

HISTOIRE DES SCIENCES

Poincaré et la rotation de la Terre

À l'aube du XX^e siècle, Henri Poincaré se trouva malgré lui au cœur d'une polémique sur la rotation de la Terre. La presse s'empara de l'affaire....

Jean-Marc GINOUX et Christian GERINI

Jusqu'à sa mort, le mathématicien et physicien Henri Poincaré (1854-1912) a été cité, commenté, décrit, encensé ou critiqué dans la presse généraliste de toutes tendances (*Le Matin*, *Le Temps*, *Le Petit Parisien*, *La Presse*, *Le Figaro*, *La Croix*, *L'Humanité*, etc.). Il y a également apporté ses propres contributions, touchant un large public sur des sujets qui lui tenaient à cœur, ou se défendant d'attaques et de récupérations dont il faisait l'objet. À la lecture de ces articles, un autre Poincaré apparaît : le savant tel qu'il était perçu dans l'espace public de son vivant, le référent répondant à des questions scientifiques ou non, l'homme blessé se défendant face à de fausses interprétations de son œuvre, l'homme engagé, aussi, par exemple sur des questions d'éducation et de programmes scolaires. Parmi les événements les plus marquants de sa vie, il en est un qui a fait couler beaucoup d'encre dans la presse : une longue polémique sur la rotation de la Terre.

Une polémique naît

Cette polémique ne prit pas naissance dans le milieu scientifique, mais dans le milieu philosophique au sein duquel Poincaré s'était imposé en parallèle de son parcours scientifique. Tout commença pendant l'Exposition universelle de Paris, début août 1900. Alors que s'étalaient sous les yeux d'un public ébahi les progrès de la science et de la technique, se tenait le Congrès international de philosophie organisé par le philosophe Émile Boutroux, beau-frère de Poincaré. Ce dernier était invité à y présenter ses idées sur les principes de la mécanique lors de la session *Logique et histoire des sciences*. Rien d'éton-

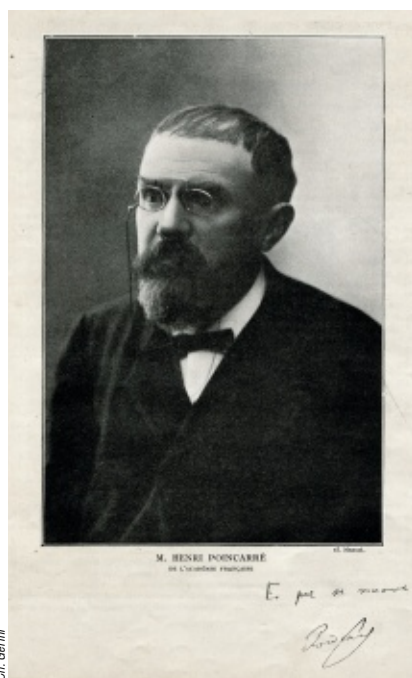
nant à cela, après dix années où il avait marqué l'astronomie en remportant le Grand prix du roi de Suède et de Norvège sur le problème des trois corps en 1889 et publié ensuite les trois volumes des *Méthodes nouvelles de la mécanique céleste*.

Dans son exposé, il remettait en cause l'existence d'un espace absolu : « Il n'y a pas d'espace absolu et nous ne concevons que des mouvements relatifs ; cependant on énonce le plus souvent les faits mécaniques comme s'il y avait un espace absolu auquel on pourrait les rapporter. » Puis, il ajoutait :

« Cela n'empêche pas que l'espace absolu, c'est-à-dire le repère auquel il faudrait rapporter la Terre pour savoir si réellement elle tourne, n'a aucune existence objective. Dès lors cette affirmation : "la Terre tourne" n'a aucun sens, puisqu'aucune expérience ne permettra de la vérifier ; puisqu'une telle expérience ne pourrait être ni réalisée, ni rêvée par le Jules Verne le plus hardi, mais ne peut être conçue sans contradiction ; ou plutôt ces deux propositions : "la Terre tourne", et : "il est plus commode de supposer que la Terre tourne", ont un seul et même sens ; il n'y a rien de plus dans l'une que dans l'autre. »

Cette dernière phrase engendra vite des polémiques entre spécialistes au sein des réunions de la Société philosophique de France créée quelques mois après le congrès de Paris : elles impliquèrent Poincaré lui-même, bien sûr, et face à lui le philosophe Édouard Le Roy, mais aussi le mathématicien Georges Lechalas et d'autres savants qui refusaient de rejeter le principe newtonien de l'existence d'un référentiel absolu.

