

LA SCIENCE EN PETIT FORMAT !

Une écologie du bonheur

Éric Lambin

Réf. 74650723*



Avons-nous besoin de la nature pour être heureux ? Des motivations égocentriques peuvent-elles être

trouvées par un mode de développement plus durable, ou faut-il nécessairement faire appel au sentiment altruiste de responsabilité envers les générations futures ?

Éditions Le Pommier 2014 – 360 pages
9,50 € – 978-2-7465-0723-4

Les énigmes mathématiques du 3^e millénaire

Keith Devlin

Réf. 74650704*



En 2000, la Fondation Clay annonça l'ouverture d'une compétition historique : quiconque résoudra l'un des sept problèmes mathématiques

non encore résolus à ce jour gagnera 1 million de dollars ! Jugés comme les problèmes les plus difficiles et les plus importants du siècle, les problèmes du 3^e millénaire sont de même nature que ceux posés par David Hilbert il y a 100 ans !

Éditions Le Pommier 2013 – 336 pages – 12 €
978-2-7465-0704-3

Concorde 001 et l'ombre de la Lune

Pierre Léna

Réf. 74650728*



Lors de l'éclipse totale du 30 juin 1973, sept scientifiques ont embarqué à bord de Concorde 001, prototype d'essais d'un avion extraordinaire qui sera le premier supersonique commercial. La science, la technique, l'aéronautique et l'histoire se marient dans le récit d'une aventure humaine singulière à bord d'un avion légendaire, illustré d'une iconographie riche et originale.

Éditions Le Pommier 2014 – 160 pages – 17 € – 978-2-7465-0728-9

Les mille et une nuits de la science

Philippe Boulanger

Réf. 70118964



Quand Schéhérazade conte la science et les tribulations des savants ! Ce pastiche est une manière

totale et originale de raconter la science, en abordant des sujets aussi divers que les mathématiques, la physique, la paléontologie, etc.

Éditions Belin 2014 – 160 pages – 15 €
978-2-7011-8964-2

Mathémagic !

David Acheson

Réf. 70117686



De pi au pendule chaotique, de Pythagore à Andrew Wiles, embarquez pour une

fascinante balade au pays des mathématiques ! De savoureuses illustrations achèveront de convaincre le profane comme l'initié qu'il s'agit là d'un des livres les plus réjouissants jamais écrit sur le sujet.

Éditions Belin 2013 – 176 pages – 15 €
978-2-7011-7686-4

À LIRE AUSSI



Le cerveau mélomane

Sous la direction d'Emmanuel Bigand

Réf. 84245118

Éditions Belin-Pour la Science
2013 – 200 pages – 21 €
978-2-8424-5118-9



Un psy au cinéma

Serge Tisseron

Réf. 84245127

Éditions Belin-Pour la Science
280 pages – 25 €
978-2-8424-5127-1



Les sens trompés

Des anomalies du cerveau aux comportements étranges

Patrick Verstichel

Réf. 84245111

Éditions Belin-Pour la Science – 176 pages – 26 €
978-2-8424-5111-0



Maux d'artistes

Ce que cachent les œuvres

Réf. 84245101

Éditions Belin-Pour la Science
176 pages – 25,40 €
978-2-8424-5101-1

BON DE COMMANDE

À retourner accompagné de votre règlement à :

Groupe Pour la Science • 628 avenue du Grain d'Or • 41350 Vineuil

☐ Oui, je commande les livres présentés dans la sélection de *Pour la Science*. Je reporte les titres, prix et références à 6 chiffres correspondant aux ouvrages choisis :

Titre	Réf.	Prix
		€
		€
		€
		€
		€
		€
Frais de port (4,90 € France – 12 € étranger)		+ €
Total à régler		= €

J'indique mes coordonnées :

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

C.P. : _____ Ville : _____

Pays : _____ Tél.* : _____

E-mail* : _____

@ _____

*pour recevoir la newsletter Pour la Science (à remplir en majuscules).

Je choisis mon mode de règlement :

☐ par chèque à l'ordre de *Pour la Science*

☐ par carte bancaire

Numéro _____

Date d'expiration _____

Cryptogramme _____

Signature obligatoire



En application de l'article 27 de la loi du 6 janvier 1978, les informations ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande. Elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification auprès du groupe *Pour la Science*. Par notre intermédiaire, vous pouvez être amené à recevoir des propositions d'organismes partenaires. En cas de refus de votre part, merci de cocher la case ci-contre ☐.

