

on conciliait ainsi l'idée d'une évolution très lente, graduelle, comme l'avait imaginée Darwin, avec la nécessaire discontinuité des mutations génétiques.

Or, pour Goldschmidt, la nature du matériel génétique tel qu'il le concevait allait à l'encontre de cette idée, puisque les notions mêmes de gène et de mutation ponctuelle lui posaient problème. Dans son modèle, certaines mutations affectaient la structure générale des chromosomes et se traduisaient par des modifications systémiques du développement. Elles produi-

seraient un handicap). Goldschmidt expliquait l'apparition d'une telle forme par la survenue, chez l'ancêtre à deux ailes de *Termitoxenia*, d'une mutation homéotique similaire à *tetraltera* : le « monstre prometteur » qui en avait résulté avait pu coloniser un nouveau milieu, la termitière.

Les conceptions de Goldschmidt apparurent cependant comme marginales, à une époque où triomphaient la génétique morganienne et la théorie synthétique de l'évolution, et elles n'eurent pas de postérité immédiate. Néanmoins, l'histoire de l'homéose était loin d'être terminée. Dès les années 1950, le généticien américain Edward Lewis s'empara du sujet. Il entreprit une étude précise des mutations homéotiques de la drosophile et de leur position sur le chromosome. Tout en restant dans le cadre de la génétique morganienne, il prit en compte les avancées récentes de la biologie moléculaire pour tenter de comprendre comment ces gènes agissaient.

Il identifia ainsi tout un complexe de gènes homéotiques qui fut appelé Bithorax, d'après le nom de la mutation découverte par Bridges. Ces travaux le menèrent, en 1978, à l'élaboration d'un modèle dans lequel les gènes de ce complexe contrôlaient de façon coordonnée la mise en place de l'axe antéropostérieur de la drosophile, chacun d'eux déterminant l'identité d'un segment du corps. Il montra de plus que l'ordre des gènes sur le chromosome correspondait à celui des segments le long de l'axe du corps.

Quelques années plus tard, les mécanismes d'action moléculaire de ces gènes homéotiques commencèrent à être compris. On découvrit en même temps qu'ils se retrouvaient dans des groupes aussi différents que les insectes et les mammifères, ce qui ouvrit la voie à une étude comparée des processus développementaux dans tout le règne animal. Ces travaux aboutirent ainsi, dans les années 1980, à l'émergence d'un champ nouveau, la biologie évolutive du développement ou évo-dévo, synthèse de la génétique moléculaire, de la biologie du développement et des sciences de l'évolution.

Depuis lors, de nombreux autres gènes de développement ont été mis en évidence, mais les gènes homéotiques continuent de représenter, en quelque sorte, un paradigme au sein de l'évo-dévo. Bridges n'imaginait sans doute pas, en 1915, que la mutation qu'il venait de trouver aurait une telle importance dans l'histoire de la biologie. ■

Bridges n'imaginait sans doute pas, en 1915, que la mutation qu'il venait de trouver aurait une telle importance dans l'histoire de la biologie

saient ainsi, d'un seul coup, des individus d'aspect très différent de leurs parents. Parfois, selon Goldschmidt, ces individus présentaient un avantage sélectif. Ils constituaient alors ce qu'il nommait des « monstres prometteurs ». Or les mutants homéotiques représentaient exactement ce que pouvaient être de tels sauts évolutifs : en une seule étape, un organe se trouvait remplacé par une autre structure, certes anormale, mais dotée d'emblée d'une organisation potentiellement fonctionnelle.

Étant donné ses origines juives, Goldschmidt avait dû quitter l'Allemagne en 1935 et avait obtenu un poste de professeur à l'université de Californie à Berkeley. Il s'y consacra en grande partie à l'étude des mutations homéotiques. En particulier, il s'intéressa à la mutation *tetraltera*, découverte en 1934, dont le phénotype était l'inverse de *bithorax* : au lieu d'avoir deux ailes et deux balanciers, la drosophile mutante possédait quatre balanciers.

Goldschmidt tenta de comprendre les mécanismes développementaux qui sous-tendaient cette transformation, recourant pour cela à des explications en partie inspirées de celles des généticiens russes. Mais il rechercha aussi des espèces qui, à l'état normal, présentaient un aspect semblable à celui de mutants homéotiques. C'était le cas, par exemple, du diptère *Termitoxenia*, doté d'une paire de balanciers à la place des ailes et adapté par conséquent à la vie à l'intérieur des termitières (où des ailes

■ BIBLIOGRAPHIE

S. Schmitt, *Histoire d'une question anatomique : la répétition des parties*, MNHN, 2004.

W. J. Gehring, *La Drosophile aux yeux rouges*, Odile Jacob, 1999.



LA MARCHÉ DES SCIENCES

DÉCOUVERTES, INVENTIONS, AVENTURES SAVANTES AU FIL DE L'HISTOIRE

AURÉLIE LUNEAU
CHAQUE JEUDI
16H - 17H



© RADIO FRANCE / CHRISTOPHE ABRAMOWITZ

en partenariat avec **POUR LA
SCIENCE**

Écoute, réécoute, podcast
franceculture.fr



LOGIQUE & CALCUL

Le nombre π est partout !

