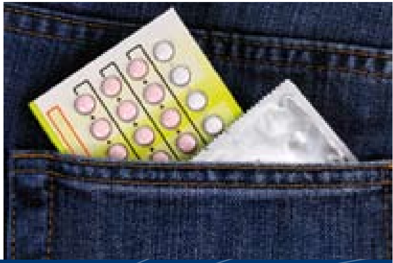
« Pas doué pour les maths ! »
Mieux prévenir l'échec scolaire lors de l'apprentissage des mathématiques 7

La pilule et le contrôle des naissances
Comment la contraception chimique est devenue légale en France 20



têtescercheuses

ACTUALITÉ ET CULTURE DES SCIENCES EN PAYS DE LA LOIRE

TRIMESTRIEL GRATUIT - NUMÉRO 15 - AUTOMNE 2010

DOSSIER

L'INTELLIGENCE DES MATHS

Dans l'effort d'abstraction s'ouvre un champ infini d'idées neuves, de moyens de calcul et de compréhension du monde.

Sommaire n°15

Dossier élaboré avec le concours des auteurs, dont Jean-François Bouhours (Inserm/Université de Nantes), Lei Tan (Université d'Angers) et tout particulièrement Laurent Guillopé, et grâce aux éclairages de Philippe Carmona, Xavier Gandibleux, Vincent Jullien, Patrick Le Callet, Jean-Marc Patin, Andrei Smilga (Université de Nantes), Yury Kutoyants (Université du Maine), Jean-Jacques Loeb (Université d'Angers), Stéphane Peigné (CNRS-IN2P3) et Mazen Saad (École centrale de Nantes).

© www.ohazar.com

La radio Prun' (92 FM à Nantes), dans son « Labo des savoirs » du 28 septembre à 19 heures, propose une émission avec des interviews d'auteurs de ce numéro : Laurent Guillopé, Éric Paturel, Didier Robert et Dominique Vellard. Le podcast de l'émission est téléchargeable sur www.prun.net

Couverture : © Corbis / David Madison
vignettes : © iStockphoto / Leah-Anne Thompson (à gauche) ; © iStockphoto / Kasiap
Frise : © iStockphoto / Esolla

Retrouvez sur le site
www.tetes-chercheuses.fr
les articles de ce numéro et des numéros précédents avec des documents et des liens complémentaires ainsi que la possibilité de poser vos questions.

têteschercheuses
Université de Nantes, bâtiment IHT, rue Christian-Pauc, 44300 Nantes.
Magazine trimestriel fondé par l'Université de Nantes et Olivier Néron de Surgy.
Directeur de la publication : Yves Thomas.
Conception, édition, rewriting, iconographie : Olivier Néron de Surgy.
Collaboration éditoriale : Julie Danet.
Maquette, mise en page : RC2C (La Rochelle).
Illustrations : Ohazar et RC2C.
Impression : La Contemporaine (Sainte-Luce-sur-Loire).
Dépôt légal : avril 2007. **ISSN** : 1954-1872.
Papier recyclé

Comité de pilotage : Yves Thomas (président du comité), Denis Bouget et Jacques Girardeau (Université de Nantes) ; Jean-François Bouhours (Inserm/Université de Nantes), Jean-Yves Buzaré (Université du Maine), Patricia Carré (Région Pays de la Loire), Jean-Louis Ferrier (Université d'Angers), Jean-Luc Gaignard (Inra Angers-Nantes), Jean-Paul Pacaud (Rectorat de l'académie de Nantes) et David Pouilloux (Nantes Métropole).

Comité de rédaction : Jean-Noël Hallet (président du comité), Fabien Bacro, Sabine Constant, Catherine Cuenca, Aurore Marcouyeux, Julien Patron et Stéphane Tirard (Université de Nantes) ; Véronique Barret, Régine Cance, Philippe Deniaux et Marie-Lise Fosse (Rectorat de l'académie de Nantes) ; Marielle Cros (lycée Chevrollier, Angers), Hélène Gélot (étudiante à l'Université de Nantes), Jean-François Huet (lycée Clemenceau, Nantes), Jean-Pierre Jandot (Terre des sciences, Angers), Bernard Kubica (Subatech, École des mines de Nantes/CNRS/Université de Nantes), Luc Remy (Muséum de Nantes) et Christine Rousseau (collège Cadou, Ancenis).

La rédaction remercie les participants, l'Inra-Angers et la photothèque du CNRS pour leurs aimables prêts d'images ainsi que Michel Ruchaud (bibliothèque de l'Université de Nantes) pour sa précieuse assistance.

Région PAYS DE LA LOIRE — Nantes Métropole COMMUNAUTÉ URBAINE — UNIVERSITÉ DE NANTES — académie Nantes

Édito

© Fotolia.com/Dario Sabljak

Anciennes et contemporaines, abstraites et concrètes, les mathématiques « innervent » notre quotidien : cryptographie pour les transactions bancaires, statistique dans les sondages, modélisation de processus biologiques, contrôle des structures et de leur rigidité... Elles s'enrichissent sans cesse de concepts nouveaux, utiles pour explorer le monde comme pour résoudre des conjectures historiques ou des problèmes récents. Enveloppées de mystères et de beauté, elles semblent plus prolifiques et plus diverses que jamais.

Le présent dossier s'appuie sur le réseau de recherche en mathématiques de notre région : un laboratoire dans chaque université et une fédération régionale qui pilote des programmes de recherche internationaux. Il témoigne aussi du fait que de nombreux laboratoires d'autres disciplines ainsi que des ingénieurs et des enseignants mènent des projets en collaboration étroite avec des chercheurs en mathématiques ; ces travaux contribuent à éclairer la multiplicité et la richesse des maths.