Tous ces livres sont également disponibles en librairie.

HISTOIRE DES SCIENCES

Coriolis, théoricien de la mécanique appliquée

Chacun ou presque a entendu parler de la force de Coriolis, cause de la rotation des vents sur la Terre. Mais l'ingénieur-savant qui a donné son nom à cette force est méconnu, comme l'est son œuvre scientifique pourtant riche.

Alexandre Moatti

Coriolis : la célébrité de ce nom rattaché à une force est quasi universelle. Mais le décalage entre cette célébrité et le caractère largement méconnu de Gaspard-Gustave de Coriolis (1792-1843), de son œuvre scientifique et de sa carrière est étonnant. Or, comme nous allons le voir, Coriolis a joué un rôle clef dans le développement de la science mécanique. Il est en outre représentatif d'une période particulièrement faste de la science en France et caractéristique des très originaux « ingénieurs-savants » de cette époque.

Né à Paris d'une famille noble mais déshéritée, Coriolis intègre en 1808 l'École polytechnique, créée sous la Révolution en 1794, puis le Corps des Ponts et Chaussées en 1810. C'était, à l'époque, la voie royale de la science : de nombreux scientifiques de cet âge d'or, celui où la science se faisait en France, étaient issus de Polytechnique et des Ponts, tels les mathématiciens Cauchy ou Liouville, le chimiste Gay-Lussac, les physiciens Fresnel ou Navier. Peu intéressés par le « service ordinaire » des Ponts (celui des travaux publics en province), ces savants dans l'âme s'orientaient rapidement vers des postes d'enseignement, à l'École polytechnique notamment.

Après un bref intermède en province, Coriolis devient répétiteur d'analyse à Polytechnique en 1817. Il le restera jusqu'en 1838, date à laquelle il est nommé directeur des études dans cette même école. Ce poste de responsabilités ne lui convient guère et lui

causera beaucoup de tracas, jusqu'à sa mort de la tuberculose, à l'âge de 51 ans.

Répétiteur du cours d'analyse de Cauchy, Coriolis est mentionné plusieurs fois par ce dernier dans ses manuels, en remerciements de diverses idées mathématiques. Mais il s'épanouit davantage dans ses travaux de recherche que dans son enseignement. En 1819, il écrit des *Notes sur la théorie des machines*, qui sont citées par nombre de ses collègues dans leurs livres imprimés ; malgré leur importance pour la naissance et la datation de certains concepts, ces notes n'ont jamais été retrouvées (d'où l'intérêt de la conservation des documents scientifiques !).

L'inventeur du « travail »

En 1826, répondant à un concours lancé par l'Académie, Coriolis propose de nommer « travail » le produit scalaire de la force par le déplacement (c'est-à-dire le produit de la composante de la force dans la direction du déplacement par la distance sur laquelle s'effectue le déplacement). Ce terme, qui remplaçait les appellations les plus diverses (quantité d'action, moment d'activité, etc.), a fini par s'imposer et est celui en usage aujourd'hui.

Surtout, Coriolis donne toute sa consistance à cette notion de travail, en montrant que c'est une véritable grandeur physique (le frottement correspond à une perte de travail, comme la sciure correspond à une

perte de volume lorsqu'on scie du bois]. Dans son ouvrage princeps, le *Calcul de l'effet des machines* (1829), il recommande de modifier la notion de « force vive » en $\frac{1}{2}mv^2$, au lieu de mv^2 (m étant la masse d'un corps mobile et v sa vitesse). La notion de force vive provenait de l'observation faite au XVII^e siècle de la conservation de mv^2 dans les systèmes mécaniques. Banale en apparence, cette modification (un coefficient $\frac{1}{2}$) était en fait très cohérente avec sa définition du travail (voir l'encadré page 74).

Coriolis lutte aussi contre certaines idées reçues sur le travail : ainsi, le poids « ne travaille pas » sur une route horizontale (la force et le déplacement étant perpendiculaires, leur produit scalaire est nul), seul compte le frottement – on peut s'en convaincre en poussant avec le doigt un bloc de fonte de 100 kilogrammes sur une patinoire.

