

En effet, pour $b=13$, il y a aussi les deux listes d'âges des enfants (1, 2, 2, 2, 6) et (1, 1, 3, 4, 4) qui donnent l'âge $a=48$. Autrement dit, si le bus avait pour numéro 13, B ne pourrait pas déduire de la réponse négative du sorcier A l'âge de A, car celui-ci pourrait être 36 ou 48. Le numéro de bus $b=13$ est donc à éliminer.

Mais l'élimination de $b=13$ entraîne l'élimination de $b=14$ en considérant les séquences d'âges trouvées pour $b=13$ et en leur ajoutant le nombre 1, ce qui donne (1, 1, 6, 6) et (1, 2, 2, 9) avec $a=36$ d'une part, et (1, 1, 2, 2, 2, 6) et (1, 1, 1, 3, 4, 4) avec $a=48$ d'autre part. Selon le même procédé de l'élimination de $b=14$, on en tire l'élimination de $b=15$ et, de proche en proche, de tous les b supérieurs à 12.

Finalement, seul reste le numéro de bus $b=12$ avec les séquences (2, 2, 2, 6) et (1, 3, 4, 4), qui donnent l'âge du sorcier A: $a=48$.

À la vue de tous les calculs qu'il faut faire pour avoir la solution et dont je n'ai pas recopié le détail qui occupe plusieurs pages, j'avoue que je ne comprends pas comment Conway a pu concevoir ce problème inouï!

PAVAGES DU PLAN PAR DES SEGMENTS DE DROITE

Paver le plan avec des carrés est facile, et il en est de même avec des triangles équilatéraux ou des hexagones. On peut aussi paver le plan avec des droites: il suffit de les placer toutes côte à côte et parallèles. Il y en aura une infinité non dénombrable, mais ce sera un pavage parfaitement satisfaisant, car chaque point du plan appartiendra à une droite du pavage et à une seule. Voici des questions plus délicates:

- Peut-on paver le plan avec des segments fermés, c'est-à-dire des segments de droite $[A, B]$ incluant les extrémités?

- Peut-on paver le plan avec des segments ouverts, c'est-à-dire des segments $]A, B[$ dont on ne retient pas les extrémités?

- Peut-on paver le plan avec des segments semi-ouverts, c'est-à-dire des segments $]A, B]$ dont on ne retient qu'une seule extrémité?

Réfléchissez à ces questions inhabituelles, mais naturelles. Elles ne sont pas si simples. L'encadré 3 donne les solutions. Dans un magnifique article de 1964, Conway abordait avec un collègue (voir la bibliographie) ce type de questions et bien d'autres, prouvant encore une fois que des questions très simples auxquelles personne ne pense sont de belles occasions de faire des mathématiques... pas tout à fait évidentes.

L'INDÉCIDABILITÉ DE LA CONJECTURE DE COLLATZ

Le dernier thème intéresse les mathématiciens amateurs autant que les professionnels. Considérons la fonction f qui, pour les

entiers positifs pairs n donne $n/2$, et qui donne $3n+1$, pour les entiers positifs impairs. Partons de l'entier 7 et appliquons f : on obtient 22, puis en recommençant, 11, puis 34, 17, 52, 26, 13, 40, 20, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1, 4, 2, 1, etc. Une fois que l'on arrive à 1, on tourne en rond.

Quel que soit l'entier n de départ, il semble qu'on finisse toujours par arriver à 1 et à tourner en rond. Des calculs par ordinateur ont testé cette propriété, qui est vraie pour tous les n jusqu'à au moins 87×2^{60} (environ 10^{20}). On n'a cependant pas réussi à prouver que c'est toujours le cas, ni à trouver de n initial qui donnerait une suite allant vers l'infini ou aboutissant à un autre cycle que (4, 2, 1).

Une multitude de travaux ont été consacrés au problème (nommé «conjecture de Collatz» ou «conjecture de Syracuse»), dont plusieurs ont été réunis en un livre (voir la bibliographie). La grande simplicité de l'énoncé du problème attire les amateurs, et je reçois régulièrement des propositions de solutions qui, jusqu'à présent, sont soit fausses soit incompréhensibles.

Conway face à un tel défi, aussi simple à énoncer et qui pourtant résiste depuis plus de quatre-vingts ans à toutes les tentatives de résolution, ne pouvait rester indifférent.

En 1972, il a publié un premier article sur le sujet où il propose des problèmes d'une formulation proche dont il démontre l'indécidabilité. Pour certaines valeurs de l'entier de départ, la suite engendrée par la variante de f ne finit pas par arriver à 1, mais la théorie des ensembles ne peut pas le démontrer. Plus généralement, pour tout système de démonstration S , il existe un problème de cette catégorie et un point de départ qui n'aboutit pas à 1, ce qui n'est pas démontrable avec les moyens de S .