À l'heure de la publication de ce numéro, une trentaine de jeunes mathématiciens préparent une thèse dans notre région. Ces futurs chercheurs, ingénieurs ou enseignants sont à bonne école, une école mathématique française de nouveau mise à l'honneur cet été par des distinctions internationales prestigieuses : la médaille Fields (comparable à un prix Nobel) décernée à Cédric Villani, spécialiste en analyse et en probabilités, et au Franco-vietnamien Ngô Bau Châu, distingué pour ses travaux en théorie des nombres et en géométrie ; la médaille Gauss attribuée à Yves Meyer, notamment pour son rôle pivot dans la théorie des ondelettes et dans le développement prodigieux de ses applications que ce dossier ne manque pas d'aborder.

Christoph Sorger, Professeur à l'Université de Nantes, directeur de la Fédération de recherche CNRS « Mathématiques des Pays de Loire »,
et **Olivier Néron de Surgy**, rédacteur en chef

Un cyclotron en rodage

Le cyclotron Arronax

Olivier Réif

En mars dernier, un an et demi après son inauguration officielle, Arronax[1] produisait ses premiers isotopes radioactifs. *« Ce délai peut sembler long mais, contrairement aux petits cyclotrons parfaitement rodés pour produire du fluor 18 en quantités industrielles, Arronax est un prototype et son environnement (les dispositifs et procédures de production de radio-isotopes, d'expériences de radiochimie, de sécurité) devait être mis au point »*, explique Yves Thomas, chargé de mission pour l'Université de Nantes. *« Autrement dit, un moteur très puissant nous a été livré mais il faut construire la Formule 1 propulsée par ce moteur. De plus, il a été acheté pour atteindre 350 km/h, or il n'a pas dépassé 300 lors des premiers essais. Des améliorations ont donc été nécessaires, même si l'on ne roulera peut-être jamais à 350. »*

Ferid Haddad, enseignant-chercheur à Subatech[2] en charge des questions de physique dans le projet, précise ce dernier point : *« Les particules du faisceau interagissent avec des molécules d'air résiduelles. Elles sont alors déviées et ralenties. Un vide initial insuffisant entraîne ainsi une perte d'énergie et d'intensité du faisceau qui l'empêche de produire, sur une cible métallique, les quantités d'isotopes souhaitées. Afin d'obtenir un vide plus poussé, deux pompes cryogéniques ont été ajoutées et, grâce à elles, on observe en ce début septembre des améliorations notables. »*

Pour développer « l'environnement du moteur », les chercheurs et ingénieurs du Gip[3] Arronax ont travaillé pendant deux ans sur les cyclotrons de Nice et d'Orléans avec un faisceau de basse intensité. *« Depuis mars 2010, nous pouvons désormais tester et affiner nos cibles et nos protocoles d'extraction des isotopes d'intérêt »*, indique Ferid. Enfin, le groupe de maintenance perfectionne ses méthodes d'intervention et celui de radioprotection ajuste les règles assurant la sécurité pour tous.

Arronax devrait fonctionner en routine dès juillet 2011 et participe déjà à divers programmes de recherche-développement, en particulier à des fins médicales. En effet, en accélérant des particules chargées (protons, deutons, particules alpha) avec une énergie de 70 millions d'électrons-volts (MeV) et une intensité de 750 microampères (contre 30 MeV et 100 µA pour les « cyclotrons médicaux » classiques), Arronax pourra produire des isotopes (cuivre 64, cuivre 67, strontium 82, germanium 68, astate 211, scandium 47, etc.) utiles au développement de la médecine nucléaire et insuffisamment disponibles aujourd'hui. *« Le cuivre 64, par exemple, permet un meilleur diagnostic de certains cancers par l'imagerie TEP (tomographie par émission de positons[1]) et le cuivre 67 aide à la destruction ciblée des cellules tumorales »*, précise Jacques Barbet, directeur du Gip Arronax et de l'équipe « Recherches en oncologie nucléaire » du CRCNA[4] •

Julie DANET

1. Cf. *Têtes chercheuses* n°5.
2. unité mixte de recherche de l'École des mines, du CNRS et de l'Université de Nantes
3. groupement d'intérêt public
4. Centre de recherche en cancérologie de Nantes-Angers (Inserm/universités de Nantes et d'Angers)

Record du monde !

Thibault Rochoux

Le prototype Polyjoule 2010

Dans la course à la baisse de consommation d'énergie des véhicules motorisés, les prototypes utilisant une pile à dihydrogène[1] (H_2) sont pour la première fois en tête. En témoigne la victoire de l'association nantaise Polyjoule dans la 26e édition du Shell Eco-Marathon disputée en mai dernier en Allemagne.

Lors de l'épreuve, les 200 véhicules concurrents ont parcouru 25,6 km à 30 km/h. Afin de les comparer, leurs consommations respectives (de H_2, d'éthanol, d'essence...) sont rapportées à une quantité d'énergie ou à un volume d'essence équivalent. En consommant 15 litres de H_2, auxquels correspondent 158 000 joules ou 5,23 ml d'essence, Polyjoule a pulvérisé son propre record : 4 896 km par litre d'essence, contre 3 451 en 2009 !

Tandis que les recherches portant sur les matériaux permettent d'améliorer la technologie des piles à combustible, ce résultat est surtout dû au travail d'une cinquantaine d'étudiants de Polytech'Nantes[2] et du BTS « Moteur à combustion interne » du lycée de la Joliverie à Saint-Sébastien-sur-Loire. *« Les uns se sont concentrés sur l'amélioration de la production d'électricité, les autres sur celle des parties mécaniques »*, indique Pauline Tranchard, présidente de Polyjoule. *« Plus léger et plus aérodynamique que celui de 2009, notre prototype a aussi bénéficié d'un nouveau convertisseur de puissance, précise Anthony Gondrin, étudiant en BTS. Ce dispositif gère la production d'énergie électrique de la pile dans le but d'optimiser sa conversion en énergie mécanique. Le rendement de la conversion a été porté à 97 %, contre 80 % en 2009. »*

Pour Philippe Maindru, professeur de thermodynamique à la Joliverie, *« ce succès relève autant de la performance technique que de la motivation des étudiants à travailler en équipe sans distinction entre futurs techniciens et futurs ingénieurs »* •