Après avoir défini le travail, Coriolis est l'un des premiers à s'intéresser au mouvement relatif, ce qui donnera naissance en 1831 à la notion de force d'entraînement (force qu'imprime un support accéléré à un objet immobile par rapport au support), et en 1835 à celle de force centrifuge composée – qui plus tard portera le nom de force de Coriolis (nous y reviendrons). Ces travaux prenaient naissance dans la théorie des machines : quel est par exemple le mouvement de l'eau dans l'aube d'une roue de moulin, sachant que cette roue est elle-même en rotation ?

Cette théorie des machines constituait une nouvelle branche scientifique issue des

progrès de la technique : roues hydrauliques, machines de Watt – sources d'énergie des usines de la première révolution industrielle (filatures, minoteries, forges, etc.).

Coriolis était un « ingénieur-savant ». Ce joli nom a été donné par l'historien et philosophe des sciences britannique Ivor Grattan-Guinness, l'un des meilleurs analystes de la période, à la trentaine de savants français œuvrant entre 1800 et 1840, presque tous issus de cette École polytechnique qui correspondait au projet qu'avaient Monge et la Convention de donner des forces vives à une France nouvelle.

Ingénieurs, ils aidaient au développement de l'industrie grâce à leurs connaissances scientifiques ; savants, ils faisaient avancer la science en lui adjoignant de nouvelles branches qu'ils théorisaient, s'appuyant sur leur expérience d'ingénieur. C'étaient, entre autres, Coriolis, Poncelet et la théorie des machines, Navier et l'hydraulique, Lamé et la résistance des matériaux, Fresnel et l'optique.

Des machines à la science

Contrairement à une image répandue, la science n'a pas toujours précédé la technique : à ce moment-là, elle rattrapait à marche forcée la technique – on savait faire fonctionner une machine à vapeur avant que Sadi Carnot (autre ingénieur-savant polytechnicien) ne jette, en 1824, les bases de ce que l'on nommera la thermodynamique.

La « mécanique appliquée », expression qui peut qualifier une partie des nouveaux domaines ci-dessus (la théorie des machines, l'hydraulique, la résistance des matériaux), venait compléter la mécanique dite rationnelle, celle de Lagrange, de Poisson et des mathématiciens, encore appelés géomètres à l'époque.

À la mécanique rationnelle, fondée sur la notion de force et qui pouvait rester purement conceptuelle, la mécanique appliquée apportait des éléments de réalité physique : les frottements, les chocs, les machines et leur mouvement. Mathématiciens par leur formation polytechnicienne et ingénieurs et d'une certaine manière physiciens (ce terme était encore fort peu employé), car

en contact avec la réalité, ces ingénieurs-savants étaient les mieux placés, à cette charnière entre mathématiques et physique, entre théorie et pratique, pour révéler ces apports de la mécanique appliquée à la science fondamentale.

Et, si l'on affine cette caractérisation, on peut placer Coriolis plus certainement du côté de la théorie que de la pratique : par son tempérament, par le caractère très mathématique de ses écrits, par le déroulement académique de sa carrière.

Après avoir formalisé la notion de travail, Coriolis lui donne une véritable cohérence en l'appliquant à de nombreux champs : raideur d'un ressort, roulage des voitures à chevaux, roues hydrauliques et même jeu de billard. Il définit le travail moteur, le travail résistant, le principe de transmission du travail, etc. Unissant par ce fil directeur divers objets et divers concepts, il a l'ambition de bâtir une véritable théorie du travail, expression qui revient souvent sous sa plume et qui pourrait caractériser son œuvre. Même si la formule a un aspect d'oxymore, Coriolis a été, de façon déterminante, un théoricien de la mécanique appliquée.

C'est du sein de cette mécanique appliquée qu'a jailli la célèbre force de Coriolis. Pour notre ingénieur-savant, il s'agissait initialement de rectifier une erreur commise par son collègue Jean-Victor Poncelet (lui aussi polytechnicien) dans la conception

L'AUTEUR

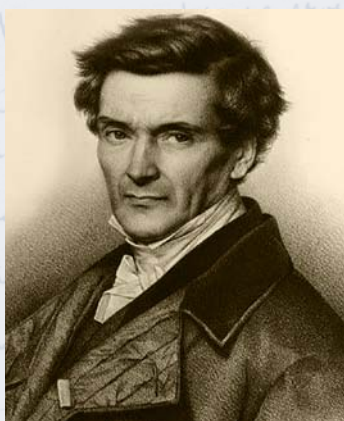


Alexandre MOATTI est ingénieur en chef des Mines et chercheur associé à l'Université

