

Vous commencez par lui présenter les dés. Il les examine, repère la chaîne intransitive. Il est alors prêt à parier si vous acceptez de choisir le dé en premier. Vous acceptez de choisir en premier et prenez un dé quelconque (mais de préférence R_2 ou R_3 pour éviter le 0,5177). Il choisit le dé qui bat votre dé dans la chaîne intransitive.

Vous lui proposez alors de doubler l'enjeu, à la condition de lancer chaque dé deux fois et de comparer les sommes obtenues (cela 25 fois de suite, comme auparavant). Croyant comme tout le monde que lancer deux fois le dé augmente encore son avantage, il acceptera... alors qu'en réalité, l'avantage sera maintenant pour vous et que vous gagnerez le pari (dans précisément 82,10 % des cas). Ahurissant !

Pourquoi y a-t-il l'inversion de la chaîne intransitive ? Pour voir que l'inversion est possible, étudions le cas des deux dés les plus simples : $R_1 = [6, 3, 3, 3, 3, 3]$ et $R_3 = [1, 4, 4, 4, 4, 4]$.

Quand ils sont lancés une seule fois, R_3 bat R_1 , car 4 bat 3 et que cela se produit 25 fois sur les 36 cas possibles. Calculons les sommes possibles de deux faces de R_1 et de deux faces de R_3 :

– Pour R_1 : $6 + 3 = 9$, 10 fois ; $3 + 3 = 6$, 25 fois ; $6 + 6 = 12$, 1 fois.
– Pour R_3 : $1 + 1 = 2$, 1 fois ; $4 + 4 = 8$, 25 fois ; $1 + 4 = 5$, 10 fois.

Il y a 1 296 = 36×36 cas possibles quand on lance deux fois R_1 et deux fois R_3 . Le dé R_3 ne gagne que si la somme qu'il obtient est 8. Quand c'est le cas, il ne gagne que si R_1 lancé deux fois fait 6. Le dé R_3 dans la compétition avec double lancer ne gagne donc que $25 \times 25 = 625$ fois sur les $36 \times 36 = 1 296$ cas possibles. C'est moins de la moitié des cas, donc R_3 perd contre R_1 dans une compétition avec des doubles lancers. L'inversion est possible, nous l'avons sous les yeux !

Tentons une explication en quelques mots. Le dé R_3 gagne contre R_1 quand le lancer est simple, mais il gagne en général d'assez peu : 4 contre 3. Cela a pour conséquence que quand on considère les sommes de deux faces de R_3 , celles-ci (2, 8 ou 5) sont assez mauvaises comparées à celles de R_1 (9, 6 ou 12), ce qui le conduit à perdre dans une épreuve constituée de lancers doubles.

Quand on lance chaque dé trois fois au lieu de deux, R_2 bat R_1 , R_3 bat R_2 et R_3 bat R_1 . Le dé R_3 est donc cette fois dominant, il n'y a plus de chaîne intransitive, celui qui choisit R_3 a toujours l'avantage. C'est étrange, car lorsqu'on fait une compétition directe entre les trois dés (lancer simultanément des trois dés), on obtient 51-90-75 : le dé R_2 est le meilleur !

Contre deux adversaires

Pour terminer la présentation des descendants superparadoxaux des dés d'Efron, mentionnons les sept dés d'Oskar van Deventer, qui permettent de parier contre deux adversaires à la fois :

$G_1 = [7, 7, 10, 10, 16, 16]$, $G_2 = [5, 5, 13, 13, 15, 15]$,
 $G_3 = [3, 3, 9, 9, 21, 21]$, $G_4 = [1, 1, 12, 12, 20, 20]$,
 $G_5 = [6, 6, 8, 8, 19, 19]$, $G_6 = [4, 4, 11, 11, 18, 18]$
et $G_7 = [2, 2, 14, 14, 17, 17]$. Le graphe indiquant qui gagne quand deux dés s'opposent est donné page précédente.

Chaque dé a un total des faces de 66, soit 11 points en moyenne. Pour chaque combat, la probabilité de gagner pour le vainqueur est $20/36 = 5/9$. En observant le graphe, vous constaterez que pour toute paire de dés choisis parmi les sept, il y a toujours un troisième dé qui les bat tous deux.