J. D.

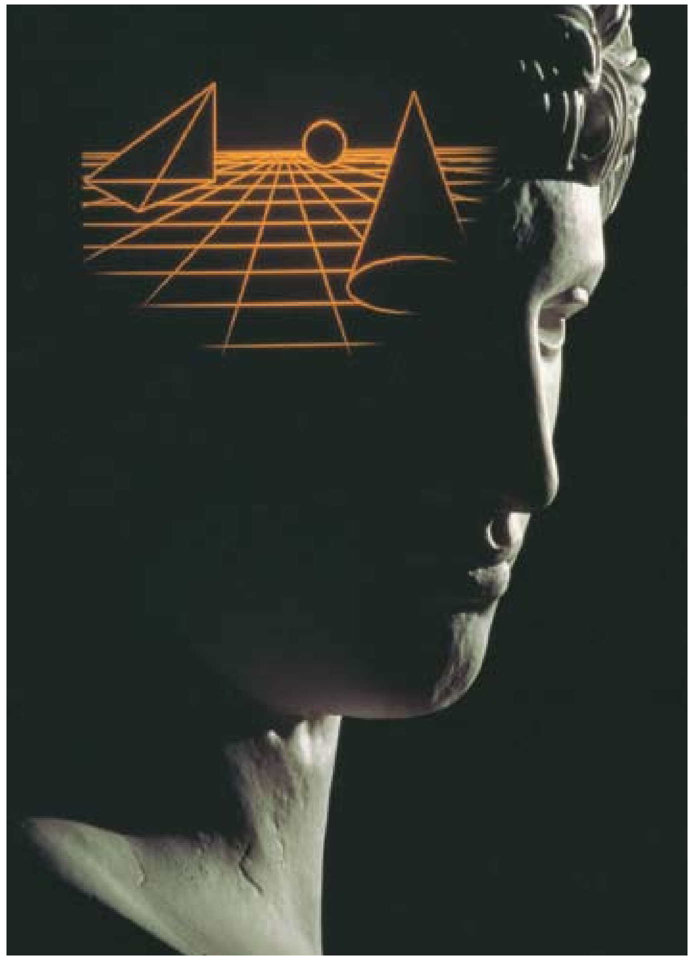
1. Cf. www.cea.fr/var/cea/storage/static/fr/jeunes/animation/aLaLoupe/Pile/pile.htm
2. école d'ingénieurs de l'Université de Nantes située sur les campus de Nantes et de Saint-Nazaire et membre du réseau national Polytech

Histoire des mathématiques

Comprendre et prévoir le monde

Platon distinguait deux mathématiques : l'une fondamentale, l'autre appliquée. Comment, depuis lors, cette idée a-t-elle accompagné la mathématisation du monde ?

★ par Évelyne BARBIN, Professeur, chercheuse au centre François-Viète d'épistémologie et d'histoire des sciences et des techniques (Université de Nantes)



© Getty Images / Comstock

Les traces les plus anciennes de mathématiques datent du second millénaire avant J.-C. Elles portent sur des problèmes simples de mesure de terrain ou de comptage. Des problèmes plus difficiles « de distances inaccessibles » apparaissent au VIe siècle avant J.-C. Par exemple, comment connaître la distance d'un bateau sur la mer ? Comment mesurer la hauteur d'une pyramide ? Comment creuser un tunnel afin qu'il débouche à l'endroit souhaité ? Pour les résoudre, les Grecs raisonnent sur des figures géométriques, qu'ils utilisent aussi en astronomie, comme le cercle dans les représentations des mouvements célestes.

Dans les deux siècles suivants, les raisonnements de la géométrie grecque prennent la forme de démonstrations déductives qui portent sur des figures idéales et qui doivent avant tout convaincre de la vérité des résultats obtenus. Platon oppose alors les mathématiques liées aux activités concrètes à celles qui formulent des spéculations abstraites. Le philosophe proteste notamment contre l'emploi grossier du terme *géométrie* qui signifie « mesure de la Terre » alors que le but originel de la mathématique ainsi désignée était la contemplation de la vérité. Quant à son élève Aristote, sa « physique » est faite de raisonnements déductifs visant à déterminer les phénomènes de la nature : elle explique que les corps tombent parce qu'ils rejoignent leur « lieu naturel », elle classe les mouvements en « naturels » ou « violents », mais, étant très peu mathématique, elle s'avère complètement inadéquate quand les ingénieurs et les artilleurs des XVIe et XVIIe siècles recherchent l'angle d'inclinaison d'un canon de sorte que le boulet tombe le plus loin possible ou à l'endroit voulu.

Galilée s'intéresse au problème de la portée des canons dans les années 1620. Pour le résoudre, il faut trouver exactement, donc par les mathématiques, la trajectoire d'un projectile. C'est ainsi qu'il renonce à l'explication des phénomènes par leurs causes en faveur de la compréhension mathématique de leurs effets, en recherchant non plus les causes des mouvements mais des « lois », comme celle qui relie le temps de chute et la distance parcourue. Pour lui, le « livre de la nature » est écrit en langage mathématique et il faut connaître ce langage pour comprendre la nature.

Des mathématiques mixtes

Francis Bacon, un contemporain de Galilée, invente le terme de « mathématiques mixtes » pour désigner les outils nécessaires à une science qui vise désormais à rendre l'Homme « maître et possesseur de la nature », comme l'écrit à la même époque René Descartes. De nouvelles mathématiques sont requises dans ce but, et les discours logiques des Grecs sont remplacés par des méthodes de calcul plus propres à éclairer les esprits et à inventer. Qu'il s'agisse de tailler des verres, d'évaluer sur mer une longitude, ou de « maîtriser les hasards » comme l'entreprend Blaise Pascal avec le calcul des probabilités, les mathématiques sont « mêlées » aux préoccupations de l'époque, comme celle de faciliter les commerces lointains et d'en évaluer les risques. Mais les mathématiciens ne négligent pas pour autant les défis abstraits, purement mathématiques, qu'offrent les nombres ou les figures.

