

sélection naturelle du point de vue des gènes et non plus uniquement dans l'optique de la survie et de la reproduction des individus. La survie de l'ADN étant la fonction d'utilité du roitelet qui chante, rien ne peut arrêter la transmission d'un ADN qui n'a d'autre effet bénéfique que de rendre les mâles beaux aux yeux des femelles. Si quelques gènes donnent aux mâles des qualités que les femelles de leur espèce trouvent à leur goût, ces gènes survivront bon gré mal gré, même s'ils mettent en péril certains individus.

Notre espèce tend à supposer que la « prospérité » doit être celle du groupe, et que le « bien-être » est nécessairement celui de toute la société, l'avenir heureux de l'espèce ou la santé des écosystèmes. Avec de telles visions utopiques, la fonction d'utilité de Dieu, telle qu'on peut la concevoir à partir d'une contemplation des mécanismes de la sélection naturelle, risque de devenir contestable. Il existe bien des occasions où des gènes tendent vers leur prospérité personnelle en programmant une coopération désintéressée entre organismes ou même l'autodestruction de l'organisme qui les abrite. La prospérité du groupe n'est, elle, jamais une orientation majeure : c'est toujours une conséquence fortuite.

Cette hypothèse de l'égoïsme des gènes explique également des excès du règne végétal. Pourquoi les arbres des forêts sont-ils si grands ? Parce qu'ils visent à dépasser les arbres rivaux. Une fonction d'utilité « judicieuse » aurait conduit à ce que les arbres soient tous courts : ils bénéficieraient ainsi chacun de la même quantité de lumière solaire, avec une dépense énergétique bien moindre. Si ces arbres étaient tous courts, la sélection naturelle ne pourrait faire autrement que de favoriser celui qui s'est trouvé avoir poussé un peu plus haut que les autres. La hauteur courante se trouvant ainsi relevée, d'autres arbres se mettent à en faire autant, si bien que rien n'arrête la course à la hauteur et que les arbres sont exagérément grands. Toutefois, cet effort ne paraît exagéré et ridicule que si l'on juge avec des critères d'économie et de rationalité, en ne pensant qu'à une efficacité maximale plutôt qu'à la survie de l'ADN.

De tels effets se retrouvent dans les sociétés humaines. Dans une récep-

tion, par exemple, chacun s'égosille pour se faire entendre de son interlocuteur, mais si tous se mettaient d'accord pour chuchoter, ils s'entendraient tout aussi bien, en fatiguant moins leur voix. Malheureusement, ce genre d'accords ne s'obtient que sous la contrainte. Il y a toujours quelqu'un pour rompre égoïstement l'accord en parlant un peu plus fort, si bien que les uns, puis les autres finissent par en faire autant. Un équilibre stable n'est atteint que lorsque chacun crie au maximum de ses possibilités, c'est-à-dire beaucoup plus fort qu'il n'est nécessaire, d'un point de vue rationnel. Une fois de plus, une coopération avec une certaine dose de contrainte est compromise par son instabilité intrinsèque. La fonction d'utilité de Dieu est rarement le plus grand bien possible pour le plus grand nombre d'individus. Au contraire, elle trahit ses origines et se présente plutôt comme une bousculade désordonnée pour un profit personnel.

Un univers d'indifférence

Revenons à notre pessimisme initial : l'optimisation de la survie de l'ADN n'est pas une recette du bonheur. Du moment que l'ADN est transmis, il lui importe peu que sa transmission se fasse au détriment de quelqu'un ou de quelque chose. Les gènes ne se préoccupent pas de la souffrance, parce qu'ils ne se préoccupent de rien.

Pour les gènes de la guêpe fouis-seuse, il est préférable que la chenille soit vivante et fraîche, quand elle est dévorée, quelle que soit sa souffrance. Si la Nature était bienveillante, elle aurait fait au moins une concession mineure en prévoyant d'anesthésier les chenilles avant qu'elles ne soient dévorées vivantes de l'intérieur. La Nature n'est ni bienveillante ni malveillante ; elle n'est ni un adversaire ni un partisan de la souffrance. La Nature ne s'intéresse pas à une souffrance plus qu'à une autre, sauf si elle a des conséquences sur la survie de l'ADN. On pourrait imaginer, par exemple, l'existence d'un gène qui calmerait les gazelles lorsqu'elles sont en train de souffrir d'une morsure mortelle. La sélection naturelle favoriserait-elle ce gène ? Sans doute pas, à moins que le fait de tranquilliser ainsi une gazelle n'augmente les chances de transmission de ce gène aux générations suivantes. Comme il est diffi-

lement imaginable qu'il en soit ainsi, nous devons supposer que les gazelles vivent une peur et des souffrances terribles lorsqu'elles sont poursuivies à mort, ce qui est le lot de beaucoup d'entre elles.