L'ubiquité du nombre π ne cesse d'étonner. Récemment encore, il est apparu là où personne ne s'attendait à le trouver : dans un système simple de collisions, dans la conjecture de Syracuse, dans le jeu de la vie...

Jean-Paul DELAHAYE

L'ubiquité est « le fait d'être présent partout à la fois ou en plusieurs lieux en même temps. » De tous les nombres, π est celui qui jouit le plus spectaculairement de cette propriété : on le rencontre sans cesse en mathématiques et en physique. L'une des conséquences de cette ubiquité est qu'on découvre encore de nouvelles façons de calculer π . Il est devenu difficile de battre les formules qui évaluent très vite ce nombre, parce que les meilleures méthodes connues résultent de recherches approfondies, qu'elles sont d'une grande subtilité, et qu'elles sont d'une époustouflante efficacité.

Aujourd'hui, le record de calcul donne 13 300 milliards de décimales de π et se fonde sur plusieurs formules, telle celle-ci, due aux frères David et Gregory Chudnowsky :

$$\frac{1}{\pi} = 12 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k (6k)! (13591409 + 545140134k)}{(3k)! (k!)^3 (640320)^{3k+3/2}}$$

Bien que ne pouvant entrer en concurrence avec cette extraordinaire formule (en se limitant au terme $k=0$, on trouve $\pi = 3,1415926535897342\dots$, ce qui est correct jusqu'au 14^e chiffre), nous allons, pour le défi, la beauté ou même l'amusement et l'étonnement, présenter quelques-unes des étranges nouvelles méthodes de calcul de π .

Commençons par les méthodes utilisant des procédés physiques. La méthode de Monte-Carlo pour calculer π se fonde sur un principe très simple : la surface d'un disque

de rayon r est πr^2 . Elle permet d'obtenir expérimentalement quelques décimales de π . On fait tomber au hasard des grains de sable sur un carré de côté r ; si les grains le recouvrent uniformément, la proportion de grains tombés dans le quart de disque de rayon r donne une valeur approchée de $\pi/4$: la superficie du carré est r^2 , celle du quart de disque est $\pi r^2/4$, donc le rapport est $\pi/4$ (voir l'encadré ci-contre, a).

Si par exemple on lâche 1 000 grains de sable et qu'il y en a 780 qui tombent dans le quart de disque, cela donne l'approximation $\pi = 4 \times 780/1\,000 = 3,12$. En pratique, cette méthode souffre d'un grave défaut : elle suppose que l'on sache disposer des grains de sable uniformément sur le carré. Or en les lançant vers le centre, par exemple, les grains de sable auront une distribution plus dense vers le centre et plus éparse sur les bords. Le calcul sera faussé !

Il existe cependant des méthodes statistiques permettant de corriger cette non-uniformité. L'une d'elles consiste à compter le nombre de grains en affectant à chaque grain P un coefficient inversement proportionnel au nombre de grains situés dans un petit cercle autour de P . Les grains situés dans une zone dense sont ainsi comptés moins, ce qui corrige la non-uniformité.

Vincent Dumoulin et Félix Thouin, de l'université de Montréal, ont utilisé une méthode de ce type en tirant sur une cible distante de 20 mètres avec un fusil. Les expérimentateurs ont ainsi créé 30 857 trous

dans la cible. Le calcul, avec correction de la non-uniformité, a donné $\pi = 3,131$, ce qui correspond à une erreur de 0,3 %.

La méthode des aiguilles de Buffon est un autre moyen de tirer de la physique des valeurs approchées de π . On lance n aiguilles de longueur L , sur un parquet dont la largeur des lattes est L ; on compte le nombre k d'aiguilles coupant les lignes parallèles de jonction entre lattes ; le quotient $2n/k$ est une valeur approchée de π . Cette méthode est très classique aussi nous n'y reviendrons pas. D'ailleurs, comme celle des coups de fusil, elle ne donnera jamais plus de quatre décimales exactes de π .

Le nombre de chocs avec deux billes et un mur

Plus intéressante et surprenante est la méthode physique proposée par Gregory Galperin, de l'université de l'Illinois. Elle n'utilise que des chocs entre billes qui suivent les lois de la physique classique et produisent les décimales de π les unes après les autres. Non seulement le dispositif imaginé donne π , mais il le donne écrit en base 10, et cela sans qu'aucun calculateur mécanique ou électronique ne soit mêlé à l'affaire.

Par rapport à celle de Buffon et du fusil, la méthode de Galperin a l'avantage que le hasard n'intervient pas et que le procédé déterministe de calcul de π donne donc, non pas une approximation de π , mais exactement les premiers chiffres de $\pi\dots$ pour