La distinction entre mathématiques « pures » et « appliquées » est de mise à partir du XVIIIe siècle. Cependant, elle est peu le fait des mathématiciens eux-mêmes, dont les centres d'intérêt s'avèrent très divers, en particulier dans ce vaste et riche domaine, nommé physique mathématique au XIXe siècle, qui vise à comprendre et prévoir les phénomènes physiques au moyen d'outils mathématiques. Gabriel Lamé est très représentatif des mathématiciens « tout terrain » de cette époque : il s'intéresse aussi bien aux constructions de ponts suspendus, à l'élasticité des matériaux, aux coordonnées curvilignes qu'au fameux problème arithmétique de Fermat (cf. page 11). Dans des temps plus proches, ce sont souvent des « mathématiciens purs » qui développent les théories (de logique formelle, des ensembles, des nombres...) utiles à l'essor de l'informatique.

Aujourd'hui comme hier, le double objectif de comprendre et de prévoir le monde nécessite tantôt d'appliquer des mathématiques établies, tantôt d'en créer de nouvelles. La séparation académique actuelle entre « mathématique théoriques » et « mathématiques appliquées » nous ramène au temps de Platon mais ne paraît pas très pertinente à la lumière de l'histoire •

En complément...
La révolution mathématique du XVIIe siècle, É. Barbin (Ellipses, 2006) ; www.franceculture.com/oeuvre-la-révolution-mathématique-du-xviie-siècle-de-evelyne-barbin.html

Brèves mathématiques

PLACE AUX CHIFFRES

© www.ohazar.com

Les jeunes Français intéressés par les maths sont-ils en voie de disparition ?

Selon le rapport publié en 2002 par Maurice Porchet[1], en 1995, environ 40 000 bacheliers se sont inscrits en premier cycle universitaire spécialisé en mathématiques et 20 000 ont poursuivi dans un second cycle de maths. Entre 1995 et 2000, le premier cycle n'a quasiment pas perdu d'effectifs (et la filière S du lycée non plus) mais, par contre, le second a connu une baisse de 26 %, principalement au profit de filières technologiques (sciences de l'ingénieur, IUP[2], licence d'informatique, etc.).

Les maths ne sont pourtant pas les moins bien loties à l'université : sur la même période, le second cycle de physique-chimie a perdu 44 % du nombre de ses inscrits !

Enfin, tandis que les formations d'ingénieurs connaissent, en revanche, une progression quantitative globale depuis plus de 15 ans, certains de leurs enseignants estiment que le niveau moyen des étudiants en mathématiques tend à baisser (mais a-t-on souvent entendu un avis contraire ?) ou tout au moins que les aptitudes des étudiants sont moins homogènes qu'auparavant •

J.D., H.G. et O.N.d.S.

1. Professeur à l'Université de Lille. Cf. http://media.education.gouv.fr/file/91/8/5918.pdf
2. institut universitaire professionnalisé

© www.ohazar.com

CÔTÉ PHILO — Les maths sont-elles une science ?

Aristote pensait que les mathématiques sont une science, et même la science la plus exacte et la plus rigoureuse qui soit, mais qu'elles ne font pas bon ménage avec les sciences de la nature. Si Galilée, Newton, Descartes et d'autres encore ont, en pratique, largement nié cette incompatibilité vingt siècles plus tard[1], la place des mathématiques au sein des disciplines qualifiées de scientifiques demeure néanmoins controversée.

Dire que les mathématiques (du grec ancien *mathema*, qui signifie à la fois science et connaissance) sont une science suppose de définir ce qu'est une science. S'il s'agit d'un moyen méthodique de connaissance, les mathématiques échafaudent des théories constituées d'hypothèses étayées par des raisonnements logiques (des démonstrations, en l'occurrence) et par des faits ou des expériences reproductibles (des calculs, en l'occurrence) ; elles partagent en cela une démarche commune aux autres disciplines scientifiques.

C'est plutôt par leurs fondements et leurs objets que les mathématiques semblent se distinguer des autres disciplines. D'une part, elles sont fondées sur des axiomes, des énoncés supposés vrais mais non vérifiables, tels que « $x + 0 = x$ ». Or, selon Karl Popper, pour qu'un énoncé soit scientifique, il faut que l'on puisse mettre en œuvre une procédure permettant de le tester et capable de le réfuter[2]. Ainsi, puisqu'elles reposent sur des axiomes, les lois mathématiques ne seraient pas tout à fait scientifiques. D'autre part, leurs objets sont des notions abstraites, qui leur sont propres, tandis que les autres disciplines sont empiriques : elles s'appuient sur des phénomènes observés dans la nature ou provoqués par l'expérimentation. « *La réalité n'est pas si simple*, nous dit le philosophe Gilles-Gaston Granger[3]. *Car, d'une part, c'est souvent à propos de questions posées par l'observation empirique que des concepts mathématiques ont été dégagés ; d'autre part, si la mathématique n'est pas une science de la nature, elle n'en a pas moins de véritables objets.* »

Science ou non-science, « la mathématique » a en tout cas comme autre particularité de progresser par le vrai et le faux, grâce à l'exactitude de ses résultats (et non par des théories seulement étayées), faisant d'elle un outil indispensable à la plupart des sciences… voire davantage qu'indispensable : « *quelquefois on dit qu'elle est leur servante, et quelquefois on dit qu'elle est leur maîtresse* », remarque Vincent Jullien[1] •

Hélène GÉLOT, étudiante à l'Université de Nantes

1. Cf. *Comprendre et prévoir le monde*, page suivante, et l'interview de Vincent Jullien (Professeur à l'Université de Nantes) dans « Le Labo des savoirs », disponible en podcast sur www.prun.net
2. *Au fait, c'est quoi, la science ?*, de Sophie Pécaud, *Têtes chercheuses* n°12
3. *La science et les sciences* (Puf, coll. « Que sais-je ? », 1993). Rechercher aussi « science » et « mathématiques » sur http://fr.wikipedia.org


© Getty Images/Marco Pozzo

Psychologie

« Pas doué pour les maths ! »

© www.ohazar.com

Une recherche innovante en psychologie est menée dans le but de mieux prévenir les difficultés scolaires en mathématiques.