La quantité totale de souffrance qui est vécue chaque année dans le monde naturel défie toute observation placide : pendant la seule minute où j'écris cette phrase, des milliers d'animaux sont mangés vivants ; d'autres gémissant de peur, fuient pour sauver leur vie ; d'autres sont lentement dévorés de l'intérieur par des parasites hostiles ; d'autres encore, de toutes espèces, par milliers, meurent de faim, de soif ou de quelque maladie. Et il doit en être ainsi. Si jamais une période d'abondance survenait, les populations augmenteraient jusqu'à ce que l'état normal de famine et de misère soit à nouveau atteint.

Dans un univers peuplé d'électrons et de gènes égoïstes, de forces physiques aveugles et de gènes qui se répliquent, des personnes sont meurtries, d'autres ont de la chance, sans rime ni raison, sans qu'on puisse y déceler la moindre justice. L'univers que nous observons a très exactement les caractéristiques qu'on peut s'attendre à lui trouver si aucune idée n'a présidé à sa conception, aucun objectif, aucun mal et aucun bien, rien d'autre qu'une indifférence sans compassion. Comme l'écrivait ce poète malheureux que fut A. E. Housman :

La Nature, qui est sans cœur et sans esprit,
Ne veut ni se soucier ni connaître.

L'ADN, lui non plus, n'est capable ni de sentiments ni de connaissance. Il existe, c'est tout. Et c'est lui qui nous impose sa loi.

Richard DAWKINS est professeur de zoologie à l'Université d'Oxford.

Richard DAWKINS, *Le gène égoïste*, Éditions Armand Colin, 1990.

Richard DAWKINS, *L'horloger aveugle*, Éditions Robert Laffont, 1989.

Richard DAWKINS, *The Extended Phenotype : The Long Reach of the Gene*, Oxford University Press, 1989.

Mark RIDLEY, *Evolution*, Blackwell Scientific Publications, 1993.

Daniel DENNETT, *Darwin's Dangerous Idea : Evolution and the Meanings of Life*, Simon & Schuster, 1995.



La science de la jonglerie

PETER BEEK • ARTHUR LEWBEL

Comment les jongleurs parviennent-ils à lancer et à rattraper balles et anneaux avec tant d'adresse? L'étude de leur activité est utile en psychomotricité, en robotique et en mathématiques.

Pour livrer des munitions, un homme de 74 kilogrammes qui transporte trois boulets de canon de 500 grammes doit traverser un pont branlant qui ne supporte que 75 kilogrammes. S'il est pressé et s'il ne peut effectuer qu'un seul voyage, comment doit-il faire? La solution de cette vieille devinette est que l'homme doit jongler avec les boulets de canon en traversant le pont. En fait, cette solution est mauvaise, car, pour lancer un boulet en l'air, le jongleur doit exercer une force qui s'ajoute à son poids et devient supérieure à la résistance du pont. L'homme finirait au fond du précipice.

Bien qu'elle ne soit pas utile pour la traversée des ponts, la jonglerie est suffisamment complexe pour présenter des propriétés intéressantes et suffisamment simple pour permettre la modélisation de ces propriétés. Trois disciplines s'y intéressent. Les spécia-

listes de la psychomotricité, tout d'abord, l'étudient afin de mieux comprendre les mouvements humains et la coordination des membres. Les spécialistes de robotique, d'autre part, construisent des machines à jongler afin de développer et tester des techniques de contrôle mécanique en temps réel. Enfin, les mathématiciens analysent les surprenantes propriétés numériques des figures de jonglerie.