En 2013, Conway est revenu sur la question et a donné des arguments de type probabiliste suggérant que le problème de Collatz lui-même échappe au pouvoir des preuves des systèmes d'axiomes utilisés habituellement en mathématiques. Il ne s'agit pas d'une démonstration définitive de l'indécidabilité de la conjecture de Collatz, mais le type d'arguments qu'il propose semble assez sérieusement indiquer que ce n'est pas un hasard si tout le monde bute sur la résolution de la conjecture.

Tout mathématicien rencontre des problèmes qu'il ne réussit pas à résoudre. Conway n'a pas échappé à cette règle générale, mais ses capacités particulières de logicien lui ont en quelque sorte permis de se consoler en prouvant un résultat d'indécidabilité et en élaborant des arguments suggérant que ce problème, si simple à énoncer et qui lui a résisté, continuerait indéfiniment à résister à tous les mathématiciens. ■

BIBLIOGRAPHIE

J. H. Conway, **On unsetttable arithmetical problems**, *The American Mathematical Monthly*, vol. 120(3), pp. 192-198, 2013.

T. Khovanova, **Conway's Wizards**, *The Mathematical Intelligencer*, vol. 35, pp. 18-20, 2013 (<https://arxiv.org/pdf/1210.5460.pdf>).

J. H. Conway, **Unpredictable iterations**, *Proceedings of Number Theory Conference*, Boulder, CO, 1972, pp. 49-52; Repris dans : J. Lagarias (ed.), **The Ultimate Challenge : The $3x + 1$ Problem**, American Mathematical Society, 2010.

J. H. Conway, **The power of mathematics**, dans A. Blackwell & D. MacKay (eds.), *Power*, Cambridge University Press, 2006, pp. 36-50

J. H. Conway et H. T. Croft, **Covering a sphere with congruent great-circle arcs**, *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, vol. 60(4), pp. 787-800, 1964.

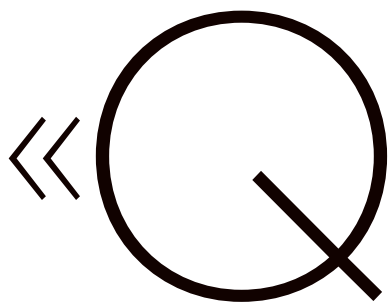
L'AUTEUR



LOÏC MANGIN
rédacteur en chef adjoint
à *Pour la Science*

LE MYSTÈRE DU COQUELICOT DE MONET

Au muséum de Rouen, on découvre pourquoi une espèce de coquelicot porte le nom de Claude Monet. C'est que l'illustre peintre, passionné d'horticulture, vivait entouré de botanistes !



« Que peut-il y avoir à dire, je vous le demande, d'un homme que rien au monde n'intéresse que sa peinture – et aussi son jardin et ses fleurs ? » C'est ainsi que Claude Monet s'interroge à son propos. Et, de fait, le père de l'impressionnisme aime passionnément l'horticulture. De 1883 jusqu'à sa mort en 1926, il aménage avec soin le « Clos Normand », les 96 ares entourant sa propriété de Giverny, dans l'Eure, prenant conseil auprès de professionnels de renom, comme Truffaut et Vilmorin, et d'amis tout aussi épris de plantes que lui, notamment Gustave Caillebotte. Glaïeuls, clématites, capucines, pivoines, passiflores... sortent

de terre, s'épanouissent et se succèdent tout au long de la belle saison. Et l'on trouve aussi des coquelicots dont le nom d'espèce est... *Papaver monetii*.

Pour comprendre l'incursion de Monet dans les sciences botaniques, entrons dans son intimité. À Giverny, il vit avec ses deux enfants, Michel et Jean, nés de son premier mariage avec Camille Doncieux, ainsi qu'avec Alice Raingo, qu'il épouse en 1892. Elle est la veuve (en 1891) d'Ernest Hoschedé, mécène du peintre et premier propriétaire d'*Impression, soleil levant*, qui a abandonné sa famille pour s'exiler en Belgique. Le couple Hoschedé avait six enfants, dont le dernier, Jean-Pierre, né dans un train entre Dax et Biarritz, est probablement le fils naturel de Monet, sa mère étant sa maîtresse depuis longtemps. Parmi la tribu de Giverny, on trouve également Blanche Hoschedé, fille d'Alice, peintre également, au talent reconnu. Georges Clemenceau la surnommait « L'Ange bleu ».