★ par Philippe GUIMARD, Professeur, Nadège VERRIER, Maître de conférences, et Malek BOBÉE-SOLTANI, doctorante, chercheurs au LabÉCD, Laboratoire de psychologie « Éducation, cognition, développement » de l'Université de Nantes

Selon plusieurs enquêtes nationales ou internationales récentes, le niveau des élèves français en mathématiques tend à baisser et le nombre d'élèves en difficulté dans cette discipline tend à augmenter[1]. Ce constat est inquiétant parce que la préparation des jeunes générations à la vie professionnelle requiert l'acquisition de compétences solides en mathématiques.

Des difficultés peu étudiées

Les chercheurs en psychologie travaillent depuis longtemps à la connaissance des mécanismes impliqués dans les apprentissages scolaires afin de concevoir des programmes d'aide aux enfants en difficulté. Toutefois, ces recherches ont globalement privilégié la lecture et l'écriture au détriment des mathématiques, peut-être en partie parce que les performances d'apprentissage des maths, contrairement à celles de la langue, paraissaient découler avant tout d'aptitudes innées[2] dont le manque semblait difficile à pallier.

Des travaux récents ont cependant mis en évidence l'importance considérable de l'acquisition précoce des nombres et du comptage dans la capacité ultérieure des enfants à effectuer des calculs et à résoudre des problèmes arithmétiques. Ils ont aussi souligné que certaines dimensions conatives (relatives à la volonté, à l'effort), comme l'intérêt des élèves pour les maths et leur sentiment de réussir ou d'échouer dans ce domaine, déterminaient au moins en partie leurs performances.

Si prévenir les difficultés d'apprentissage en mathématiques dès les premières années de la scolarité est ainsi devenu une nécessité reconnue, les outils permettant d'évaluer à ce stade les compétences et les dimensions conatives font pourtant encore défaut. C'est pourquoi notre équipe réalise actuellement une recherche[3] visant à valider de tels instruments auprès de 121 élèves suivis entre 5 et 8 ans.

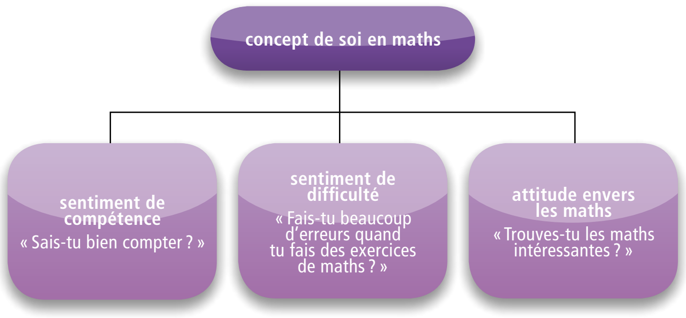
Un concept de soi en mathématiques

Un questionnaire a ainsi été élaboré pour mesurer le « concept de soi en mathématiques » chez les enfants, de la grande section de maternelle au CE1. Plus précisément et afin de rendre compte de l'existence de plusieurs facettes d'un tel concept (une pluralité encore souvent sous-estimée chez les jeunes enfants), trois de ces facettes ont été étudiées : l'attitude envers les maths, le sentiment de compétence et le sentiment de difficulté en maths (cf. figure 1). De plus, une batterie d'évaluations des compétences de base en mathématiques a été créée à partir des théories cognitivistes (portant sur l'acquisition des connaissances) récentes qui accordent une importance capitale à l'acquisition de la notion de nombre. Ces compétences sont en particulier la connaissance des nombres et de leur ordre, le dénombrement, la comparaison de nombres, le transcodage et la résolution de problèmes (cf. figure 2).

Ces deux outils ont permis de montrer que, dès l'âge de 5 ans et demi, les enfants qui se perçoivent en difficulté présentent des performances faibles en mathématiques. Ce résultat n'est pas trivial : il confirme l'hypothèse d'un lien étroit entre performances et sentiment de difficulté (la relation aux deux autres facettes du concept de soi paraît moins robuste) alors qu'on tendait auparavant à penser qu'un enfant n'était pas capable de développer très tôt un concept de soi négatif et conforme à ses performances réelles ; il est important parce que l'influence néfaste d'un concept de soi négatif sur la réussite scolaire ultérieure est aujourd'hui reconnue.

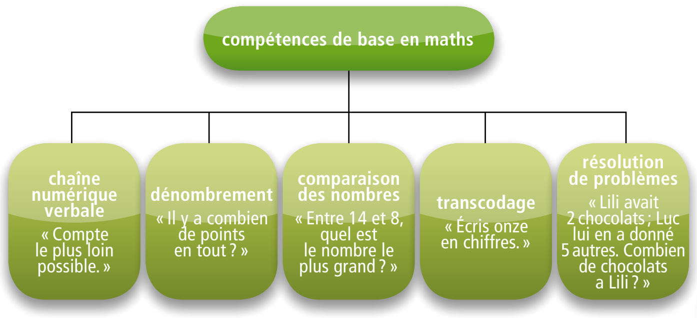
Disposer de tels outils d'évaluation paraît ainsi déterminant dans l'objectif de prévenir l'échec scolaire en rapport avec les mathématiques. Il est aujourd'hui établi que les actions préventives sont d'autant plus efficaces qu'elles ciblent la facette pour laquelle l'enfant présente un concept de soi négatif et de moindres savoir-faire. L'étape suivante sera donc de chercher à proposer aux professionnels de l'éducation des interventions propices à une dynamique positive et validées expérimentalement. Il pourrait être entrepris, par exemple, de préciser à l'enfant les causes d'échec contre lesquelles il est capable d'agir et, dans le même temps, de renforcer son concept de soi en lui soulignant ses compétences et en les mobilisant par une activité pédagogique ciblée •

1. Des références sont proposées sur www.tetes-chercheuses.fr
2. Lire aussi *La bosse des maths*, de J.-F. Bouhours, sur www.tetes-chercheuses.fr
3. dans le cadre du projet Ouforep financé par la Région Pays de la Loire. Cf. www.ouforep.fr



© RC2C. Source : LabÉCD

1. Évaluation du concept de soi en mathématiques



2. Évaluation des compétences de base en mathématiques

Maths, éducation et société

Opérations **africaines**

Peut-on calculer rapidement sans connaître l'écriture ?