Vous pouvez donc proposer le pari suivant à deux de vos amis simultanément. Le premier choisit un dé, le second en choisit un autre. Vous prenez un dé en dernier, qui sera celui qui domine les deux dés choisis par vos amis. Ensuite, vous engagez une partie avec votre premier ami (par exemple en 25 lancers). Le jeu vous est favorable, vous le battez le plus souvent. Sans changer de dé, vous jouez avec votre autre ami (toujours en 25 lancers). À nouveau, les chances seront de votre côté !

Attention toutefois : quand le jeu vous est favorable ou que les chances sont de votre côté, cela ne signifie pas une certitude de victoire à 100 %, mais seulement que vous gagnerez dans plus de la moitié des cas. Ici, le calcul indique qu'avec l'avantage de $5/9$ et 25 lancers par confrontation, vous gagnerez dans 71 % des cas. Si vous souhaitez gagner plus sûrement, proposez des confrontations en opérant un plus grand nombre de lancers. ■

L'AUTEUR



Jean-Paul DELAHAYE est professeur à l'Université de Lille et chercheur au Laboratoire d'informatique fondamentale de Lille (LIFL).

BIBLIOGRAPHIE

J. Grime, **Non-transitive dice**, 2012, sur <http://singinbanana.com/dice/article.htm>

M. Criton, **Les jeux de dés**, *Gazette des Mathématiciens*, vol. 128, pp. 47-61, avril 2011.

M. Finkelstein et E. Thorp, **Nontransitive dice with equal means**, dans *Optimal Play: Mathematical Studies in Games and Gambling*, pp. 293-310, 2006 : <http://www.math.uci.edu/~mfinkels/dice9.pdf>

M. Gardner, **The Colossal Book of Mathematics: Classic Puzzles, Paradoxes, and Problems**, W. W. Norton & Company, pp. 286-311, 2001.

R. Savage, **The paradox of nontransitive dice**, *The American Mathematical Monthly*, vol. 101(5), pp. 429-436, 1994.

G. Székely, **Paradoxes in Probability Theory and Mathematical Statistics**, Reidel Publishing Company, 1986.

M. Gardner, **The paradox of the nontransitive dice and the elusive principle of indifference**, *Scientific American*, n° 223, pp. 110-114, décembre 1970.

Z. Usiskin, **Max-min probabilities in the voting paradox**, *The Annals of Mathematical Statistics*, vol. 35, pp. 857-862, 1964.

SCIENCE & FICTION

Les dinosaures de la science-fiction

Parmi les héros des films de science-fiction, à côté des inventions des scénaristes, figurent en bonne place les dinosaures, dont la « dinodiversité » est immense !

J. Sébastien STEYER et Roland LEHOUCQ

Apparus il y a environ 230 millions d'années, les dinosaures sont généralement définis comme des archosaures (groupe rassemblant aujourd'hui les crocodiles et les oiseaux), partageant des caractères liés notamment à leur posture érigée, c'est-à-dire que leurs membres sont disposés sous le corps – comme la plupart des mammifères – et non latéralement – comme chez beaucoup d'autres « reptiles ». Contrairement à une idée tenace, les dinosaures n'ont pas tous disparu il y a 65 millions d'années. Ainsi, les oiseaux sont de petits dinosaures à plumes (du groupe des théropodes), comme le montrent de nombreux fossiles, tel l'*Archaeopteryx*, mi-dinosaure mi-oiseau.

En 1842, le paléontologue britannique Richard Owen fut le premier à donner un

nom à ces grands animaux fossilisés : il les nomma « terribles lézards ». Ces animaux disparus, souvent gigantesques, ont stimulé l'imagination des écrivains d'abord, des cinéastes ensuite. Ainsi, Jules Verne a imaginé, dans son *Voyage au centre de la Terre* (1864), des dinosaures vivant dans les profondeurs de la Terre. Considéré comme l'un des pères de la science-fiction, Verne est aussi le précurseur d'un genre à part entière que l'on pourrait nommer « dinofiction », tant les histoires faisant interagir des dinosaures et des hommes ont été nombreuses après lui !

Ces dinosaures sont-ils toujours fidèlement reconstitués ? Examinons d'abord l'origine de ces dinosaures fantastiques : dans *King Dinosaur* (Bert Gordon, 1955), des astronautes explorent une planète mystérieusement apparue dans l'espace

(mais à quelques heures de fusée de la Terre !) et rencontrent des dinosaures. Dans *L'Arche de Monsieur Servadac*, film poétique du Tchèque Karel Zeman (1970) adapté d'un roman de Jules Verne, une comète frôlant la Terre arrache un morceau d'Afrique du Nord et s'écrase sur une planète peuplée d'étranges animaux dont... un dinosaure !