Il faut imaginer cette famille recomposée se promener dans la campagne, Claude et Blanche avec leur matériel de



Papaver monetii, un hybride récolté dans le jardin de Monet, à Giverny, dans l'Eure, le 30 juin 1897, et « épinglé » par Jean-Pierre Hoschedé, fils naturel de Claude Monet, et l'abbé Toussaint dans leur herbier.



Le Champ de coquelicots, un champ de *Papaver rhoeas* peint par Claude Monet en 1885.

peintre. Et à leurs côtés, Jean-Pierre et Michel, sensiblement du même âge, herborisent, c'est-à-dire qu'ils recueillent des spécimens de plantes et les conservent dans des herbiers. L'abbé Anatole Toussaint, curé de Giverny, accompagne souvent le groupe et s'adonne lui aussi avec ferveur à cette occupation, très en vogue à l'époque.

C'est plus qu'un passe-temps pour Jean-Pierre Hoschedé et l'abbé Toussaint. Ensemble, ils constituent un herbier de la flore locale et échangent avec les botanistes régionaux. On leur doit une *Flore de Vernon et de la Roche-Guyon*, publiée en 1897. Le fils de Monet sera même membre de la Société botanique de France en 1901. Et ce sont eux qui repéreront le « Coquelicot de Monet » dans le jardin de Giverny. Qu'a-t-il de particulier ?

Autour de Giverny, surtout à la fin du XIX^e siècle, quand les pesticides sont encore absents, les coquelicots abondent.

Ces fleurs, de l'espèce *Papaver rhoeas*, sont celles que l'on distingue dans *Le Champ de coquelicots*, peint par Monet en 1885 (voir la reproduction ci-dessus), dans les environs de Giverny. Celui identifié par Jean-Pierre Hoschedé et l'abbé Toussaint (voir la planche d'herbier page ci-contre) pousse dans le jardin de la maison. Il s'agit d'un hybride né du croisement du *Papaver rhoeas* commun et du pavot tulipe *Papaver glaucum*. Originaire d'Anatolie, en Turquie, ce dernier a été introduit en France et cultivé par Monet.

Les découvreurs de *Papaver monetii* en distinguent trois variétés notées *A. genuinum*, *B. hirsutum* et *Y. rhœoides*. À l'instar de ceux de *Papaver glaucum*, les pétales internes sont dressés en forme de tulipe, tandis que les sépales sont hérissés comme ceux de *Papaver rhoeas*. Au total, six spécimens ont été récoltés et sont désormais conservés dans différents herbiers, notamment au Muséum national

d'histoire naturelle, à Paris. Ce sont les seuls connus, *Papaver monetii* n'ayant plus jamais été observé par la suite, sans doute en raison de la raréfaction de *Papaver glaucum*, alors même que *Papaver rhoeas* est toujours cultivé à Giverny.

À Rouen, une exposition met en scène le *Papaver monetii* au milieu d'œuvres de Blanche Hoschedé et de Claude Monet et fait revivre au public l'ambiance savante qui régnait à Giverny, entre horticulture et botanique. ■

« L'Herbier secret de Giverny »
Jusqu'au 15 novembre 2020,
au Muséum d'histoire naturelle de Rouen.
<https://bit.ly/RMM-Herbier>



L'auteur a publié :
**Pollock, Turner, Van Gogh,
Vermeer... et la science**
(Belin, 2018)

