

Craie et tableau noir, matières à penser

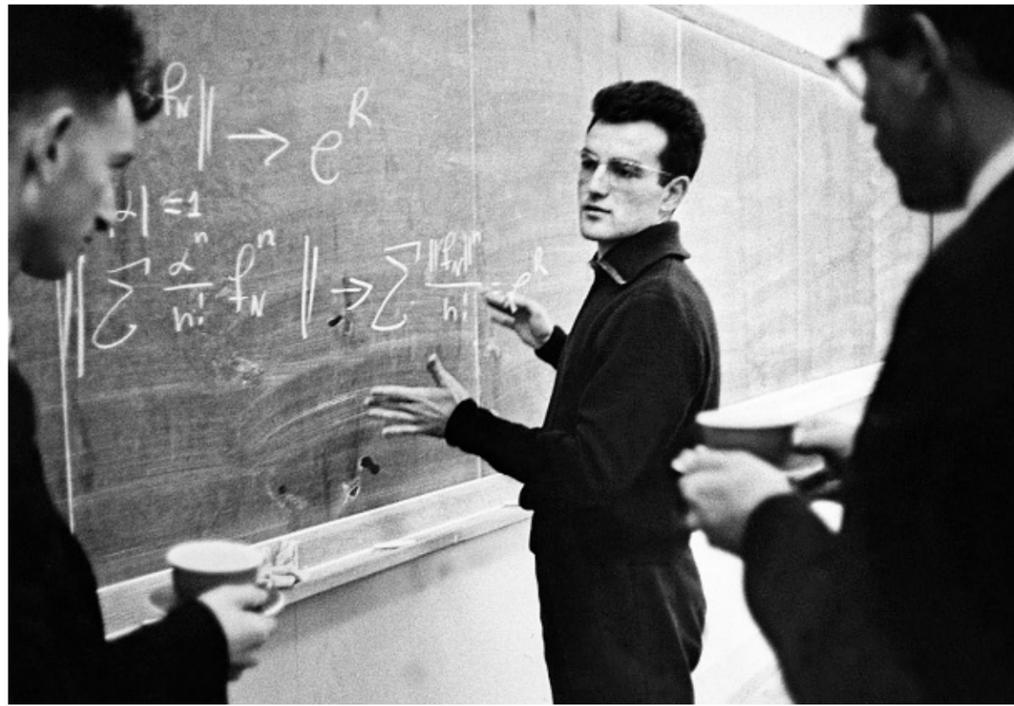
MATHÉMATIQUES | Ces outils ancestraux qui donnent forme aux idées restent plébiscités par les mathématiciens. Cet attachement révèle des liens intimes entre corps, geste et esprit

CATHERINE MARY

Longue barbe blanche, cheveux ébouriffés, le mathématicien Misha Gromov arpente l'estrade de l'amphithéâtre Darboux de l'institut Henri Poincaré, à Paris, tandis qu'il raconte en langue mathématique une histoire que le profane aimerait bien comprendre. Derrière lui, sur toute la longueur de la pièce, s'étend un tableau noir. Ses mains s'élèvent, s'ouvrent, se referment, au rythme de sa pensée. Parfois, il s'interrompt, se tourne vers le tableau noir et trace un signe ou l'ébauche d'un schéma qui ressemble à un gribouillis. Le frottement de la craie résonne, dans l'intimité de cette pièce de bois et d'ardoise, dont les vitres opaques filtrent la lumière du jour.

« Le tableau noir, c'est l'outil permettant de suivre un raisonnement qui s'élabore, une pensée qui fonctionne. C'est une question de rythme, explique Laurent Guillopé, de l'université de Nantes. Il y a quelques années, le vidéoprojecteur s'était imposé mais, pour certaines disciplines des mathématiques, il a disparu et le tableau noir est revenu. » « On est parfois le maître, parfois l'élève, mais le tableau noir est toujours là, un outil de communication à nul autre pareil », semble lui répondre en écho le mathématicien Cédric Villani dans *Au bonheur des maths*, un documentaire récent de Raymond Depardon et Claudine Nougaret.

