

HISTOIRE DES SCIENCES

L'affaire Hubble-Lemaître résolue

Dans la traduction en anglais d'un article de l'astronome Georges Lemaître (1894-1966), un paragraphe a disparu, où il donne les prémisses de ce qui deviendra la constante de... Hubble. Omission de plein gré ou imposée ? La question vient de trouver une réponse.

Dominique LAMBERT

Est-ce la constante de Hubble, qui fit la gloire de l'astronome américain Edwin Hubble en 1929, avait été découverte deux ans avant lui par Georges Lemaître, jeune prêtre belge mathématicien et astronome chargé de cours à l'Université catholique de Louvain ? Soulevée il y a quelques mois par des astronomes et historiens amateurs, cette question a suscité un vif débat cet automne, que l'astronome Mario Livio, de l'Institut des sciences du télescope spatial, à Baltimore aux États-Unis, vient de clore. Verdict ? Lemaître a bien sa part dans cette découverte, même si, nous allons le voir, l'histoire n'est pas aussi simple.

Un Univers en expansion

Pour le comprendre, revenons en 1927. À cette époque, les astronomes s'interrogent : quelle est la structure de l'Univers ? Comment caractériser sa géométrie à partir des équations d'Einstein de la relativité générale ? Comment rendre compte dans ce contexte du décalage vers le rouge de presque toutes les « nébuleuses » (galaxies) observées à l'époque ? Les scientifiques savent depuis le XIX^e siècle qu'un tel décalage du spectre d'une source lumineuse signifie qu'elle s'éloigne à une certaine vitesse. Les solutions envisagées jusqu'alors sont insatisfaisantes : le cosmos sphérique et statique proposé par Einstein en 1917 est incapable de rendre compte d'un mouvement global de fuite des nébuleuses, et si l'Univers proposé par l'astronome néerlandais Willem de Sitter la même année

peut rendre compte de ce mouvement, il présente une densité de masse nulle, ce que contredisent les observations.

Lemaître est particulièrement intéressé par cette question, car il a étudié en profondeur les propriétés de l'Univers de de Sitter et en connaît les limites. En 1927, dans un article intitulé *Un univers homogène de masse constante et de rayon croissant, rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extragalactiques*, il dérive, des équations

Lemaître utilise son modèle d'Univers pour expliquer la relation linéaire entre la vitesse v des nébuleuses lointaines et leur distance d par rapport à nous ($v = Hd$), relation qui sera nommée plus tard loi de Hubble. L'explication de Lemaître est la suivante : ce ne sont pas les galaxies qui bougent « dans » l'Univers, c'est l'Univers qui, par son expansion, éloigne les galaxies les unes des autres avec une vitesse proportionnelle à leur éloignement.

Pour déterminer le coefficient de proportionnalité aujourd'hui noté H et nommé « constante de Hubble », Lemaître se fonde sur les vitesses radiales de 43 galaxies mesurées par l'astronome américain Vesto Slipher et publiées par Gustav Strömberg (de l'Observatoire du mont Wilson en Californie) en 1925. Il se fonde aussi sur les mesures de distance effectuées dans l'équipe de Hubble en 1926. Il arrive ainsi à une valeur de H de 575 kilomètres par seconde par mégaparsec (ce qui signifie que les galaxies qui sont éloignées de 1 mégaparsec sont animées d'une vitesse de 575 kilomètres par seconde). Cette valeur, éloignée de celle mesurée aujourd'hui (65 kilomètres par seconde par mégaparsec), est tributaire d'erreurs importantes sur les distances, dont Lemaître est conscient et qu'il analyse dans son article.

Lemaître a eu la chance de se trouver au bon endroit au bon moment ! Aux États-Unis durant les années 1924-1925, il a pratiqué l'astronomie à l'Observatoire du Collège Harvard tout en travaillant, à l'Institut de technologie du Massachusetts (MIT), à une thèse de physique sur la recherche de certaines



Edwin Hubble

tions d'Einstein, une solution intermédiaire entre les Univers d'Einstein et de de Sitter : un Univers sphérique et en expansion. Cet Univers « sans commencement ni fin » tend à l'infini dans le passé vers le cosmos sphérique et statique d'Einstein et, à l'infini dans le futur, vers l'Univers à densité d'énergie-matière nulle de de Sitter.