S'échouer sur une planète ou une île, explorer le centre de la Terre, mais aussi remonter le temps pour de curieux safaris (*Un coup de tonnerre*, Ray Bradbury, 1952 ou la série *Prehistoric Park*), ou encore cloner des dinosaures (Michael Crichton, 1990), les subterfuges sont nombreux pour présenter ces monstres à l'écran. Notons que la solution du clonage relève encore du fantasme : même si les oiseaux portent en eux une partie du patrimoine génétique de leurs ancêtres reptiliens, nous serions incapables de reconstruire un dinosaure entier. Tout au plus obtenons-nous, en greffant du tissu dentaire de lézard sur un embryon de poulet, un poussin génétiquement modifié... avec des dents !

Pour reconstituer ces animaux, l'imagination a été fertile : costumes plus ou moins désuets revêtus par des acteurs (*L'île Inconnue*, 1948) ou prises de vue au ralenti de vrais reptiles grimés (*Voyage au Centre de la Terre*, 1959). La technique la plus répandue restait, avant l'ère du numérique, le *stop motion* consistant à filmer des figurines de dinosaures image par image (*Le Monde Perdu*, 1925 ; *King Kong*, 1933). Hélas, certains modèles réduits ont beaucoup vieilli. C'est le cas de l'*Allosaurus* (théropode du Jurassique rarement mis en scène) dans



1. DANS JURASSIC PARK, les dinosaures règnent en maîtres. Ici, des vélociraptors menacent le paléontologue Alan Grant, même si... plus de 65 millions d'années les ont séparés.

© Bureau L. A. Collection/Sygma/Corbis

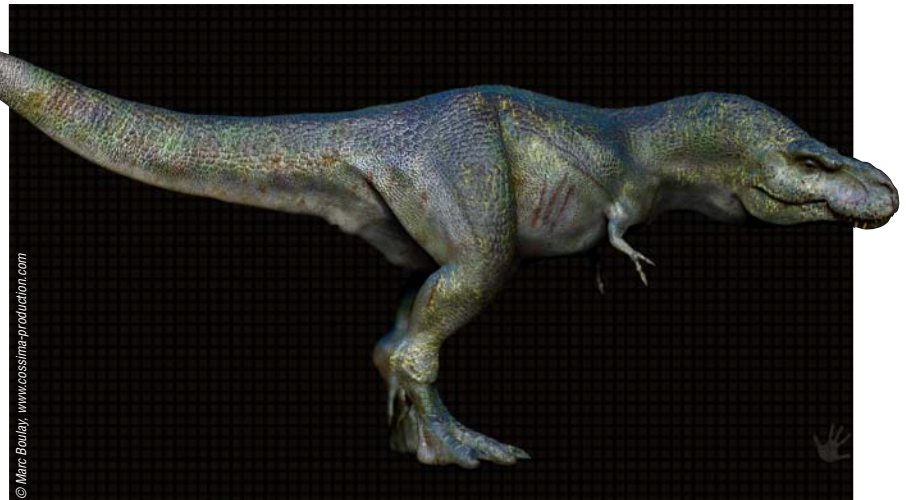
The Beast of the Hollow Mountain (1956), premier film mélangeant cow-boys et dinosaures ! Ainsi, les résultats varient en fonction des moyens et de la pertinence paléontologique. L'erreur la plus fréquente reste le mélange des périodes, et donc d'espèces qui ne se sont jamais croisées. Malgré ces obstacles, notons quelques perles d'ingéniosité comme *À des millions de kilomètres de la Terre* (1957) où une bête hybride mi-dinosaure mi-stégocéphale, venue de Vénus et recueillie sur Terre, ne cesse de grandir.

Il est vrai que les sauropodes, à long cou et longue queue, demeurent les plus grands animaux terrestres de tous les temps. Le record est détenu par *Amphicoelias*, dont la longueur est estimée entre 40 et 60 mètres. En raison de leur taille, ces paisibles herbivores deviennent souvent des monstres sanguinaires dans les films. Certains théropodes, tels le *Tyrannosaurus rex* ou le spinosaure à museau de crocodile, atteignaient des longueurs tout aussi respectables (respectivement 12 et jusqu'à 18 mètres).