Oui ! Pourtant, l'usage très répandu de nombres écrits invite à en douter, et même à penser que l'existence d'un système de numération présuppose l'écriture des nombres (hiéroglyphes en Égypte, caractères cunéiformes chez les Babyloniens ou alphabétiques chez les Grecs, tirets et points chez les Mayas, chiffres « arabes » d'origine hindoue...), outre l'utilisation d'une base, qui peut être par exemple décimale (relative à dix et sans doute associée aux doigts des mains), vigésimale (à vingt, peut-être liée aux doigts et aux orteils) comme chez les Mayas, sexagésimale (soixante) comme chez les Babyloniens, entre autres. S'il nous paraît naturel d'utiliser la base décimale, le système français de numération orale a pourtant conservé une part de numération vigésimale, comme dans « quatre-vingts », et une autre dite mixte, comme dans « soixante-dix » (6x10 + 10).

Lors d'un enseignement des maths au Mali, j'ai été intriguée par les performances en calcul mental d'adultes non scolarisés, qui surpassaient très souvent celles de leurs enfants scolarisés dans des opérations identiques mais écrites. Afin de comprendre comment, sans écriture des nombres et sans auxiliaire de calcul (cailloux, boulier, etc.), ces adultes pouvaient calculer aussi vite et sans erreur, j'ai mené une enquête dans deux populations de tradition orale (langue bambara) géographiquement distinctes : des paysans relativement isolés dans la région du Bélédougou et des commerçants d'une ville moyenne, Ségou.

Les paysans du Bélédougou emploient un système complexe qui décompose les nombres en multiples de 800, de 80 et de 20 ; en plus de formations additives et multiplicatives classiques, comme « vingt et un » (20 + 1) et « quatre cents » (4x100) en français, ils utilisent des formations soustractives : 35, par exemple, est conçu comme 40 – 5 ; ainsi 32 275 sera-t-il décomposé mentalement en 40x800 + 3x80 + (40 – 5). Comme c'est le système décimal qui est utilisé en ville, ils doivent non seulement connaître les deux systèmes mais aussi passer de l'un à l'autre, pour leurs impôts ou leur commerce. Les commerçants de Ségou, quant à eux, achètent des tissus au yard et les revendent au mètre. Cette activité requiert, elle aussi, des opérations peu simples : la conversion du yard en centimètres (91,5) impose de calculer avec des nombres décimaux (à virgule).

Ces pratiques ne sont pas exceptionnelles, et des systèmes oraux de numération, en Afrique, en Asie, recourent à des procédés encore plus complexes dont la maîtrise est propice à une certaine virtuosité. Des Biroms du Nigeria, par exemple, utilisent encore une base duodécimale pour décomposer les nombres en multiples de 12 et de 144. Mais nombre de ces systèmes ont été décimalisés sous l'influence occidentale ou arabe (via l'islam). Toutefois, dans le monde entier, à l'heure de « l'éducation pour tous », peu de commerçants non scolarisés confient leurs commerces à leurs enfants scolarisés. Les seconds font en effet, davantage que les premiers, des erreurs quantitativement grandes, notamment parce que la méthode écrite d'addition termine par les chiffres de gauche (et que le risque d'erreur croît avec l'avancement du calcul), à l'inverse du calcul mental traditionnel •

Dominique VELLARD, Maître de conférences à l'IUT de Nantes, chercheuse au centre François-Viète d'histoire des sciences et des techniques (Université de Nantes)

© www.ohazar.com

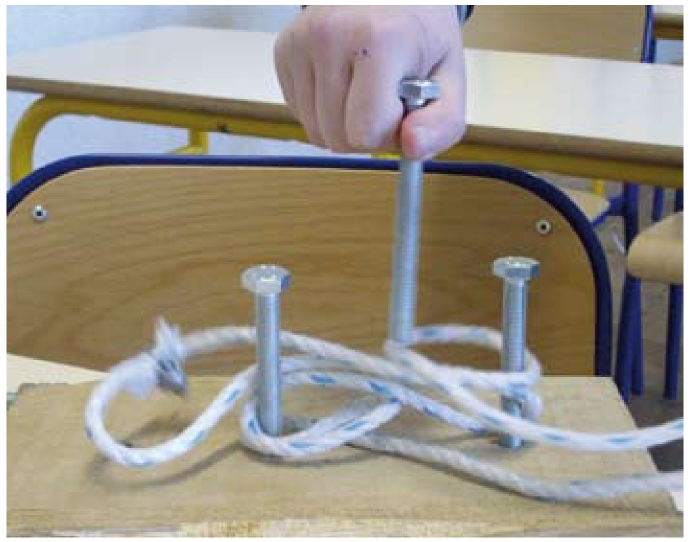
Un pied dans la recherche

« *La science est recherche, exploration, questionnement ; on l'apprend essentiellement en la faisant.* » (Noam Chomsky)

Soit une planche avec 4 trous dans lesquels on peut ficher des boulons en guise de patères. Est-il possible d'y enrouler une corde fermée de sorte qu'elle tienne accrochée une fois la planche fixée sur un mur mais qu'elle tombe dès qu'on enlève l'un des boulons ? Voilà l'une des questions que j'ai posées aux collégiens d'un atelier « MATh.en.JEANS »[1].