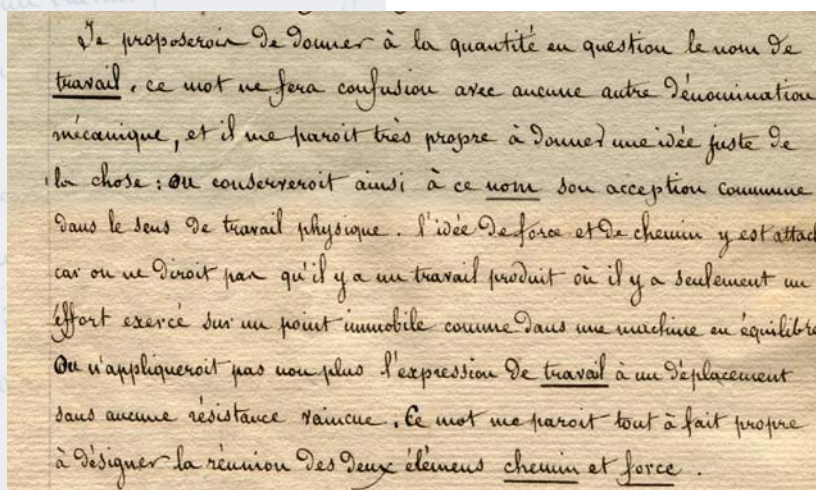
Paris-Diderot. Il est l'auteur du blog *Alterscience* sur la plate-forme SciLogs.fr (www.scilogs.fr/alterscience/).

BIBLIOGRAPHIE

A. Moatti, *Le mystère Coriolis*, CNRS Éditions, 2014.



Domaine public



Académie des sciences - Institut de France

1. PORTRAIT DE CORIOLIS ET UN PASSAGE de son manuscrit où il définit la notion de travail (pochette de la séance de l'Académie des sciences du 7 août 1826).

de sa roue à aubes courbes – qui avait pourtant reçu le prix de mécanique de l'Académie des sciences en 1825 ! Le mouvement de la goutte d'eau dans l'aube n'est pas le même à son arrivée (« amenée d'eau ») qu'à son départ (« dégagé d'eau ») : la roue a tourné entre-temps, et l'aube n'a plus la même inclinaison par rapport à la verticale, donc la gravité n'intervient pas de la même façon.

De la roue à aubes à la force de Coriolis

Coriolis prend le sujet dans sa plus grande généralité dynamique. En 1831, il étend au mouvement relatif la portée du principe des forces vives (ou de son nouveau « principe du travail »), en ajoutant le travail des forces d'entraînement. Ainsi, l'étude du mouvement de l'eau dans l'aube nécessite d'appliquer, dans le repère lié à l'aube, une force d'entraînement due au mouvement de la roue. Chacun a déjà fait l'expérience d'une force d'entraînement (ou force d'inertie, ou force centrifuge quand il s'agit d'une rotation) dans un train en mouvement ou le conçoit dans l'essorage d'une machine à sécher le linge.

Dans un second article, en 1835, Coriolis généralise son étude : dans le repère relatif,

il faut ajouter aux forces d'entraînement (F_e) les « forces centrifuges composées », égales « au double du produit de la vitesse angulaire des plans mobiles multipliée par la quantité de mouvement relatif projetée sur un plan perpendiculaire à cet axe » – soit le produit vectoriel $2m \mathbf{v} \wedge \boldsymbol{\Omega}$ où $\mathbf{v}$ est le vecteur vitesse relative (par exemple par rapport à l'aube), et $\boldsymbol{\Omega}$ le vecteur vitesse de rotation du repère (dirigé selon l'axe de rotation et ayant pour norme la vitesse angulaire de rotation). C'est l'expression de la force de Coriolis (F_c) telle qu'elle apparaît dans son calcul, et qui aboutit à une généralisation du principe de Newton (de $F = m\mathbf{a}$ à $F + F_e + F_c = m\mathbf{a}$, où $\mathbf{a}$ est ici le vecteur accélération dans le repère mobile).

On a mis du temps à comprendre la portée du résultat de Coriolis. Encore de nos jours, son approche par la dynamique est délaissée au profit d'une démonstration cinématique, plus accessible. Après la mort de Coriolis, le mathématicien et futur mandarin Joseph Bertrand (1822-1900) crut bon d'indiquer que c'était Clairaut qui avait trouvé le même résultat un siècle auparavant, ce qui est faux.