À l'heure où les outils électroniques dématérialisent toujours plus notre rapport à ce que nous faisons, les mathématiciens, eux, revendiquent leur attachement au tableau noir et à la craie. Dans les salles de cours, dans les couloirs, à la pause-café, il est partout, même dans les toilettes du laboratoire Jean-Dieudonné, à Nice. Certains sont célèbres, comme les tableaux coulissants de l'amphithéâtre Hermite de l'institut Henri-Poincaré ou ceux de l'institut Schroedinger, à Vienne, en Autri-



Lyon. « Il y a une matérialité du trait », renchérit Emmanuel Ferrand, chercheur à l'institut de mathématiques de Jussieu, qui reconnaît son attachement à la craie « à la française » comparée à celles qu'il doit parfois utiliser dans les universités étrangères. « Le trait est grossier. C'est un trait qualitatif qui s'oppose au dessin ultraprécis qu'on peut faire à l'ordinateur. »

Le croquis, le gribouillis, occupent une place importante dans la création mathématique. Ils permettent au mathématicien de saisir ce qui surgit de ses pensées et de le fixer pour explorer ses intuitions. « Le côté très propre et très formel des mathématiques est important pour qu'on puisse se comprendre entre nous, mais notre activité de recherche mobilise vraiment le côté dessin, le gribouillis. Il s'agit de passer d'une intuition à quelque chose de complètement validé et formalisé », explique Emmanuel Ferrand.

Les mathématiciens échangent et discutent en permanence leurs idées, et le tableau noir, dans la salle de cours ou à la pause-café, est le lieu qui rend ces échanges possibles. « C'est un espace qui donne de la place à l'autre, contrairement à la feuille de papier, explique Maylis Limouzineau. Au tableau noir, on peut être à deux, trois ou plus. C'est un outil de groupe. » La craie et le tableau sont également à la portée du mathématicien à l'instant même où l'idée surgit. Ils ne nécessitent pas de mise en route, ne connaissent pas d'aléas comme les outils électroniques, et les tableaux blancs interactifs dont se sont équipés certains laboratoires restent boudés par les mathématiciens.

Lors d'une conférence, le tableau noir permet aussi de s'adapter à son auditoire. Le mathématicien devient alors un orateur et, comme au théâtre, il doit capter l'attention de son public. Tout comme sa gestuelle, les crisements, les coups, les frottements de la craie font partie intégrante de son cours. « Le temps pendant lequel vous écrivez

est un temps pendant lequel l'auditoire peut réfléchir », observe Michèle Audin, de l'université de Strasbourg. Avec la craie, il y a quelque chose qui résiste. Avec un tableau blanc, ce n'est pas du tout pareil, ça va beaucoup trop vite. »

Dans sa quête de pureté, le mathématicien trouve aussi dans le tableau noir le lieu où se rencontrent le fond et la forme. Laurent Guillopé se souvient ainsi d'un tableau du mathématicien français Jacques Dixmier, rempli au millimètre près. « Sa maîtrise du tableau était liée à la maîtrise de sa pensée. C'était une pensée extrêmement claire et il avait une capacité à expliquer par le verbe et par sa manière d'écrire sur le tableau, raconte-t-il. C'était un enchantement. Trente ans plus tard, je m'en souviens encore. »

Le tableau de Misha Gromov, lui, est rempli de signes et de croquis. Sur la partie gauche, il a été effacé plusieurs fois et les traces de craie recouvrent grossièrement les premiers signes, remplacés par d'autres. Quand on le questionne sur son travail au tableau, il esquive pudiquement : « Vous connaissez l'histoire du barbu à qui l'on demande si, quand il dort, il met sa barbe sur le drap ou sous le drap, et qui répond : "Je vous dirai demain matin" ? Eh bien, pour moi, c'est pareil avec le tableau noir. » ■

Les maths au tableau, dans les années 1950.

JEAN-PHILIPPE CHARBONNIER/RAPHO/GAMMA

« Le tableau noir, c'est l'outil permettant de suivre un raisonnement qui s'élabore, une pensée qui fonctionne »

LAURENT GUILLOPÉ
université de Nantes

che. Pour pallier leur absence dans certains lieux de conférences, les mathématiciens s'équipent de tableaux portatifs ou s'en fabriquent de fortune, à l'aide de plaques d'ardoise fixées par des sangles à des tables de cours renversées.