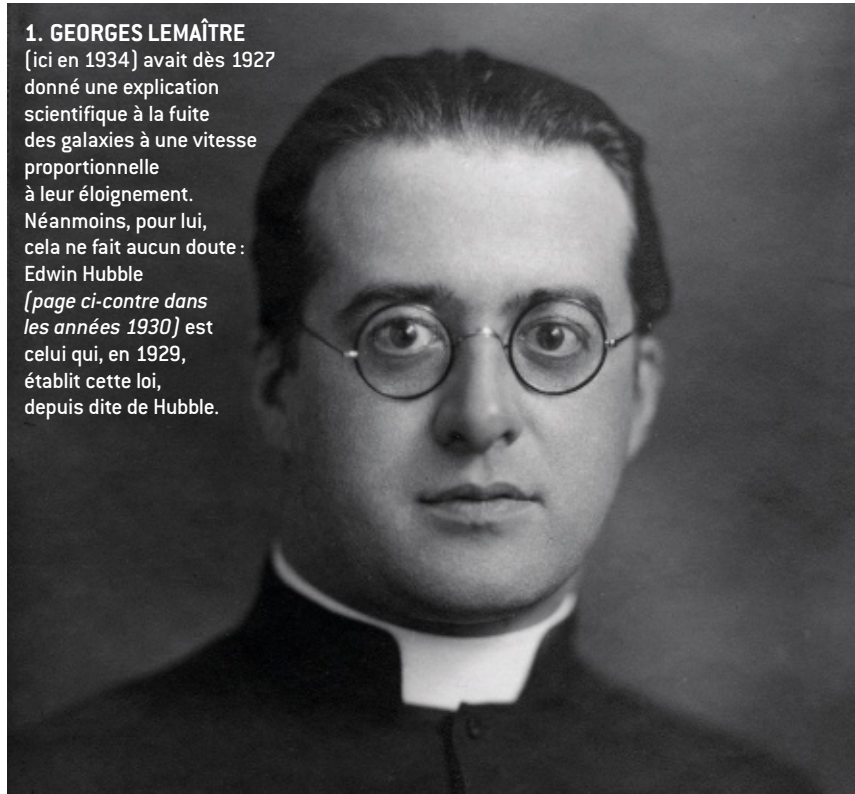
solutions des équations d'Einstein. Durant cette période, il a visité les grands observatoires astronomiques américains et même assisté à une conférence de Hubble : « Au printemps 1925, peu avant mon retour [en Belgique], j'ai eu l'occasion d'assister à une réunion de l'Académie à Washington et d'y entendre Hubble présenter la découverte des céphéides dans la nébuleuse d'Andromède, ce qui établissait définitivement la distance de celle-ci, et donc la structure générale de l'Univers. »

L'article de Lemaître est essentiel dans la mesure où il est le premier à donner une explication physique du décalage vers le rouge des galaxies lointaines et à le faire en joignant des données astronomiques à un modèle relativiste d'univers en expansion. Hubble a publié, en 1929, le célèbre article où il décrit la relation de proportionnalité $v = Hd$ à partir des mesures de vitesses de Slipher et de ses propres mesures de distance, plus précises à cette époque que celles utilisées par Lemaître deux ans auparavant (il trouve une valeur de H d'environ 500 kilomètres par seconde par mégaparsec). Mais, il n'y a aucun doute à ce propos, c'est bien Lemaître qui a fourni le premier une explication de la relation $v = Hd$.