C'est finalement Charles-Eugène Delaunay (1816-1872, polytechnicien comme Bertrand) qui, 15 ans après la mort de Coriolis,

fera le lien entre cette force F_c et des effets jusqu'alors inexplicables : la rotation du pendule de Foucault, le gyroscope, la déviation des corps vers l'Est dans l'hémisphère Nord, l'érosion unilatérale des rives des cours d'eau...

Dans cette même période, le météorologue américain William Ferrel (1817-1891) a mis en évidence des termes analogues à ceux de Coriolis. Ce n'est pas le moindre des paradoxes que constater que la force de Coriolis a trouvé de nos jours une universalité dans de nombreuses branches de la physique (météorologie, climatologie, géomagnétisme, astronomie...) fort éloignées de la théorie des machines chère à son inventeur !

Et l'homme, Coriolis ? Comme l'écrit joliment Erik Orsenna (*Portrait du Gulf Stream*, 2005), « Rien n'indique que notre Gaspard-Gustave ait jamais mis le pied sur un bateau ni qu'il se soit jamais intéressé à la mer. Le fait est là : pour les siècles des siècles, Coriolis est celui qui a expliqué l'influence de la rotation de la Terre sur le parcours des vents et des courants. »

On peut même aller plus loin : hormis quelques voyages d'études, missions et cures thermales en province, rien n'indique que Coriolis soit souvent sorti d'un petit périmètre parisien allant de la rue Descartes (École polytechnique) à la rue des Saints-Pères (École des Ponts et Chaussées).

Ces deux noms de rues ont d'ailleurs une forte charge symbolique : Coriolis alliait une rationalité scientifique dans sa vie professionnelle à une certaine ferveur religieuse dans sa vie personnelle. Mais jamais ces deux sujets n'étaient mêlés chez lui. Il vivait pour la science et pour l'enseignement – il est resté célibataire. Il avait une personnalité réservée et une vie recluse et sédentaire. Il ne mélangeait pas ses opinions politiques, plutôt royalistes et conservatrices, à sa pratique professionnelle – y compris durant la brève période où il occupa le poste de responsabilité de directeur des études à Polytechnique.

Si on le compare à d'autres savants qu'il a fréquentés, issus des mêmes études que lui, il n'a pas quitté la France pour des raisons politiques comme l'a fait Cauchy en 1830, il n'est pas devenu un homme politique comme Arago ou Le Verrier.

Des forces vives à l'énergie cinétique

Le « principe des forces vives », énoncé sous sa forme générale par Joseph-Louis Lagrange, ne nous parle plus guère. Il stipulait que la variation de la force vive mv^2 entre un état initial et un état final est $mv_f^2 - mv_i^2 = 2 \int_i^f F dx$.

Si l'on note $2W$ le membre de droite, W représente la somme des produits $F dx$, où F est la force appliquée au mobile le long d'un déplacement élémentaire dx . La quantité W était nommée indistinctement moment d'activité, quantité d'action, etc.

En divisant par 2 les deux membres de la rela-

tion ci-dessus, Coriolis a redéfini la force vive :

« Cette force vive n'est que la moitié du produit de ce qu'on a désigné jusqu'à présent par ce nom, c'est-à-dire de la masse par le carré de la vitesse. »

Il a aussi nommé « travail » ce qui reste à droite de la relation, à savoir la quantité W . Le

pas franchi par Coriolis paraît anodin, mais la relation réécrite sous la forme

$$\frac{1}{2} m v_f^2 - \frac{1}{2} m v_i^2 = W$$

nous est aujourd'hui bien plus familière et signifie, en termes modernes, que la variation de l'énergie cinétique ($\frac{1}{2} m v^2$) d'un mobile est égale au travail des forces qui lui ont été appliquées. Bien que l'énergie cinétique et d'autres concepts tels que l'énergie potentielle n'ont été définis que bien plus tard, Coriolis a été un maillon important dans la chaîne qui a conduit jusqu'à eux.