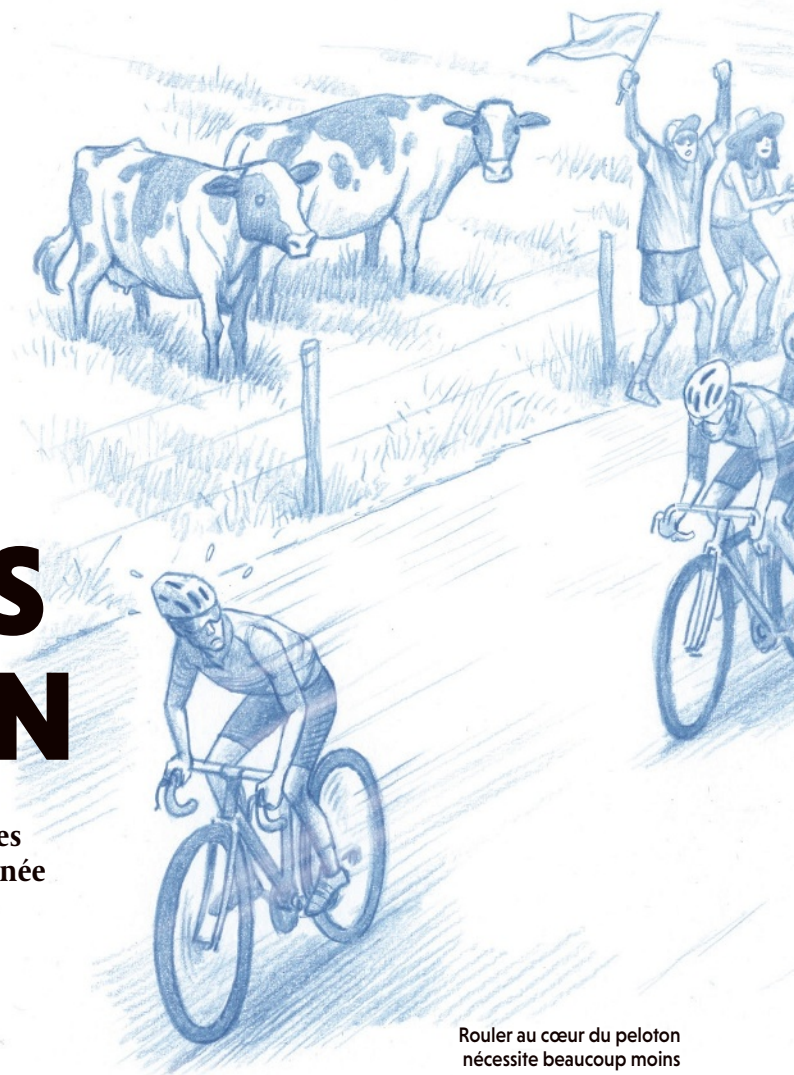
LES AUTEURS



JEAN-MICHEL COURTY et ÉDOUARD KIERLIK
professeurs de physique à Sorbonne Université, à Paris

SUCER LA ROUE DANS LE PELOTON

En roulant en file indienne ou groupés, les cyclistes fournissent moins d'efforts: ils subissent une traînée aérodynamique fortement réduite.



Rouler au cœur du peloton nécessite beaucoup moins d'efforts que de rouler à la même vitesse en solitaire.

Le coureur cycliste qui s'échappe du peloton, en tête, seul et durant la majeure partie de l'étape est hélas presque systématiquement rattrapé, dans les derniers kilomètres, par ses poursuivants et laissé sur place, à l'agonie... N'est pas Albert Bourlon qui veut, détenteur depuis 1947 du record de la plus longue échappée solitaire victorieuse sur une étape du Tour de France, soit 253 kilomètres. Les cyclistes d'aujourd'hui manqueraient-ils de mollet? La physique, entre études en soufflerie et simulations numériques, incite à plus d'indulgence. Car elle montre que rouler au cœur du peloton ou en file indienne réduit considérablement les efforts à fournir, par rapport à la situation où l'on roule seul.

Tout cycliste amateur en a l'intuition: même sur le plat et sans vent, aller vite

en vélo nécessite beaucoup d'efforts, surtout si l'on ambitionne de rouler à environ 54 kilomètres par heure, soit 15 mètres par seconde, allure communément atteinte par les professionnels du Tour de France.

LA TRAÎNÉE, ENNEMIE DU CYCLISTE SOLITAIRE

Quelles forces s'opposent à notre mouvement rendent cet effort si difficile? Éliminons d'emblée les frottements des chaînes, pignons, pédalier et moyeux ainsi que les frottements de roulement des pneus sur le sol. Ces forces sont typiquement inférieures à 2 newtons. La résistance à l'avancement est due essentiellement à la force de traînée aérodynamique: à 15 mètres par seconde, même lorsqu'on est couché sur le guidon, cette force représente

environ 40 newtons, soit le poids d'un objet de 4 kilogrammes.

Pourquoi vaincre une force aussi modeste nous demande-t-il autant d'efforts? Parce qu'on a un effet de levier inverse. Lorsqu'on roule à grande vitesse, chaque tour de pédale nous fait avancer de plus de 10 mètres, soit environ 10 fois plus que la longueur circulaire parcourue par un pied en un tour de pédale (pour les connaisseurs, nous avons considéré un développement de 52×11, des pneus de 700 millimètres et un bras de levier de pédale de 170 millimètres).

Le prix à payer est qu'il faut exercer sur la pédale une force 10 fois supérieure à la traînée aérodynamique, soit 400 newtons en moyenne, c'est-à-dire le poids de 40 kilogrammes. C'est une force énorme, sachant qu'à la vitesse considérée, le cycliste pédale à une cadence de 81 tours