Un paragraphe disparaît

L'article de Lemaître ne connut pas immédiatement la gloire qu'il méritait. La raison n'est pas liée au fait qu'il fut publié en français dans ce qui peut paraître une obscure revue. Les *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles* éditaient des contributions de haut niveau scientifique et étaient diffusées dans nombre de bibliothèques universitaires et d'observatoires de par le monde ; et le français était lu par un public scientifique beaucoup plus nombreux qu'aujourd'hui. Einstein lui-même avait, grâce à un ami, lu l'article de Lemaître dès sa parution et c'est ce qui lui permit de déclarer au jeune abbé en 1927, lors du Congrès Solvay à Bruxelles, que du point de vue physique, son idée d'expansion de l'Univers lui paraissait « tout à fait abominable », en même temps qu'il lui apprenait que le mathématicien russe Alexandre

1. GEORGES LEMAÎTRE
(ici en 1934) avait dès 1927 donné une explication scientifique à la fuite des galaxies à une vitesse proportionnelle à leur éloignement. Néanmoins, pour lui, cela ne fait aucun doute : Edwin Hubble (page ci-contre dans les années 1930) est celui qui, en 1929, établit cette loi, depuis dite de Hubble.



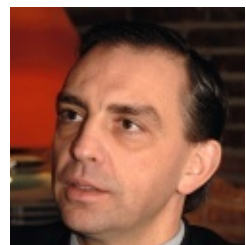
Archives Georges Lemaître, UCL, Louvain-la-Neuve, Belgique

Friedmann avait trouvé lui aussi des solutions correspondant à des Univers en expansion. Ce qui a freiné la diffusion de l'article de Lemaître, c'est le fait que bon nombre de physiciens, dont Einstein et Hubble, n'admettaient pas cette idée d'une histoire de l'Univers. Lemaître avait envoyé son article à sir Arthur Eddington, qui avait été à Cambridge son professeur durant l'année 1923-1924. Mais l'astronome ne l'avait pas lu !

En février 1930, Eddington publie une note dans laquelle il demande que l'on étudie des modèles d'Univers intermédiaires entre l'Univers statique d'Einstein et l'Univers vide de de Sitter. C'est justement ce que Lemaître a déjà fait. L'abbé écrit à son ancien professeur : « Cher Professeur Eddington, je viens juste de lire le numéro de février de *Observatory* et votre suggestion de rechercher des solutions non statiques intermédiaires entre celles d'Einstein et de de Sitter. J'ai mené ces recherches il y a deux ans. Je considère un Univers de courbure spatiale constante, mais qui augmente dans le temps. Et je mets en évidence l'existence

Lemaître
1934

L'AUTEUR



Dominique LAMBERT est professeur de philosophie et d'histoire des sciences aux Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix, à Namur (FUNDP), et membre de l'Académie royale de Belgique.

d'une solution où les nébuleuses s'éloignent toujours, d'un temps "moins l'infini" jusqu'à un temps "plus l'infini". »

À partir de ce moment, Eddington fera tout pour mettre en avant la contribution de son élève et il jouera un rôle majeur dans la demande de traduction de son article en anglais. C'est ici que commence l'objet de la récente controverse. Le 17 février 1931, Lemaître reçoit une lettre de William Smart, l'éditeur des *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, lui proposant, au nom du Conseil de la Société royale d'astronomie, dont fait partie Eddington, de publier une traduction anglaise de son article de 1927 et de devenir un *fellow* de cette prestigieuse Société. Dans cette lettre, Smart lui propose aussi d'ajouter s'il le souhaite quelques modifications.

La traduction paraît en mars 1931. Une énigme surgit alors, qui n'a d'ailleurs pas échappé, depuis, à un certain nombre de lecteurs : le paragraphe où Georges Lemaître dérivait le taux d'expansion de l'Univers (H) à partir des données astronomiques et sa note sur les erreurs relatives aux distances des galaxies ont disparu. Pourquoi ? Qui est l'auteur de la traduction ? Animés d'une excellente raison, à savoir souligner le fait que Lemaître avait été le premier à expliquer la loi dite aujourd'hui de Hubble, certains astro-

nomes et historiens des sciences en sont récemment venus à soupçonner, mais sans preuves matérielles, l'existence d'une pression qui aurait été exercée sur Lemaître, ou sur son traducteur, visant à assurer à Hubble la priorité de la dérivation de la loi $v = Hd$.