Coriolis illustre aussi à quel point certains chercheurs sont faits pour la science et non pour « l'administration de la recherche ». En 1839, alors directeur des études à Polytechnique, il propose une réforme de l'enseignement dans la « filière polytechnicienne ». Ce projet de bon sens, adapté aux réalités et aux nécessités (par exemple celle d'exiger le maniement du calcul différentiel à l'examen d'entrée), se heurte au conservatisme du « clan Arago » – le Secrétaire perpétuel, président du Conseil de perfectionnement de Polytechnique et homme politique qu'était Arago était plus « libéral » dans sa vision politique que dans sa gestion des institutions.

Coriolis se remettra difficilement de l'échec de son projet de réforme, et surtout du mode d'opposition rencontré, qui n'avait rien de rationnel ! De même, les luttes de pouvoir et d'influence pour les postes de professeur

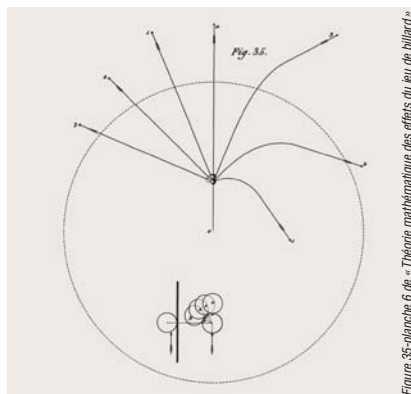


Figure 35: planche 6 de « Théorie mathématique des effets du jeu de billard »

2. CORIOLIS EST AUSSI l'auteur en 1835 d'une *Théorie mathématique des effets du jeu de billard*, qui faisait suite à l'invention par Maingaud, capitaine des armées napoléoniennes, de la « queue à procédé » (rondelle hémisphérique en bout de la queue de billard). Cette invention permettait les « effets rétro », où la bille revient en arrière après un choc.

ou de répétiteur, à propos desquelles son avis de directeur des études était fort important, ont pesé sur son entrain.

Les écrits personnels de Coriolis réservent aussi des surprises : une utopie sur le duel, où en homme profondément chrétien, il propose de substituer aux armes (qui favorisent l'offenseur s'il est bon épéiste ou tireur) un « séjour d'intérêt général » comme soignant dans un hôpital ; un écrit sur la musique religieuse, où il s'élève contre une tendance à privilégier la performance vocale ; des notes éducatives à sa sœur Cécile... Finalement, en plus d'une cohérence certaine dans son œuvre scientifique et son parcours, c'est aussi un homme attachant, avec ses projets et ses échecs, ses démêlés avec ses collègues, son caractère idéaliste et romantique, que nous avons eu le plaisir de découvrir. ■

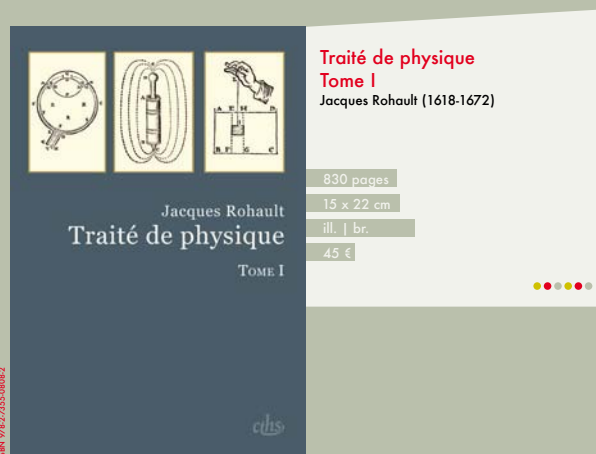
Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques

une collection complète d'instruments de travail pour la recherche en sciences humaines



**Savants et inventeurs
entre la gloire et l'oubli**
Sous la direction de Patrice Bret
et Gérard Pajonk

136 pages
21 x 27 cm
br.
23 €



**Traité de physique
Tome I**
Jacques Rohault (1618-1672)

830 pages
15 x 22 cm
ill. 1 br.
45 €

LOGIQUE & CALCUL

Un tour de cartes mathémagique

*Pour réussir un bon tour de cartes, il faut être agile de ses mains...
ou alors connaître les suites de de Bruijn.*

Jean-Paul DELAHAYE

Le magicien sort un jeu de 32 cartes et le donne à un spectateur qui l'examine et n'y repère aucune anomalie : le jeu n'est pas composé de cartes identiques et n'est pas rangé selon un ordre évident. En y regardant de près, le spectateur s'assure même que toutes les cartes sont différentes et constituent un jeu complet. Le magicien demande au spectateur de couper le jeu, de prendre la carte du dessus, puis de passer le jeu à son voisin de droite, qui prend la carte du dessus et passe le jeu à son voisin de droite, etc. Quand cinq cartes ont ainsi été retirées, le jeu est posé sur une table et personne n'y touche plus. Le magicien indique qu'il va se livrer à un numéro de transmission de pensée multiple. Il demande aux cinq spectateurs de se concentrer intensément sur la carte qu'ils ont en main et qu'ils n'ont montrée à personne. Il va deviner les cinq cartes.