Pour résoudre ce problème « du porte-manteau de Paolo », les élèves prennent en main l'objet, attribuent une lettre (A, B, C, D) à chaque patère et simplifient le problème : « Et si on commençait avec deux boulons ? ». Ils trouvent des solutions, mais comment les expliquer aux autres ? Ils établissent une méthode pour noter le parcours de la corde... et le sens d'enroulement autour de chaque boulon : *A* ou *A'* pour la patère A, par exemple. Des solutions s'écrivent alors *ABA'B'*, *ABA'B'CBAB'A'C'*, etc.

Ce problème a été construit par Paolo Belligeri, spécialiste de topologie et de théorie des nœuds, quand il était en séjour dans notre laboratoire. Le mathématicien averti aura reconnu qu'il s'agit de travailler dans « le groupe fondamental du plan privé de points » et que les solutions sont liées aux « commutateurs » de ce groupe. Loin de ces concepts, certains élèves voient qu'une solution est une suite de lettres telle que la suppression de l'une d'elles, en faisant apparaître des couples *XX'* ou *X'X* (*X* désignant *A*, *B*, *C* ou *D*), entraîne la suppression de toutes les autres. En effet, *XX'*, qui correspond à un tour dans un sens suivi immédiatement d'un tour du même boulon dans l'autre sens, s'avère inopérant. Par exemple, *ABA'B'* est solution car si l'on ôte le boulon B, il reste *AA'*, qu'on peut supprimer. Les élèves trouvent alors des solutions que la corde trop courte ne permet pas de montrer. Ainsi peuvent-ils mieux saisir qu'abstraire un problème, l'écrire en termes algébriques, permet souvent de le simplifier, de le généraliser et de faciliter les démonstrations.



Thierry Baron

Créée en 1989, l'association MATh.en.JEANS[2] propose *« de mettre les jeunes aux prises avec d'authentiques problèmes, d'inverser la tendance courante de la classe de mathématiques et d'assigner à l'enseignant un rôle différent »*. Pour réaliser un tel atelier, il faut des enseignants enthousiastes[3], prêts à l'animer chaque semaine, des élèves prêts à faire des maths hors du cadre de leurs cours et un chercheur qui propose des sujets, encadre quelques séances puis aide les élèves notamment à préparer leur présentation orale. Deux classes travaillent sur les mêmes problèmes afin de pouvoir comparer leurs approches respectives.

Les sujets proposés ne sont pas des exercices dont l'enseignant a toujours la solution. Ils peuvent être ouverts, sans solution certaine ou unique, comme rechercher (avec succès, en l'occurrence) une stratégie gagnante dans le jeu de « la plaque de chocolat toxique »[4]. Les élèves vivent les trois temps de la recherche : chercher, rédiger et communiquer, une présentation finale étant effectuée devant tous les participants lors d'un colloque national (cette année à Grenoble).

Mélanie, élève de 3ème à Couëron, témoigne : *« On s'est sentis fiers quand des personnes de tous âges venues de toute la France nous applaudissaient à la fin de notre exposé [...] fiers quand elles nous écoutaient avec attention parler de ce que nous avons fait durant l'année [...] libres d'oser parler aux professeurs comme nous ne l'aurions sans doute jamais fait au collège. Et surtout, rire avec eux ! »* •

Colette ANNÉ, chargée de recherche CNRS au Laboratoire de mathématiques Jean-Leray (Université de Nantes/CNRS/École centrale de Nantes)

1. Cf. www.math.sciences.univ-nantes.fr/jeanleray/actualites/ateliers-maths-en-jeans-2009-2010
2. http://mathenjeans.free.fr/amej/accueil.htm
3. ici Julie Gastineau, Jean-Philippe Rouquès (collège de la Noë-Lambert à Nantes), Thierry Baron et Michel Billard (collège Paul-Langevin à Couëron)
4. Cf. www.tetes-chercheuses.fr

Une discipline citoyenne

© Getty Images/Kutay Tanir

Sondages, indicateurs, classements... Notre société est constamment analysée à grand renfort de chiffres, de pourcentages, de probabilités. Capables de nous aider à « maîtriser le hasard », les probabilités sont souvent mal interprétées et manipulées comme des certitudes. Les causes de la plupart des phénomènes qui nous entourent ne sont identifiables, en pratique, qu'en termes de probabilités, mais considérer avec prudence une estimation chiffrée en la replaçant dans son contexte résiste mal à notre besoin de déterminisme, qui nous conduit à désigner « le » responsable de tel ou tel fait et qui entraîne la circulation de nombreuses idées fausses.

Par exemple, les palmarès des meilleurs lycées ou hôpitaux de France sont souvent pris pour argent comptant. Or, d'une part, les incertitudes liées à l'évaluation permettent de former seulement trois ou quatre niveaux de qualité significativement différents, à l'intérieur desquels les différences entre établissements ne sont pas discernables ; d'autre part, il existe différentes façons d'évaluer, donc différents classements possibles. Quant aux hôpitaux, le taux de guérison rapporté à l'âge des patients a-t-il été pris en compte ? Pour les lycées, le mode de recrutement des élèves de seconde a-t-il été précisé ? Le classement ne vaut qu'en connaissance des critères choisis pour l'établir, au moment de l'enquête.

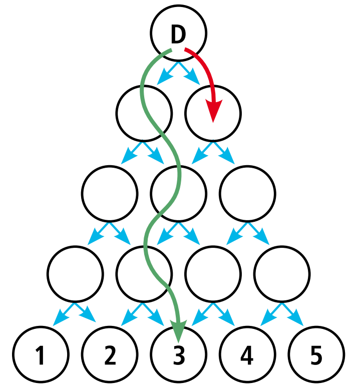
L'appréhension des statistiques et des probabilités est l'un des thèmes d'étude du GIS (groupement d'intérêt scientifique) « Climat, environnement, société » auquel je participe. Un travail d'observation y alimente notamment une réflexion sur les moyens de sensibilisation aux difficultés d'interprétation. C'est avec une démarche semblable que j'expérimente des jeux de probabilités auprès d'enfants, en collaboration avec des enseignants. Voici un exemple.