Quand les scientifiques font du cinéma

Mais ne s'arrêter qu'à ces « stars », c'est sous-estimer toute la dinodiversité (plus de 1 000 genres connus) ! La majorité des dinosaures ne dépassait pas quelques mètres de hauteur, les plus petites mesurant environ 35 centimètres (oiseaux exclus). Cette surenchère de taille, qui fait souvent de la paléontologie la science du superlatif, est omniprésente, par exemple, dans *Godzilla* (et ses nombreux dérivés) qui, faut-il le préciser, n'est pas un dinosaure : c'est un varan qui a muté à la suite d'une explosion atomique.

Notons que les différentes versions illustrent bien le contexte ou les tensions géopolitiques de l'époque : le film original japonais (Isihiro Honda, 1954) incrimine les États-Unis responsables d'Hiroshima et de Nagasaki, tandis que la version hollywoodienne plus récente (Roland Emme-



2. TYRANNOSAURUS REX (*Roi des lézards tyrans*, en grec), alias *T. rex* est l'un des plus gros dinosaures carnivores. Atteignant quatre mètres de hauteur (dans cette position non redressée) et vieux de quelque 66 millions d'années, c'est un des favoris des auteurs de science-fiction.

rich, 1998] pointe du doigt la France et ses essais nucléaires dans le Pacifique...

Il faut attendre les années 1990, avec notamment le premier *Jurassic Park* (1993), pour voir les réalisateurs s'entourer de conseillers scientifiques. Mais déjà nombre d'artistes, tel le Tchèque Zdeněk Burian, peignaient des dinosaures en étroite collaboration avec les paléontologues (Joseph Augusta et Zdeněk Špinar de Prague). À l'écran, ces efforts de réalisme sont encouragés par l'avènement des images de synthèse et en 3D, représentant des dinosaures plus vrais que nature. Pour *Jurassic Park*, Spielberg est aidé du paléontologue Jack Horner de l'Université du Montana : ce dernier, au fait des découvertes de dinosaures à plumes (en Chine notamment), a ajouté, dans le troisième opus (2001), quelques proto-plumes sur les raptors. Depuis, d'autres raptors emplumés ont été mis au jour. Aujourd'hui encore, pour tenter d'être réalistes, de nombreux scénaristes s'entourent de *creature designers*, des concepteurs de créatures, souvent diplômés en zoologie ou en anatomie.

L'évolution des représentations des dinosaures au cinéma illustre donc bien l'évolution des idées et des représentations

que les paléontologues et le grand public s'en faisaient. Monstres stupides et « mal adaptés » hier (*Le Dernier Dinosaur*, 1977), les dinosaures sont aujourd'hui considérés comme des archosaures dynamiques et intelligents, capables d'ouvrir les portes ou de communiquer. Enfin, l'idée de « terribles lézards » qui leur collait étymologiquement à la peau et en faisait des monstres destructeurs a été partiellement révisée : l'artiste James Gurney par exemple a créé en 1992 *Dinotopia*, monde utopique et baroque où les dinosaures ne sont plus les méchants de l'histoire, mais vivent en harmonie avec les humains. Une autre utopie consiste aussi à croire que certains dinosaures non aviens seraient encore vivants aujourd'hui, cachés au cœur de forêts profondes ou autres régions inaccessibles du globe. Ainsi le Mokélé-mbembé, rhinocéros de légende, serait encore pour certains nostalgiques un sauropode hantant le bassin du Congo...

J.-S. STEYER est paléontologue au CNRS-MNHN, à Paris. R. LEHOUCQ est astrophysicien au CEA, à Saclay.

Retrouvez les articles de J.-S. Steyer et R. Lehoucq sur www.pourlascience.fr



ART & SCIENCE

Thèbes, victime d'Œdipe ou... d'une bactérie ?

Des médecins athéniens ont identifié l'agent pathogène responsable du mal qui ravage Thèbes dans Œdipe roi, la pièce de Sophocle.

Loïc MANGIN

Les fruits de la terre périssent, encore enfermés dans les bourgeons, les troupeaux de bœufs languissent, et les germes conçus par les femmes ne naissent pas. Brandissant sa torche, la plus odieuse des déesses, la peste, s'est ruée sur la ville et a dévasté la demeure de Kadmos. Le noir Hadès s'enrichit de nos gémissements et de nos lamentations.

Œdipe roi, Sophocle
(trad. Leconte de Lisle).