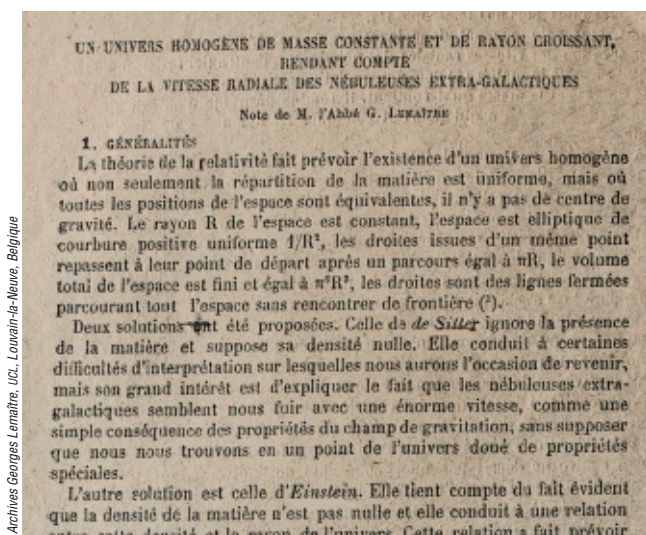
Par souci de modestie

À Louvain, où sont conservées les archives de Lemaître, nul n'a jamais douté que le traducteur était Lemaître lui-même. Ce dernier avait étudié à Cambridge (en Angleterre) et aux États-Unis, et maîtrisait l'anglais. Il eût été surprenant qu'il ne réalisât pas lui-même cette traduction. M. Livio a retrouvé, grâce à la médiation de Peter Hingley, bibliothécaire de la *Royal Astronomical Society*, et de Bob Carswell, l'éditeur en chef des *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, le compte-rendu de la réunion du 13 février 1931 au cours de laquelle fut décidée la traduction de l'article de Lemaître, et la réponse adressée par Lemaître le 9 mars 1931 à la lettre de Smart. Il y apparaît que Lemaître a bien traduit lui-même son article. On y apprend aussi que c'est lui qui a décidé de ne pas reproduire la discussion sur les vitesses radiales de nébuleuses qui mène au calcul du taux d'expansion. Il explique : « Il n'y avait pas lieu, à mon sens, de republier la discussion provisoire sur

les vitesses radiales, qui n'est plus d'aucune utilité à présent. »

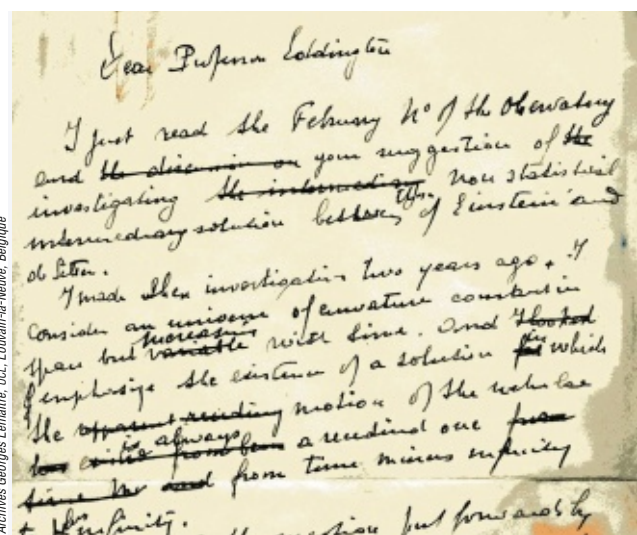
Lemaître était très attentif aux données d'observation. Après son passage à Cambridge et à Harvard, il était devenu un astronome professionnel. En 1931, les données sur les vitesses et les distances des galaxies étaient obsolètes, et des données plus fines avaient été publiées par Hubble dans son article de 1929. On comprend donc que l'abbé n'ait plus souhaité republier des données dépassées. De fait, chaque fois qu'il le pouvait, Lemaître tenait compte des valeurs les plus récentes de H . Dans un manuscrit destiné à une encyclopédie japonaise écrite juste avant la Seconde Guerre mondiale, il adopta « la meilleure valeur [de la constante de Hubble] selon la récente discussion de Knox, Show et Stabley [qui] semble être 405 kilomètres par seconde par mégaparsec ».