La presse généraliste n'en fit pas un écho précis. Tout au plus y découvre-t-on des articles dubitatifs, tel celui paru dans le *Journal des débats politiques et littéraires* du 10 novembre 1900 : « M. Poincaré a soutenu sur les vérités scientifiques une thèse fort originale. Les vérités scientifiques ne seraient pas vraies à l'ancien sens du mot, en ce sens qu'elles se conformeraient à une nature des choses, elles sont de simples arrangements conventionnels, que l'esprit préfère à d'autres, pour de simples raisons de commodité. Que la terre tourne autour du soleil, cette thèse n'est pas plus vraie que la thèse inverse ; elle est seulement plus commode et plus simple. Voilà qui renverse toutes nos idées. »



1. **CONTRARIÉ** que l'on ait mal interprété ses propos sur la rotation de la Terre, Poincaré, ici photographié au début du XX^e siècle, dédiait son portrait de la phrase attribuée à Galilée : « E pur si muove » (Et pourtant elle tourne).

En 1902 et 1903, plusieurs événements indépendants portèrent cette polémique dans l'espace public. Le premier fut la réédition très médiatisée, en 1902, de l'expérience du pendule de Foucault au Panthéon et le deuxième, la publication concomitante de *La science et l'hypothèse*, le premier (et le plus connu) des trois ouvrages de philosophie des sciences que Poincaré publia de son vivant. Le dernier événement est la condamnation en 1903, par l'Église, de l'abbé Alfred Loisy (1857-1940).

La réinstallation du pendule de Foucault

Le 14 juin 1902, le journal *Le Temps* annonçait la réinstallation du pendule de Foucault au Panthéon, à l'initiative de Poincaré et de l'astronome Camille Flammarion. L'inauguration eut lieu le 22 octobre 1902 en présence de M. Chaumié, ministre de l'Instruction publique. Trois jours plus tard, le quotidien *La Croix* proposa, dans une rubrique intitulée *Causerie scientifique*, une explication détaillée de l'expérience ainsi qu'une illustration (voir la figure 4).

Le chroniqueur scientifique, Somsoc, commençait ainsi son article : « Sous l'action de la pesanteur, le pendule, écarté de la verticale, y reviendra par une série d'oscillations successives s'effectuant dans un plan fixe, puisqu'aucune force n'agit pour changer ce plan, et comme la terre tourne au dessous du pendule, le plan d'oscillation de ce dernier paraîtrait tourner relativement à la terre en sens contraire de la rotation, c'est-à-dire dans le même sens que la sphère céleste et cela en 24 heures. En visant une étoile située dans le plan d'oscillation, le pendule ne la quittera donc pas, tant que durera l'expérience [...] Le plan d'oscillation n'est pas un objet matériel... Il appartient à l'espace, l'espace absolu. »

Débuta alors la seconde polémique entre spécialistes. Ceux qui pensaient que l'expérience de Foucault ne prouvait rien s'en prirent à Flammarion. L'étincelle qui remit le feu aux poudres fut un article anonyme signé d'« un polytechnicien sceptique ». Paru dans *L'illustration* du 29 novembre 1902, il fut reproduit début 1903 dans le *Bulletin de la Société astronomique de France* avec une réponse de Flammarion. Une question était au cœur

LA TERRE TOURNE-T-ELLE ?

Réponse à des allégations hasardeuses —
Une lettre de M. Poincaré au secrétaire
général de la Société astronomique
de France.