« On est très attachés à la craie. Le tableau blanc pue et il tache », résume Maylis Limouzineau, doctorante à l'institut de mathématiques de Jussieu, à Paris. Le Power Point ne trouve pas plus grâce aux yeux des mathématiciens. « Je n'utilise ce genre de logiciel que lorsque je sais exactement ce que je vais dire, devant un public qui ne posera pas de questions parce que le temps est compté. Mais dès que c'est un peu intime, j'utilise le tableau », confie Etienne Ghys de l'Ecole normale supérieure de

Démonstration 2.0

Des plates-formes collaboratives en ligne consacrées aux mathématiques se développent sur des sites comme Wikipedia, Mathplanet.org ou MathOverflow.net. Sans remplacer le tableau noir, elles permettent aux mathématiciens, grâce à des logiciels spécialisés, de collaborer à distance. Le projet Polymath, lancé en 2009 par Timothy Gowers, Médaille Fields de 1998, invite par ailleurs les mathéux à collaborer massivement en ligne, sur une période limitée, pour résoudre un problème. Il rend ainsi possible l'enregistrement de l'ensemble du processus menant à sa résolution.

Le sillage des bateaux trahit leur vitesse

L'angle formé par le V derrière les navires est-il constant ? De nouvelles simulations répondent

DAVID LAROUSSERIE

C'est à peine croyable : un modeste canard ou un imposant voilier créent derrière eux le même sillage en forme de V. L'angle est d'un peu moins de 39 degrés, quelle que soit la vitesse des objets flottants. C'est en tout cas ce qu'avait démontré en 1887 Lord Kelvin, savant britannique réputé pour ses travaux fondamentaux en thermodynamique aussi bien que pour ses inventions autour du télégraphe. Et depuis, ce constat n'avait été remis en cause que dans des situations particulières, par exemple en eaux peu profondes, dont on sait qu'elles accélèrent les vagues.

Patatras ! En mai 2013, deux physiciens de l'université Paris-Sud (Orsay), Marc Rabaud et Frédéric Moisy, utilisent des photos satellite tirées de Google Earth et observent que ce constat de renommé savant n'est en fait pas valable. A grande vitesse, le V du sillage se ferme, de façon

inversement proportionnelle à la célérité. Doubler la vitesse divise l'angle par deux.

« Cela a jeté un pavé dans la mare. Mais comme ces auteurs avaient fait une hypothèse forte pour expliquer le phénomène et qu'il y avait des débats, nous avons voulu aller plus loin », se souvient Elie Raphaël, du CNRS au laboratoire Gulliver de l'Ecole supérieure de physique et de chimie industrielles ParisTech. Avec ses deux étudiants en thèse, il publiera prochainement dans *Journal of Fluid Mechanics* ses conclusions, qui ont le bon goût de réconcilier Kelvin et ses contradicteurs.

La nouvelle équipe démontre en effet qu'il existe en fait deux sillages. L'un, identifié par Kelvin, conserve un angle constant quelle que soit la vitesse du bateau. L'autre, mis en évidence en mai, voit son angle diminuer. Le premier délimite en fait la zone au-delà de laquelle l'eau n'est pas perturbée par le déplacement du bateau qui agite la surface de l'eau. Le second, d'angle plus petit, correspond au lieu où les vagues ont l'amplitude

maximale. C'est ce qui explique qu'il soit bien visible sur les photos alors que le sillage de Kelvin est, lui, imperceptible pour les navires filant trop vite. Le changement de régime, dépendant de la longueur de l'embarcation, a lieu pour des vitesses de l'ordre de 36 km/h pour un objet de 10 mètres de long.

Tour de force mathématique

« Elie Raphaël et son équipe ont réalisé un tour de force mathématique. Nous sommes admiratifs », témoigne Frédéric Moisy. D'autant que les nouveaux calculs n'incluent pas une hypothèse controversée. Selon les auteurs de l'article de mai 2013, un bateau n'émet pas de vagues dont la longueur d'onde (c'est-à-dire la distance entre deux crêtes) est beaucoup plus grande que la taille du bateau. Ou, ce qui revient au même, la vitesse des ondes émises est limitée par un paramètre lié à la dimension de l'embarcation.

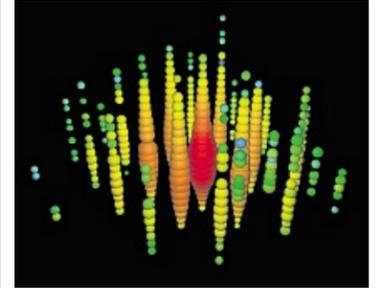
Mais le défaut de ces nouvelles simulations est que « l'interprétation physique

du phénomène n'est pas simple », selon Elie Raphaël lui-même. « Notre hypothèse, dont nous pensons qu'elle n'est pas remise en cause par les calculs récents, permet selon nous de comprendre le refermement du sillage », estime cependant Frédéric Moisy. Il se passerait pour le bateau ce qui se passe pour un avion au-delà du mur du son. Ce dernier va plus vite que les ondes qu'il émet. Celles-ci se propagent moins loin et le cône de sillage se rétrécit. Dans l'eau, la vitesse des ondes étant limitée, l'angle du V se réduirait. Le célèbre nombre de Mach pour les avions serait remplacé par le nombre de Froude et la vitesse du son dans l'air par une vitesse dépendant de la racine carrée de la taille du bateau.

