **Re: The locker puzzle**, *Mathematical Intelligencer*, vol. 32(2), p. 1, 2010.

A. S. Landsberg, **The return of Monty Hall**, *Mathematical Intelligencer*, vol. 31(2), p. 1, 2009.

A. Gál et P. Bro Miltersen, **The cell probe complexity of succinct data structures**, *Theoretical Computer Science*, vol. 379(3), pp. 405-417, 2007.

E. Curtin et M. Warshauer, **The locker puzzle**, *Mathematical Intelligencer*, vol. 28, pp. 28-31, 2006.



Retrouvez la rubrique Logique & calcul sur www.pourlascience.fr

SCIENCE & FICTION

Le Shingouz, un extraterrestre capitalo-alcoololo-écolo

Avec des ailes de chauve-souris et un penchant pour l'alcool, ce personnage de la bande dessinée Valérian et Laureline déploie une mosaïque de caractères bien terrestres !

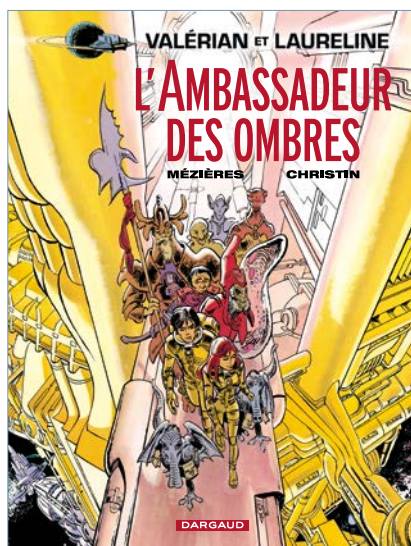
Jean-Sébastien STEYER et Roland LEHOUCQ

Illustration : Marc BOULAY

Quel animal fictif ressemble à un petit kangourou, arbore des ailes rigides de chauve-souris et une trompe, et présente un certain penchant pour les boissons alcoolisées ? Les amateurs de bandes dessinées le reconnaîtront : il s'agit du Shingouz, drôle d'espèce qui apparaît dans les aventures de *Valérian et Laureline*, un *space opera* des années 1970 créé par le scénariste Pierre Christin et le dessinateur Jean-Claude Mézières. Cette bande dessinée, véritable perle de la science-fiction française, est en cours d'adaptation au cinéma par Luc Besson.

Dans les aventures de Laureline et Valérian, ces extraterrestres intelligents que sont les Shingouz apparaissent toujours par trois et proviennent d'une planète sans nom dont les conditions sont si austères (climat très pluvieux et ressources quasi nulles) qu'elle les pousse régulièrement à l'exil. Afin de s'intégrer aux différentes civilisations où ils débarquent, ces réfugiés n'ont d'autre choix que d'exercer l'activité dans laquelle ils excellent, à savoir l'achat et la revente d'informations de toutes sortes. Ils apparaissent pour la première fois en 1975 dans un album intitulé « L'Ambassadeur des Ombres ».

Riche et exubérant, l'univers de Valérian et Laureline fait l'objet d'une sorte d'encyclopédie illustrée, *Les Habitants du ciel, atlas cosmique de Valérian et Laureline*, paru en 1991. Le Shingouz n'est qu'un des nombreux représentants de la faune et la flore



VALÉRIAN ET LAURELINE rencontrent les Shingouz dans le sixième tome de leurs aventures. Cette espèce extraterrestre présente des caractères rappelant ceux de certains animaux terrestres et des comportements bien humains.

extraterrestres imaginées par Pierre Christin et Jean-Claude Mézières. Il mérite bien que l'on s'y attarde. Son aspect n'a rien de terrestre, pourtant, à y regarder de plus près, son anatomie, sa biologie, son évolution et son comportement empruntent de nombreux traits bien terrestres.

Le pelage de ce petit être haut d'une cinquantaine de centimètres évoque celui des mammifères. Puisqu'il se déplace en posant la plante de ses grands pieds au sol, il est bipède et plantigrade. Son corps est redressé mais sa queue, massive et robuste, traîne souvent au sol. Comme chez les kangourous, cet appendice composé de vertèbres peut aussi servir de support. Les mains du Shingouz ont quatre doigts articulés et griffus, aux pouces opposables. Ses pieds et ses mains sont équipés de petits coussinets qui lui permettent, sur sa planète d'origine, d'évoluer sur un sol rendu humide par les pluies fréquentes (les biologistes parlent d'adaptation). Mais sur les autres planètes qu'il visite, ces coussinets sont aussi très utiles pour palper la monnaie ou toute autre valeur ayant cours légal (les mêmes biologistes parleraient alors d'exaptation !).

En plus de ses quatre membres classiques, le Shingouz est doté de deux ailes rigides qui évoquent celles des chauves-souris. Pour rendre plausible cette paire de membres surnuméraires (rappelons que les mammifères sont des tétrapodes, et non des hexapodes comme les insectes), les auteurs expliquent dans leur encyclopédie,



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 ornementés 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 I^{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 physiciens 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.