Nous avons eu l'occasion de faire remarquer combien il était étrange que l'on prêtât à M. Poincaré des doutes sur le « mouvement de rotation » de la Terre, alors que ce savant est précisément de ceux dont les travaux ont le mieux prouvé ce mouvement. Le dernier bulletin de la Société astronomique de France contient, à ce sujet, une lettre que M. Poincaré vient d'adresser à M. Flammarion, et que voici :

2. QUATRE ANS APRÈS AVOIR EXPOSÉ SES RÉFLEXIONS PHILOSOPHIQUES sur la rotation de la Terre, Poincaré s'exprima à nouveau sur le sujet en envoyant une lettre à Flammarion, que le journal *Le Matin* reproduisit le 7 mai 1904 (ci-dessus). Il espérait ainsi mettre fin aux multiples détournements et récupérations dont il avait fait l'objet.

de la discorde : des étoiles suffisamment éloignées pour sembler immobiles, telles l'Étoile polaire ou Bêta du Centaure, étaient-elles immobiles de façon absolue ou relative ?

Peu après la réinstallation du pendule au Panthéon, *La science et l'hypothèse* fut présenté à l'Académie des sciences et à la Société astronomique de France. Dans un chapitre intitulé *Le mouvement relatif et le mouvement absolu* rédigé à partir de son intervention au congrès de 1900, Poincaré, reprenant sa phrase sur la Terre qui tourne, réaffirmait la non-existence d'un espace absolu.

Pour certains, Poincaré se contredisait, puisqu'il participait à une expérience visant à prouver la rotation de la Terre tout en publiant un texte où il affirmait que rien ne permettait d'en être assuré en l'absence de référentiel absolu. D'autant que son texte prêtait à confusion, semblant tout à la fois accepter les preuves de la rotation de la Terre autour de son axe et se demander si cette rotation a un sens : « Si le ciel était sans cesse couvert de nuages, si nous n'avions aucun moyen

d'observer les astres, nous pourrions, néanmoins, conclure que la terre tourne ; nous en serions avertis par son aplatissement, ou bien encore par l'expérience du pendule de Foucault. Et pourtant, dans ce cas, dire que la terre tourne, cela aurait-il un sens ? S'il n'y a pas d'espace absolu, peut-on tourner sans tourner par rapport à quelque chose, et d'autre part comment pourrions-nous admettre la conclusion de Newton et croire à l'espace absolu ? »

La question occupa donc les spécialistes et, même si les débats étaient vifs, ils portaient sur des problèmes classiques liés à la philosophie des sciences : la place des conventions, la validité et la « commodité » des modèles retenus, la question de la preuve empirique, etc. Mais c'était sans compter sur le contexte idéologique et politique de l'époque, en particulier sur le débat concernant la séparation de l'Église et de l'État, et celui sur l'instruction publique ou privée.

Dans ce cadre, parallèlement à la dernière phase de l'Affaire Dreyfus, une autre affaire

engendra une vive controverse entre catholiques et laïques début janvier 1904. L'abbé Loisy, théologien exégète de l'Église, avait publié en 1902 un ouvrage intitulé *L'Évangile et l'Église* dans lequel son approche historique et philologique des textes de la Bible remettait en cause un certain nombre de dogmes de l'Église. La condamnation de cet ouvrage par décret du Saint Office en décembre 1903 suscita l'émotion ; l'anathème envenima le débat, qui se transforma vite en une opposition entre l'Église et la science.

La presse s'emballe

Alors que *Le Matin* du 28 décembre 1903 consacrait sa une à la mise à l'index de l'ouvrage de l'abbé Loisy et aux raisons de sa condamnation, un entrefilet intitulé *Propos d'un Parisien*, rédigé par le journaliste d'opinion Henri Harduin, relança la polémique sur la rotation de la Terre et la porta dans un champ idéologique que Poincaré n'avait pas anticipé. Ce chroniqueur utilisait la condamnation de Loisy pour mettre en lumière l'immobilisme de l'Église, opposé à la perpétuelle et saine remise en question de la science par elle-même (voir la figure 3a). L'article produisit une réaction en chaîne dans la presse. Tout d'abord dans *La*