En outre, durant toute sa vie, Lemaître n'a jamais cherché à revendiquer une sorte de priorité quant à la découverte de la loi $v = Hd$. Ainsi, dans le compte-rendu du livre de Paul Couderc, *L'expansion de l'Univers* (1950), que Lemaître jugeait par trop élogieux, il déclare : « Avant la découverte et l'étude des amas de nébuleuses, il ne pouvait être question d'établir la loi de Hubble, mais seulement d'en calculer le coefficient. Le titre de [mon article de 1927] ne laisse aucun doute sur mes inten-



Archives Georges Lemaître, UCL, Louvain-la-Neuve, Belgique

2. L'ARTICLE OÙ, EN 1927, LEMAÎTRE proposa son modèle d'Univers en expansion. Dans la traduction en anglais de cet article, parue en 1931, un paragraphe et une note ont disparu...



Archives Georges Lemaître, UCL, Louvain-la-Neuve, Belgique

3. UN BROUILLON DE LA LETTRE DE LEMAÎTRE À EDDINGTON (1930), dans laquelle il explique à son maître qu'il a déjà proposé, deux ans plus tôt, un Univers intermédiaire entre ceux d'Einstein et de de Sitter.

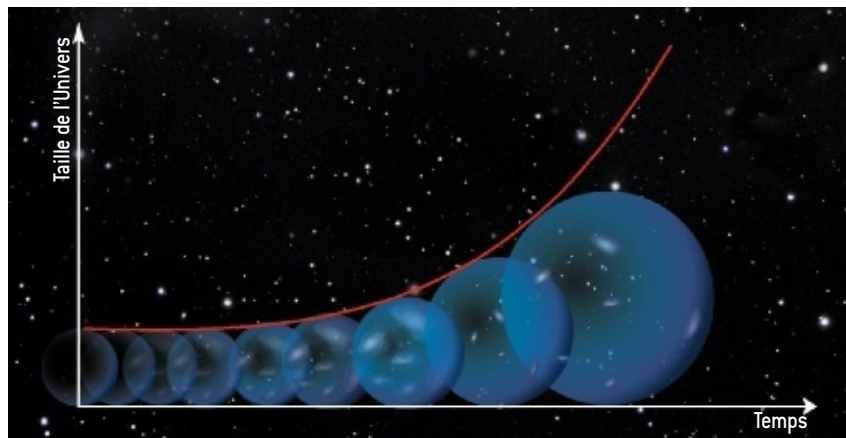
tions. » Et dans ses articles et ses cours après la Seconde Guerre mondiale, Lemaître cite la loi de Hubble sans jamais faire mention de sa propre contribution de 1927.

La controverse résolue par M. Livio a engendré une série d'effets intéressants. Nous en citerons deux. Le premier est d'avoir souligné de manière éclatante le fait que Georges Lemaître est bien le premier à avoir expliqué la « loi de Hubble ». Celle-ci mériterait donc, même si la modestie de Georges Lemaître en eût souffert, que nous la nommions désormais « loi de Hubble-Lemaître ». Et la récente proposition d'attribuer le nom de « Lemaître » à un grand instrument d'astronomie apparaît, dans ce contexte, on ne peut plus judicieuse.