Dès l'ouverture de la pièce du dramaturge grec Sophocle (495-406 avant notre ère), un prêtre se plaint en ces termes à Œdipe, le roi de Thèbes, de la malédiction qui s'est abattue sur la cité. Rappelons brièvement l'intrigue. Après avoir triomphé du Sphinx qui terrorisait la ville, Œdipe épousa Jocaste qui venait de perdre son mari, l'ancien roi Laïos, assassiné au détour d'un chemin lors d'une rixe. L'oracle de Delphes annonce que la maladie disparaîtra lorsque le régicide sera puni. À mesure des révélations, on apprend que le meurtrier n'est autre qu'Œdipe. Il a ainsi accompli la prophétie à laquelle il pensait échapper en fuyant Polybe et Mérope, qu'il croyait ses parents : ils n'avaient fait que l'adopter. Œdipe a bien tué son père et épousé sa mère. Cette dernière, en l'apprenant, se suicidera. Le roi de Thèbes sera alors banni après s'être crevé les yeux.

Revenons au fléau qui ravage la ville. Sophocle parle de peste, un nom générique pour une épidémie importante. Mais de quelle maladie s'agit-il précisément ? Pour le savoir, Antonis Kousoulis et ses collègues, de l'École de médecine de l'Université d'Athènes, se

sont penchés sur le texte et l'ont analysé d'un point de vue médical. Leur conclusion est que l'épidémie est probablement due à la bactérie *Brucella abortus* et qu'elle est inspirée d'un événement historique.

Plusieurs éléments, sporadiques, principalement dans le premier tiers de la pièce, permettent de dresser un tableau clinique. Dans les premières lignes de la pièce (*voir la citation au début de l'article*), Sophocle révèle que la maladie est une zoonose, c'est-à-dire transmise par les animaux. Plusieurs passages mettent en évidence un taux de mortalité important chez les habitants : « Toute la ville est pleine de l'encens qui brûle et du retentissement [...] des lamentations. » ; « La ville est épuisée par les funérailles sans nombre. »

L'épidémie évoquée dans *Œdipe roi* serait inspirée d'un événement réel.

Sophocle écrit aussi que « la multitude non pleurée et qui donne la mort gît sur la terre », illustrant la contagiosité de la maladie. Les fausses couches et l'infertilité sont aussi des symptômes : « Les germes conçus par les femmes ne naissent pas. » ; « Les femmes n'enfantent point et souffrent des douleurs lamentables. »

L'agent pathogène responsable de l'épidémie décrite dans la pièce est très contagieux, entraîne une mortalité importante du bétail et des humains. Les médecins ont établi une liste de micro-organismes associés à ces diverses caractéristiques :

le protozoaire *Leishmania*, les bactéries *Leptospira*, *Brucella abortus* et *Francisella tularensis*, ainsi que les virus de la famille de celui de la variole [poxvirus].

Parmi les maladies humaines dues à ces germes, la tularémie est transmise essentiellement par les lapins, la variole n'atteint pas le bétail, la leishmaniose est très peu contagieuse et la leptospirose est associée à la pullulation des rats. Seule reste en lice la bactérie *Brucella abortus* qui entraîne la brucellose. Elle se transmet de l'animal à l'homme par ingestion et par contact.

Le diagnostic établi, on peut s'interroger sur les sources d'inspiration du dramaturge. La maladie décrite dans la pièce est-elle celle relatée par l'historien Thucydide dans son *Histoire de la guerre du Péloponnèse* ? La proximité des dates semble l'indiquer : l'épidémie a frappé Athènes en -430 et -429, tandis que la pièce a été écrite entre -430 et -420. Par ailleurs, les deux auteurs utilisent des termes similaires pour décrire les réactions des populations. Enfin, l'évocation d'Arès – le dieu de la guerre – est un autre argument, car selon l'historien, l'épidémie est bien une conséquence des guerres qui opposèrent de -431 à -404 la ligue du Péloponnèse, dirigée par Sparte, à celle de Délos, sous l'égide des Athéniens.

Certains exégètes ont remis en cause la culpabilité d'Œdipe et préfèrent lui attribuer un rôle de victime expiatoire. Le coupable serait-il *Brucella abortus* ? ■

A. Kousoulis et al., *The plague of Thebes, a historical epidemic in Sophocles' Oedipus Rex*, *Emerging Infectious Diseases*, vol. 18, pp. 153-157, 2012.