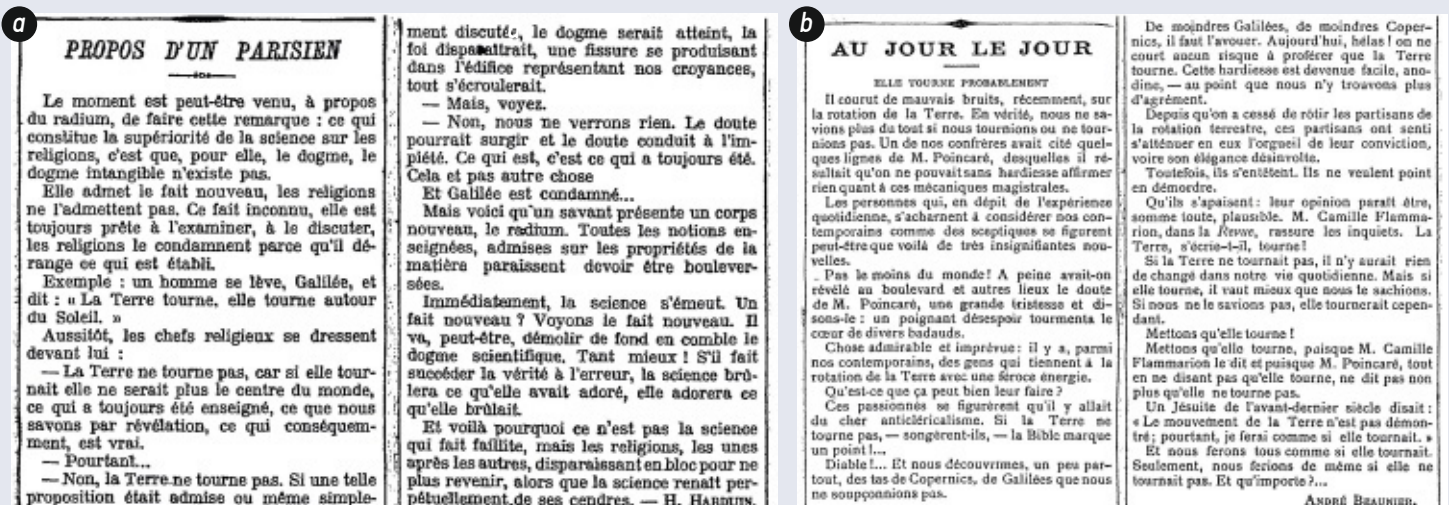
Libre Parole du 9 janvier 1904, où le fondateur de ce journal politique antisémite, Édouard Drumont, répondit à Harduin en ces termes, convoquant fort peu à propos Poincaré et ses écrits :

« Des journalistes en quête d'un thème pour une chronique, comme notre confrère Harduin, qui a pris la tâche d'amuser les lecteurs du *Matin*, ne perdent pas cette occasion de faire solennellement la leçon à l'Église ; ils sortent immédiatement Galilée : "Vous voyez, s'écrit M. Harduin, quel contraste entre la science et l'Église ! L'Église condamne Galilée ; la science dès qu'un fait nouveau lui est démontré, s'incline et reconnaît ses erreurs passées." »

L'argument aurait quelque valeur si la science était arrivée à une certitude quelconque, alors qu'en réalité, elle en est toujours aux conjectures et aux hypothèses. Il n'est pas démontré du tout que la Terre tourne, comme le prétendait Galilée, et qu'elle ne soit pas le centre du système planétaire. M. Harduin, qui n'est pas plus savant que moi, affirme imperturbablement que la terre tourne ; mais M. Poincaré, qui est, à l'heure actuelle, le premier des géomètres physiciens français et qui est probablement plus instruit que M. Harduin et que moi, n'a nullement ce ton affirmatif qui est celui des demi-ignorants. »

Il est important ici de souligner la confusion alors présente dans les esprits : on mélange la rotation diurne de la Terre autour de son axe, la révolution annuelle autour du Soleil, le pendule de Foucault, le procès de Galilée... Mais nulle mention, par exemple, des expériences d'interférométrie menées de 1881 à 1887 par Albert Michelson et Edward Morley, qui n'avaient pas permis de démontrer le mouvement relatif de la Terre par rapport à l'éther, ce fluide hypothétique emplissant l'espace, support de la propagation de la lumière et considéré comme un repère absolu.