Même si un léger désaccord persiste sur l'origine et l'interprétation du phénomène, le résultat est que, désormais, il est possible, grâce à de simples clichés, de distinguer un canard d'un hors-bord... Ou, plus sérieusement et plus utilement, de déduire de la forme d'un sillage la vitesse de l'en-gin qui lui a donné naissance. ■

TÉLESCOPE

Astrophysique
Premiers neutrinos venant d'au-delà du système solaire



Une nouvelle fenêtre sur l'Univers s'est ouverte dans un laboratoire original situé à deux kilomètres sous la glace du pôle Sud et baptisé IceCube. Cette installation internationale est la première, depuis 1987, à détecter des neutrinos venant d'au-delà de notre système solaire. Ces particules très légères interagissent si faiblement avec la matière qu'elles traversent en ligne droite tout l'Univers à partir des sources qui leur ont donné naissance, comme des explosions d'étoiles, des trous noirs, des amas de galaxies... En 1987, une telle supernova avait émis des neutrinos de bien plus faible énergie que ceux repérés par IceCube. Ces derniers ont une énergie jusqu'à 150 fois plus grande que celle du plus puissant accélérateur de particules sur Terre. Leur passage déclenche l'apparition de multiples particules repérées par des détecteurs répartis le long de plus de 80 câbles. Le faible nombre de neutrinos repérés (28) est insuffisant pour identifier et localiser leur origine, mais il marque le début d'une nouvelle astronomie. Et justifie la construction d'expériences encore plus vastes sous les glaces ou sous la mer.

(IMAGE: COURTESY OF THE ICECUBE COLLABORATION)

> **IceCube collaboration, « Science », 22 novembre.**

Sciences de la Terre

Un « essaim » mesure le bouclier magnétique de notre planète

Les trois satellites européens de la constellation Swarm (« essaim ») ont été mis en orbite, vendredi 22 novembre, par un lanceur russe, Rockot. Ils étudieront pendant quatre ans le champ magnétique terrestre, aussi bien en profondeur que dans la haute atmosphère, en volant en formation. Le champ magnétique terrestre constitue un bouclier vis-à-vis de divers rayonnements et particules solaires. Swarm étudiera notamment son affaiblissement, observé depuis les années 1980, qui pourrait prélude un lent renversement des pôles magnétiques.

400 000

C'est le nombre de personnes décédées de la grippe H1N1 lors de la pandémie de 2009, selon une étude internationale publiée dans la revue en ligne *PLOS Medicine*, le 26 novembre. Cette nouvelle estimation est vingt fois supérieure au bilan établi par l'Organisation mondiale de la santé à partir des cas confirmés biologiquement : 18 449 morts. En analysant les données de mortalité dans 21 pays, les chercheurs estiment que la grippe H1N1 a causé 203 000 décès d'origine respiratoire, et autant d'autres causes. Entre 62 % et 85 % des victimes avaient moins de 65 ans. Les épidémies de grippe saisonnière tuent de 250 000 à 500 000 personnes par an dans le monde, surtout des personnes âgées.

Médecine

Hémophilie : succès de la thérapie génique chez des chiens

Testée chez trois chiens atteints d'hémophilie A sévère (forme la plus fréquente de ce trouble héréditaire de la coagulation), une stratégie de thérapie génique s'est révélée très efficace chez deux d'entre eux, qui n'ont souffert d'aucune hémorragie dans les trente mois suivant l'injection. L'hémophilie, qui touche presque exclusivement les garçons, peut être traitée par des concentrés de facteurs de coagulation (facteur VIII pour l'hémophilie A et IX pour la forme B). Mais certains patients développent des anticorps qui neutralisent le traitement. En 2011, une approche de thérapie génique avait été testée avec succès chez six patients atteints d'hémophilie B.

> **Du et al., Nature Communications, 19 novembre.**