Le Big Bang se dessine

Le deuxième est lié au contenu de la réponse de Lemaître à Smart. Lemaître avait la possibilité de supprimer tous les passages qu'il voulait dans sa traduction. Or, s'il enlève les données d'observations astronomiques effectives (qu'il eût été légitime de conserver malgré l'existence d'autres plus actuelles), il conserve ce qui est de l'ordre de la spéculation hardie : « Même la suggestion finale, qui n'est pas confirmée par un de mes travaux récents, n'a pas été modifiée », écrit-il à Smart. Cette suggestion est la suivante : « Il resterait à se (sic !) rendre compte de la cause de l'expansion de l'Univers. Nous avons vu que la pression de radiation travaille lors de l'expansion. Ceci semble suggérer que cette expansion a été produite par la radiation elle-même. »

Cette idée spéculative (et fausse !) est la trace d'une réflexion qui a pris corps lorsque Lemaître a réfléchi sur une autre idée spéculative (et fausse aussi), publiée en 1928 par Robert Millikan et Harvey Cameron, sur la nature des rayons cosmiques, des rayonnements très énergétiques détectés dans la haute atmosphère. Pour Millikan et Cameron, ces rayons sont produits dans l'espace, lors de la formation de noyaux atomiques à partir de protons et d'électrons, lesquels se seraient matérialisés à partir d'un rayonnement primitif. Dans un article de 1930, Lemaître reprend cette idée : « On pourrait



4. LE MODÈLE D'UNIVERS EN EXPANSION PROPOSÉ PAR LEMAÎTRE EN 1927. Son commencement est repoussé à l'infini vers le passé où il se raccorde au modèle statique d'Einstein, et une force répulsive accélère son expansion de façon exponentielle. En 1931, Lemaître affina son modèle en proposant un Univers où le monde a un commencement en feu d'artifice.

admettre que la lumière a été l'état originel de la matière et que toute la matière condensée en étoiles s'est formée par le processus proposé par Millikan. »

Elle est un des éléments qui le conduiront vers l'hypothèse de l'atome primitif. À l'origine de la théorie du Big Bang, cette hypothèse envisage, au commencement du Monde, un Univers ramassé dans un seul « atome » – un élément indivisible et homogène correspondant à un *quantum* d'énergie. Smart proposait à Lemaître d'ajouter une contribution nouvelle à sa traduction. Ce dernier préfère écrire un autre article où l'expansion sera non plus liée à une hypothétique pression de radiation originelle, mais à l'instabilité créée par la formation de condensations de matière dans un Univers quasi statique.

Loin d'être l'instrument d'une censure, la lettre de Smart m'apparaît comme une invitation faite à Lemaître à diffuser ses dernières idées. La lettre retrouvée par M. Livio montre que les préoccupations de Lemaître avaient changé depuis 1927. La question qui l'occupait en cette année 1931 était moins l'expansion de l'Univers que la cause profonde de son expansion et de son commencement, voire la formation des galaxies dans un Univers en expansion. Une controverse en histoire des sciences est toujours intéressante, car elle bouscule les idées et... les archives pour faire apparaître des vérités, y compris celles auxquelles on ne pensait pas !

✓ À ÉCOUTER

En février 2012, Dominique Lambert reviendra sur la controverse dans l'émission **La marche des sciences**, sur *France Culture* de 14h à 15h. www.franceculture.com

✓ BIBLIOGRAPHIE

M. Livio, *Mystery of the missing text solved*, *Nature*, vol. 479, pp. 171-173, 2011.

D. Lambert, *Un atome d'univers. La vie et l'œuvre de Georges Lemaître*, Lessius, 2011.

D. Lambert et J. Reisse, *Charles Darwin et Georges Lemaître. Une improbable mais passionnante rencontre*, Académie Royale de Belgique, Classe des Sciences, 2008.

D. Lambert, *Lemaître. Le père du Big Bang*, *Les Génies de la Science*, n°30, pp. 26-120, 2007.

D. Lambert, *L'itinéraire spirituel de Georges Lemaître suivi de Univers et Atome* (inédit de G. Lemaître), Lessius, 2007.

J.-P. Luminet, *L'invention du Big Bang*, Seuil, 2004.

LOGIQUE & CALCUL

La conjecture du carré inscrit

Placer sur une courbe fermée quatre points formant les coins d'un carré est presque toujours possible. C'est bien, mais comment se débarrasser du « presque » ?