La réponse de Drumont incita un journaliste du *Figaro* à amplifier la polémique dans un article publié le 2 février 1904 et intitulé *Tournons-nous ?* : « C'est un problème qui n'a peut-être pas beaucoup d'actualité ; mais enfin nous voudrions bien savoir à quoi nous en tenir. » Dès lors, cette remise en cause de la rotation du globe déchaîna les chroniqueurs, tel André Beaunier qui la reprit dans le *Journal des débats politiques et littéraires* du 23 mars 1904 (voir la figure 3b). Le lendemain, le chroniqueur scientifique François Peudefer signait un long article intitulé *La Terre tourne-t-elle ?* dans lequel il rappelait au grand public toutes les preuves tangibles de la rotation diurne de la Terre tout en faisant l'histoire de la polémique. Une semaine plus tard,



3. UN ARTICLE DU CHRONIQUEUR Henri Harduin dans *Le Matin* du 28 décembre 1903 mit le feu aux poudres (a). Il dénonçait l'immobilisme de l'Église en la comparant

aux sciences. On lui rétorqua, en invoquant Poincaré, que la science n'aboutit à aucune certitude, puisque même la Terre pourrait ne pas tourner. Alors, la Terre tourne-t-

elle ? La question devint même idéologique, comme le souligna avec humour un chroniqueur du *Journal des débats politiques et littéraires* le 23 mars 1904 (b).

Le Petit Parisien proposait sous le même titre un article de Jean Frolo dans lequel Poincaré se trouvait de nouveau impliqué.

Poincaré agacé, mais peu convaincant

Poincaré intervint alors. Il rédigea une lettre ouverte adressée à Flammarion intitulée *La Terre tourne-t-elle ?*, publiée dans le *Bulletin de la Société astronomique de France* de mai 1904 et reproduite dans le journal *Le Matin* du 7 mai 1904 :

« Je commence à être un peu agacé de tout le bruit qu'une partie de la presse fait autour de quelques phrases tirées d'un de mes ouvrages – et des opinions ridicules qu'elle me prête. Les articles auxquels ces phrases sont empruntées ont paru dans une revue de métaphysique [...]. Je parlais le langage de la métaphysique moderne. Dans le même langage, on dit couramment "Les deux phrases *le monde extérieur existe*, et *il est commode de supposer que le monde extérieur existe*, n'ont qu'un seul et même sens."

La rotation de la Terre est donc certaine, précisément dans la même mesure que l'existence des objets extérieurs. Je pense qu'il y a là de quoi rassurer ceux qui auraient pu être effrayés par un langage inaccoutumé. Quant aux conséquences qu'on a voulu en tirer, il est inutile de montrer combien elles sont absurdes. Ce que j'ai dit ne saurait justifier les persécutions exercées contre Galilée, d'abord parce qu'on ne doit jamais persécuter même l'erreur, ensuite parce que même au point de vue métaphysique, il n'est pas faux que la Terre tourne, de sorte que Galilée n'a pu commettre d'erreur.

Cela ne voudrait pas dire non plus qu'on peut enseigner impunément que la Terre ne tourne pas, quand cela ne serait que parce que la croyance à cette rotation est un instrument aussi indispensable à celui qui veut penser sagement, que l'est le chemin de fer, par exemple, à celui qui veut voyager vite.

Quant aux preuves de cette rotation, elles sont trop connues pour que j'insiste. Si la Terre ne tournait pas sur elle-même, il faudrait admettre que les étoiles décrivent, en 24 heures, une circonférence immense, que la lumière mettrait des siècles à parcourir. »



4. L'EXPÉRIENCE DU PENDULE DE FOUCAULT, réinstallée au Panthéon à l'initiative de Poincaré et de Flammarion, démontre que la Terre tourne (illustration parue dans *La Croix* le 25 octobre 1902).