La jonglerie est un art antique : la plus ancienne illustration connue de cet art a été trouvée dans la tombe du prince égyptien Beni Hassan XV, qui a régné sur le Moyen Empire entre 1994 et 1781 avant notre ère. Toutefois, la première étude scientifique dont nous ayons connaissance ne date que de 1903 : Edgar James Swift publia, dans le *Journal américain de psychologie*, un article où il décrivait la rapidité avec laquelle certains étudiants

apprenaient à lancer deux balles avec une main. Dans les années 1940, les premiers ordinateurs furent utilisés pour calculer les trajectoires d'objets lancés, et l'on fonda l'Association internationale des jongleurs. Dans les années 1950 et 1960, les premières applications des études de la jonglerie apparurent : généralement, on utilisait la jonglerie pour comparer les méthodes générales d'apprentissage de la psychomotricité.

Enfin, dans les années 1970, la jonglerie fut étudiée pour elle-même : à l'Institut de technologie du Massachusetts, Claude Shannon créa ses machines à jongler et formula le théorème de la jonglerie, qui établit une relation entre la position des balles et l'action des mains. Seymour Papert et d'autres chercheurs du Projet MAC (qui devint par la suite le Laboratoire d'intelligence artificielle de l'Institut de technologie du Massachusetts) étudièrent la manière dont certaines personnes maîtrisent l'art de la jonglerie et fondèrent le Club de jonglerie de l'Institut, l'une des plus anciennes organisations consacrées à la jonglerie encore existante. Les mathématiques de la jonglerie apparurent dans les années 1980, avec l'élaboration d'une notation particulière pour résumer les figures de jonglerie (voir l'encadré en pages 82 et 83).

Avec trois balles, la plupart des néophytes essaient de jongler en exécutant la figure de la douche (où les balles décrivent un ovale), bien que la figure de la cascade (où les mains se lancent les balles en alternance, formant un



1. LES JONGLEURS CHEVRONNÉS se fondent plus sur leurs sensations tactiles que sur leur vue. Ils peuvent exécuter les yeux bandés, durant quelques minutes, quelques figures de jonglerie simples. Par exemple, un simple échange de balles (*page en vis-à-vis*), une fontaine à quatre balles (*coin supérieur gauche*) ou une cascade à trois balles (*ci-dessus*).

huit couché) soit beaucoup plus facile. On apprend à jongler avec trois balles en quelques heures ou en quelques journées, mais avec quatre balles, la durée d'apprentissage atteint plusieurs mois, et il faut parfois plusieurs années pour affiner le toucher et le lancer, jusqu'à devenir capable de jongler avec cinq balles.

Le record mondial du plus grand nombre d'objets avec lesquels on ait jonglé (où chaque objet est lancé et rattrapé au moins une fois, connu sous

le nom de «flash») est de 12 anneaux, 11 balles ou 8 massues. Le record dépend du type d'objets utilisés, parce que la facilité de prise diffère, de même que la marge d'erreur possible afin d'éviter les collisions.

Les limites dans la courbe d'apprentissage

La pesanteur est la principale force que le jongleur doit maîtriser : chaque balle doit être lancée suffisamment haut pour

que le jongleur ait le temps de s'occuper des autres balles. Le temps passé en l'air par une balle est proportionnel à la racine carrée de la hauteur du lancer. La vitesse de lancer – et la hauteur maximale que la balle doit atteindre – augmente rapidement avec le nombre d'objets avec lesquels on jongle.

L'imperfection inévitable des gestes engendre des erreurs de trajectoire et de synchronisation. Si l'on jongle trop bas, les balles sont plus rapprochées, ce qui augmente les risques de collisions. On doit alors lancer et rattraper rapidement les balles, ce qui peut provoquer des erreurs. Inversement, si on lance les balles plus haut, on dispose de plus de temps pour éviter ou corriger les erreurs, mais les erreurs sont amplifiées. Pour des lancers de quelques mètres seulement, une erreur de deux ou trois degrés sur la direction du lancer provoque une erreur de 30 centimètres sur le point de retom-



2. LA PLUS ANCIENNE REPRÉSENTATION DE JONGLEURS connue a été retrouvée dans la tombe du prince Beni Hassan XV, qui régna sur le Moyen Empire d'Égypte au XVIII^e siècle avant notre ère.