Jean-Paul DELAHAYE

Là où on s'y attend le moins, des questions mathématiques difficiles surgissent, si difficiles parfois qu'elles restent non résolues. Le cas dont nous allons parler est particulièrement étrange puisque la question est « presque » résolue depuis longtemps. Malheureusement, les mathématiciens n'ont pu enlever le « presque », malgré des progrès récents et un siècle de tentatives diverses par des chercheurs chevronnés.

Voici le problème.

1) Dessinez une boucle avec une craie sur un tableau : cercle, ellipse, ovoïde, polygone régulier, etc.

2) Trouvez quatre points de la courbe qui soient les quatre sommets d'un carré.

Si vous êtes patient et méthodique, vous réussirez quel que soit votre tracé sur le tableau (voir la figure 1).

Le constat sur des cas particuliers est intéressant, mais peut-on démontrer qu'il existe un tel carré pour toute courbe fermée simple (qui revient à son point de départ sans se couper) dessinée sur un plan ?

La réponse n'est pas connue dans le cas général, bien que de nombreux cas particuliers aient été traités, lesquels recouvrent à peu près toutes les courbes fermées simples habituellement envisagées en mathématiques. Le problème a été formulé en 1911 par le mathématicien allemand Otto Toeplitz [1881-1940]. Depuis, une multitude d'articles mathématiques lui ont été consacrés. J'en ai compté plus de 30, qui,

tout en faisant avancer la résolution de l'énigme ou en traitant certaines variantes, n'en sont pas venus à bout. L'affirmation que « Toute courbe fermée simple contient les quatre coins d'au moins un carré » reste, aujourd'hui encore, une conjecture.

L'énigme est liée au problème concernant le positionnement d'une table sur un monticule. Considérons un terrain bombé, une petite colline, assez régulier pour qu'on puisse l'assimiler à une surface continue. Chaque ligne de niveau est une courbe fermée simple ou la juxtaposition de plusieurs courbes fermées simples. Si la conjecture est vraie ou si les courbes mises en jeu sont suffisamment régulières pour entrer dans la classe des courbes pour laquelle la conjecture est prouvée (voir plus loin), alors sur chacune d'elles, il existe quatre points formant les sommets d'un carré, où l'on peut placer les pieds d'une table carrée ayant des pieds de même hauteur et supposés très fins et assez longs.

Pique-nique sur une colline

À chaque niveau possible, on pourra ainsi poser une table carrée au moins dans une position stable et parfaitement horizontale. Notons toutefois que, pour un niveau donné, la table sera imposée et il faudra donc la fabriquer exprès pour que l'écartement entre les pieds soit le bon, c'est-à-dire égal au côté du carré inscrit sur la courbe de niveau choisie. Heureusement, si la surface du

monticule est assez régulière, le côté du carré inscrit variera de manière continue en parcourant les lignes de niveau, et on aura donc le résultat plus intéressant en pratique : toute table à base carrée donnée et assez haute, dont les pieds ne sont pas trop écartés, pourra être placée horizontalement et d'une façon stable sur le monticule où l'on souhaite pique-niquer.

Revenons au problème initial d'un carré ayant ses quatre coins sur une courbe. Précisons que nous dirons « inscrit sur la courbe » même si d'autres intersections du carré avec la courbe se produisent et que celui-ci sort donc de la zone intérieure délimitée par la courbe. Pour expliquer la situation et la multitude de résultats démontrés autour de la conjecture de Toeplitz, il faut faire un effort de rigueur et nous formulerons quelques définitions.

Une courbe fermée simple C du plan est l'ensemble des points $C(t)$ du plan quand t varie dans l'intervalle des nombres réels compris entre 0 et 1 tel que $C(t)$ soit une fonction continue qui ne prend pas deux fois la même valeur (la courbe ne se coupe pas) sauf en $t = 0$ et en $t = 1$ (la courbe revient à son point de départ).

La propriété d'être continue fait que la courbe C se dessine sans avoir à lever la craie. Cette condition de continuité ne garantit pas que la courbe C soit totalement lisse. Elle peut avoir des angles et, par exemple, un triangle équilatéral ou un polygone quelconque (non croisé) est une courbe fermée simple. Les points où la courbe fermée