Malgré l'intervention de Poincaré, la polémique perdura quelques temps encore : le contexte idéologique dans lequel elle s'exerçait se passait fort bien de ses explications et justifications de scientifique. Revenant sur la question dans *La valeur de la science* en 1905, Poincaré prit la précaution de mieux préciser sa pensée, une fois l'accalmie revenue. Mais cette polémique le poursuivit jusqu'à la fin de sa vie, en particulier lorsqu'il fut élu à l'Académie française en 1908. En témoignent alors d'autres articles, dont une virulente attaque contre les philosophes et les scientifiques rédigée par un évêque à la une du journal *Le Matin* du 20 février.

La *Revue Illustrée* du 5 avril 1908 consacra quant à elle un long dossier à Poincaré pour marquer son élection à l'Académie. Il est en partie composé d'extraits d'une interview qu'il y accorde au journaliste et dans laquelle il rassure encore une fois le public profane : la Terre tourne !

Une dernière référence témoigne de la trace laissée en lui par cet épisode. Dans l'ouvrage *Ce que disent les choses*, qui rassemble des textes publiés en 1910 dans une revue pour enfants, Poincaré revient sur le mouvement des planètes et des étoiles, et la rotation de la Terre. Une phrase y rappelle ses réflexions : « Un seul des mouvements apparents est réel, la Lune tourne réellement autour de la Terre ; c'est elle en effet qui est la plus petite. »

LES AUTEURS

Jean-Marc GINOUX est maître de conférences en mathématiques et en histoire des sciences à l'Université de Toulon.

Christian GERINI est maître de conférences en philosophie et histoire des sciences et des techniques dans la même université (laboratoire i3M) et membre du GHDSO, à Orsay.

✓ À ÉCOUTER

Jeudi 5 juillet, Christian Gerini et Jean-Marc Ginoux reviendront sur la polémique et évoqueront Poincaré à travers la presse de l'époque dans une émission de *La marche des sciences* consacrée à Poincaré, sur *France Culture* de 14h à 15h. www.franceculture.com

✓ BIBLIOGRAPHIE

J.-M. Ginoux et Ch. Gerini, Poincaré : Une biographie au(x) quotidien(s), Ellipses, 2012.

Ch. Gerini, Henri Poincaré. Ce que disent les choses. Quand Henri Poincaré écrit pour les enfants, Hermann, 2010.

H. Poincaré, La science et l'hypothèse, Flammarion, 1902 [rééd. 1968].

 LOGIQUE & CALCUL

L'accrochage des tableaux

Comment accrocher un tableau avec n clous et une ficelle, de façon à ce qu'en enlevant n'importe lequel des clous, le tableau soit libéré et glisse vers le sol ?

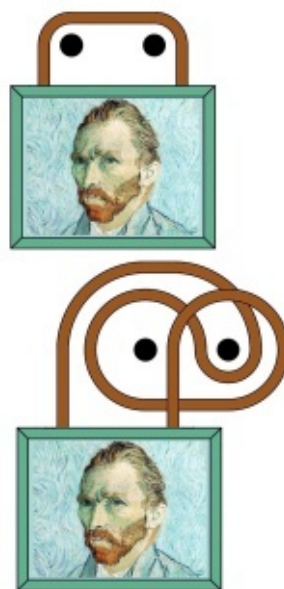
Jean-Paul DELAHAYE

Plantez deux clous. Accrochez à ces deux clous un tableau de la façon la plus simple et la plus naturelle. Si l'un des clous tombe, la corde (et donc le tableau) reste accrochée à l'autre (voir la figure du haut ci-contre). Il va donc de soi (pour un mathématicien...) de se demander : est-il possible de disposer la corde autour des deux clous de façon que, si l'un quelconque des deux clous disparaît, le tableau tombe ? Nous nommerons ce montage *Podger*, en hommage à l'illustre accrocheur de tableau de Jerome K. Jerome qui faisait toujours tomber son tableau (voir l'encadré 3). Ce problème est analogue à un montage de type *fail-safe* dans l'industrie : si un organe est défaillant, l'ensemble de la machine s'arrête.