Les mathématiques de la jonglerie

L'une des méthodes utilisées par de nombreux jongleurs pour résumer les figures qu'ils exécutent est la notation d'échange de position inventée aux alentours de 1985 par Paul Klimek et Michael Day. L'échange de position est une notation compacte qui représente l'ordre dans lequel les objets sont lancés et rattrapés dans chaque cycle de jonglerie, partant du principe que les lancers surviennent selon des rythmes qui sont espacés de manière égale dans le temps.

Considérons, par exemple, la cascade à trois balles. La première balle est lancée aux temps 0, 3, 6..., la deuxième aux temps 1, 4, 7..., et la troisième aux temps 2, 5, 8... La notation d'échange de position utilise le temps entre les lancers de chaque balle pour caractériser la figure. Dans cette cascade, le délai entre les lancers de toute balle est de trois temps, donc son échange de position est 3333..., ou juste 3. La notation de la figure nommée douche (première balle 0, 5, 6, 11, 12..., deuxième balle 1, 2, 7, 8, 13..., troisième balle 3, 4, 9, 10, 15...) se compose de deux chiffres, 51, où 5 se rapporte à la durée du lancer haut, et 1 au temps nécessaire pour faire passer la balle d'une main à l'autre dans la partie inférieure de l'arc de cercle. D'autres échanges de positions à trois balles sont 441, 45141, 531 et 504 (un 0 représente un repos, où aucun rattrapage ni aucun lancer n'est effectué).

La manière la plus aisée de développer l'échange de position pour comprendre la façon dont les balles sont véritablement lancées est de tracer un diagramme de demi-cercles sur une ligne de temps numérotée. Les points correspondant aux nombres pairs sur la ligne représentent les lancers de la main droite, les nombres impairs les lancers de la main gauche.

Par exemple, considérons l'échange de position 531. Écrivons les nombres 5, 3 et 1 plusieurs fois de suite, chaque nombre étant inscrit sous le point suivant de la ligne numérotée en partant de 0 (voir le schéma supérieur de l'encadré, page ci-contre). Le nombre situé au-dessous du point 0 est 5 ; à partir de là, on trace un demi-cercle de cinq unités dont le diamètre va jusqu'au point 5, qui repré-

sente un lancer assez haut pour passer cinq unités de temps en l'air. Le nombre au-dessous du point 5 étant un 1, on trace un demi-cercle de diamètre 1 du point 5 au point 6. Comme le point 6 correspond au nombre 5, le prochain demi-cercle va du point 6 au point 11. On obtient ainsi le trajet dans le temps de la première balle, qui est la même que la balle dans la figure douche 51, décrite précédemment. On répète le procédé à partir des points 1 et 2, afin de trouver le trajet des deux balles restantes. Le résultat est que les première et troisième balles se déplacent toutes les deux selon une figure douche, mais dans des directions opposées, et la deuxième balle serpente entre les deux douches dans un rythme correspondant à une cascade. Si l'on exclut cette dernière balle, on obtient le simple échange de position à deux balles.

Toutes les séquences de nombres ne peuvent pas être traduites en véritables figures de jonglerie. Par exemple, dans la séquence 21, les deux balles atterrissent simultanément dans la même main (bien que des variantes plus compliquées de notation d'échange de position permettent que plus d'une balle soit lancée ou rattrapée en même temps, une prouesse que les jongleurs appellent multiplexage).

La notation d'échange de position a permis l'invention de certaines figures qui deviennent progressivement populaires, parce qu'elles sont spectaculaires, comme la figure 441, ou parce qu'elles sont utiles pour la maîtrise d'autres tours, comme la figure à quatre balles 5551 en tant que prélude à l'apprentissage de la cascade à cinq balles. Plusieurs programmes informatiques animent des échanges de positions arbitraires et identifient les figures réalisables. De tels programmes permettent aux jongleurs de visualiser une figure avant de s'y essayer, ou simplement de jeter un coup d'œil à des figures impossibles à réaliser par un être humain.

Les chaînes de nombres qui se dégagent des figures réalisables possède des propriétés mathématiques étonnantes. Par exemple, le nombre de balles nécessaires pour une figure particulière est égal à la moyenne numérique des nombres de la séquence d'échange de position. Ainsi la figure 45141 nécessite l'emploi de $(4 + 5 + 1 + 4 + 1)/5$,