Le magicien ferme les yeux et se concentre. Au bout de quelques secondes, il semble gêné : « Je n'y arrive pas, vos flux mentaux se mélangent. Nous allons décomposer la transmission de pensée. Occupons-nous des cartes noires (pique ou trèfle). Les personnes parmi vous qui en ont se lèvent et se concentrent à nouveau sur la carte devant leurs yeux ». Le premier et le troisième spectateur se lèvent et tentent de transmettre mentalement l'image de leur carte.

Au bout de dix secondes, le magicien annonce : « C'est bon. Monsieur, vous avez le 10 de pique et vous, vous avez l'as de trèfle.

Maintenant je peux d'ailleurs déchiffrer le premier flux que j'ai reçu tout à l'heure, les trois autres cartes sont l'as de cœur, le 8 de carreau et le 9 de cœur ». Tout est exact ! Les cinq cartes choisies que les spectateurs montrent au public sont effectivement : 10♠, a♥, a♣, 8♦, 9♥.

Bien sûr, il n'y a pas de transmission de pensée. Le tour est purement mathématique. Voyez-vous l'astuce ?

Les suites de Nicolaas de Bruijn

La solution se trouve dans une notion étudiée par le mathématicien néerlandais Nicolaas Govert de Bruijn (Dick de Bruijn), né en 1918 et décédé en 2012. Ses travaux de recherche ont porté sur la théorie des graphes, l'analyse, la théorie des pavages apériodiques, les méthodes de démonstration automatique de théorèmes et les suites de nombres nommées aujourd'hui « suites de de Bruijn » qui donnent la solution du joli tour de cartes présenté ci-dessus.

L'importance mathématique et pratique de ces suites et des graphes associés va cependant bien au-delà de la prestidigitation, puisque ces notions jouent un rôle en bio-informatique où elles aident à recoller les nombreux petits bouts de séquences génétiques que les séquenceurs d'ADN produisent en désordre.

Réfléchissons au tour avec les cinq spectateurs. Vous avez noté qu'à aucun moment, le

jeu de cartes n'a été mélangé. Il est seulement examiné, puis coupé par le premier spectateur. Les cinq spectateurs ne choisissent pas cinq cartes indépendamment, mais cinq cartes consécutives déterminées par la coupe du premier spectateur, qui est bien sûr inconnue.

La mise en scène du tour conduit le magicien à connaître qui des cinq spectateurs possèdent des cartes noires et rouges. Il se pourrait qu'il n'y ait aucun joueur ayant une carte noire, il se pourrait qu'il y en ait un, ou deux, etc. Le magicien n'apprend pas seulement leur nombre, il apprend précisément lesquels des spectateurs ont des cartes noires et lesquels ont des cartes rouges. En tout, il y a 32 possibilités : le premier joueur peut avoir une rouge ou une noire (2 cas), de même que le second (2 cas), etc., ce qui donne $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 32$ cas différents possibles. En voici la liste :

NNNNN-NNNNR-NNNNR-NNNNR-NNNNR-
NNRNR-NNRRN-NNRRR-NNRRN-NNRRR-
NNRRN-NNRRR-NNRRN-NNRRR-NNRRR-
NNRRR-NNRRN-NNRRR-NNRRN-NNRRR-
NNRRN-NNRRR-NNRRN-NNRRR-NNRRN-
NNRRR-NNRRN-NNRRR-NNRRN-NNRRR-
NNRRR-NNRRR

Grâce à son petit baratin, le magicien sait lequel de ces 32 quintuplets est le bon (*souigné ci-dessus*). Le jeu de 32 cartes utilisé a été préparé dans un ordre particulier (nous y reviendrons) et il y a 32 façons de couper un jeu de 32 cartes. Le magicien ignore la coupe faite et c'est l'information qu'il doit retrouver. En résumé, le magicien reçoit durant le tour