Une équipe aux États-Unis a étudié ce problème d'accrochage de tableau, à la frontière des mathématiques récréatives, de la topologie algébrique et de l'algorithmique. Elle est composée de Erik Demaine, Martin Demaine et Ronald Rivest (le R du système de cryptage RSA) du MIT, Yair Minsky, de l'Université de Yale, Joseph Mitchell, de l'Université Stony Brook, et Mihai Patrascu, des Laboratoires ATT de Florham Park.

La première mention de l'énigme de l'accrochage d'un tableau remonte à 1997. Elle est le fait de A. Spivak qui posa son casse-tête dans la revue *Quantum* consacrée aux divertissements mathématiques. Depuis, un grand nombre de variantes du petit problème ont imposé la mise au point d'outils généraux que les mathématiciens ont su découvrir, ce qui les a conduites à de beaux théorèmes... pas tous faciles !

Pour vous persuader qu'en enlevant un seul des deux clous, le tableau sera libéré et glissera jusqu'au sol, observez la figure du bas ci-dessous ou faites l'essai avec une ficelle. On peut trouver cette solution par tâtonnements. Il existe cependant une méthode qui conduit sans hésitation à la solution et à la solution de la généralisation suivante que nous nommons *Le problème des n clous* : « Disposer la corde de soutien du tableau autour de n clous



de façon que si l'un quelconque des n clous disparaît, la pesanteur fasse glisser le tableau en le libérant des clous restants. »

Avant de lire la suite, vous pouvez rechercher la solution avec trois clous, puis quatre, etc., et imaginer un procédé pour n clous. Résoudre la question comme un exercice de travail manuel conduit à des difficultés,

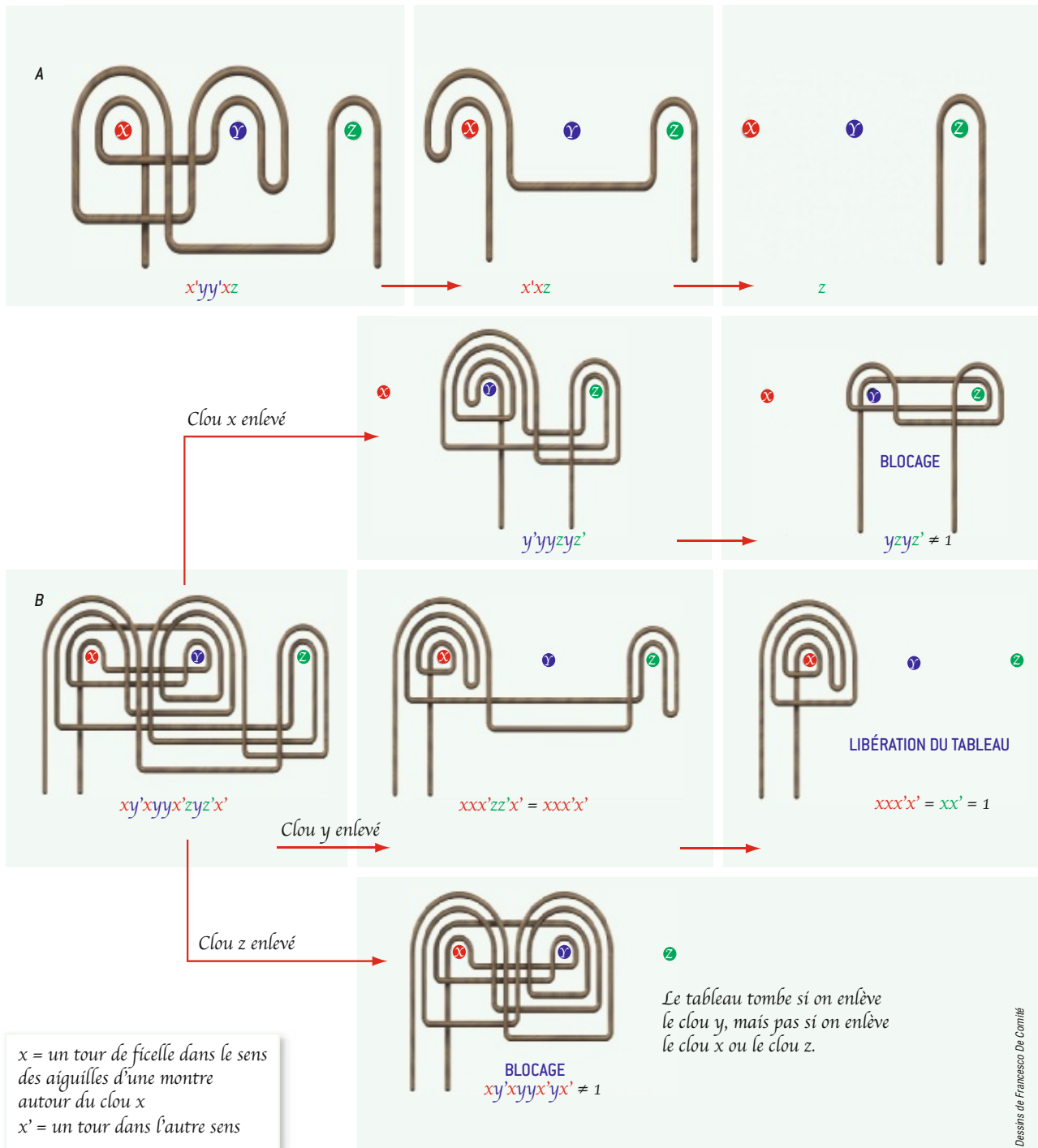
dues à la curieuse propension qu'ont les ficelles à faire des nœuds. Tester des trajets de la ficelle pour en découvrir qui ont la propriété recherchée demande une grande longueur de ficelle et beaucoup de patience. L'étude deviendra impossible quand vous envisagerez plus de quatre clous.

Heureusement, l'algèbre va nous secourir. L'idée, due à Neil Fitzgerald, d'un rapport entre le problème des n clous et la manipulation des expressions représentant des éléments du « groupe libre » (nous précisons ce que c'est) permet de se poser d'autres questions et de les résoudre (voir l'encadré 4).

Le groupe libre à l'aide

Le groupe libre de générateurs G est un système de calcul utile dans plusieurs domaines mathématiques, en particulier en topologie algébrique, la discipline mathématique qui, au moyen de l'algèbre, classe les nœuds et les surfaces. L'ensemble G des générateurs est, par exemple, constitué de trois éléments x, y et z ; on associe à chaque générateur un double x', y', z' . Leur ensemble est noté G' . On convient alors que toute expression composée d'une suite finie de symboles pris dans G ou dans G' désigne un élément du groupe libre. La suite vide, composée de zéro élément, se note 1 et, bien évidemment, $1s = s1 = s$ pour tout élément s du groupe libre.

Deux exemples d'éléments du groupe libre de générateurs x, y, z sont $s = xyxx'y'z'z$ et $r = zzzzyx'xy'z'$. Les expressions ainsi construites se simplifient parfois, mais la seule et unique façon de le faire est, par



1. SIMPLIFICATION DES PARCOURS DE FICELLE. Le parcours $x'y'y'xz$ (A) se simplifie en $x'xz$, puis en z , ce qui signifie qu'en tirant sur la ficelle placée pour suivre le parcours $x'y'y'xz$, on obtient le parcours z . Quand la formule associée à un parcours se simplifie totalement, un tableau accroché avec une ficelle suivant ce parcours tombe quand on tire sur la ficelle. Voyons l'effet de l'élimination d'un clou sur le parcours de ficelle $xy'xyyx'zyz'x'$ (B). Pour déterminer

l'effet de l'élimination du clou y , on retire tous les y et y' de la formule du parcours et on simplifie. Ici, $xy'xyyx'zyz'x'$ donne $xxx'zz'x'$, qui donne $xxx'x'$, puis xx' , puis 1 . Si on enlève le clou y , le tableau tombe, mais si on enlève le clou x , le tableau reste accroché : l'élimination des x donne $y'y'yyzyz'$ qui se simplifie en $yzyz'$, qui ne se simplifie plus. Si on enlève le clou z , le parcours $xy'xyyx'zyz'x'$ donne $xy'xyyx'yx'$ qui ne se simplifie plus : le tableau reste accroché.