Partant d'une case D située au sommet d'un ensemble triangulaire de cases dessiné sur le sol (cf. ci-contre), chacun des cinq joueurs d'une équipe doit atteindre la case dont le numéro lui a été attribué au hasard (1, 2, 3, 4 ou 5). Pour ce faire, il choisit à chaque tour l'une des mains de l'animateur cachant l'indication « droite » ou « gauche » et avance d'une case selon la direction tirée au sort. Ceux qui parviennent à leur case rapportent cinq chocolats à leur équipe, mais il se peut qu'aucun n'y arrive.

Les probabilités de gain sont inéquitables : 1 chance sur 16 pour les joueurs J1 et J5 (qui doivent respectivement atteindre les cases 1 et 5) ; 4 sur 16 pour J2 et J4 ; 6 sur 16 pour J3. C'est pourquoi un joker permettant d'inverser le résultat d'un tirage est proposé à l'équipe, qui doit alors décider à qui l'attribuer. Spontanément, les enfants le donnent à l'un des plus défavorisés (J1 ou J5) afin de pallier l'injustice, mais dès qu'ils comprennent que ce choix augmente peu la probabilité de gain de J1 ou J5 (5/16), et donc la chance d'obtenir un chocolat, les enfants décident de le donner à J3, dont la probabilité de gain atteint alors 14/16. Lorsqu'on modifie le jeu en donnant les chocolats au joueur qui atteint sa cible et non plus à l'équipe, on observe que la plupart des enfants choisissent de confier le joker à J3 si celui-ci s'engage à partager les chocolats ; s'il ne tient pas sa promesse, l'équipe ne lui donnera plus jamais le joker.

Si je propose volontiers cette mise en situation ludique, c'est parce qu'elle fait appel au sens de la justice et de l'intérêt collectif tout en permettant d'attirer l'attention des jeunes sur le sens des calculs de probabilité •

François SAUVAGEOT, Maître de conférences hors-classe, professeur de mathématiques supérieures au lycée Clemenceau (Nantes)



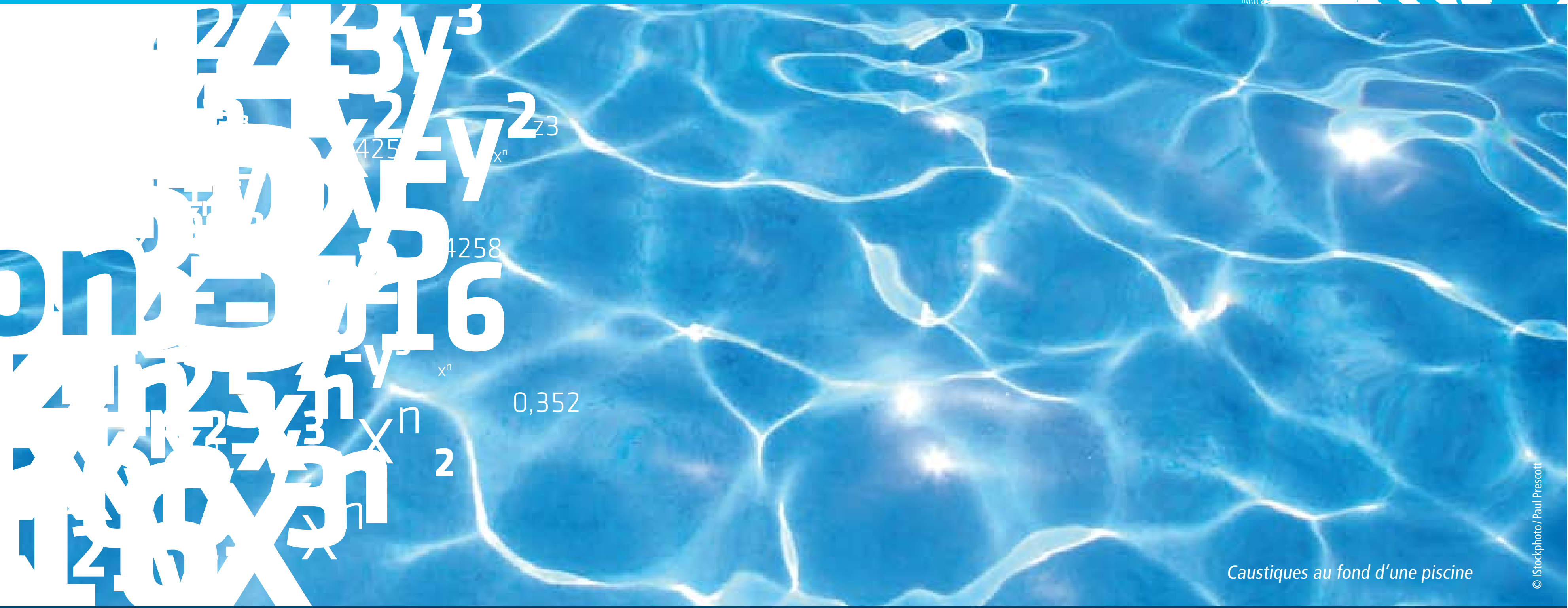
© RCJC, d'après F. Sauvageot

En vert, un parcours gagnant : le joueur n°3 tire les cartons « droite », « gauche », « droite », « gauche » et parvient à la case n°3. En rouge, un début de parcours perdant : le joueur n°1 tire le carton « gauche » au premier tour ; il ne peut plus atteindre la case n°1.

Dépasser l'intuition

Entretien avec
François LAUDENBACH
Professeur émérite, chercheur au Laboratoire de mathématiques Jean-Leray (Université de Nantes/CNRS/École centrale de Nantes), il a été successivement Professeur à l'Université Paris-Sud (Orsay), à l'ENS-Lyon, à l'École polytechnique dont il a dirigé le Centre de mathématiques (1994-2000), et à l'Université de Nantes.

propos recueillis par O.N.d.S.


Caustiques au fond d'une piscine

Que signifie « faire des maths » ?

François LAUDENBACH : Au travers de l'histoire des mathématiques et de la philosophie, on peut penser d'abord à la démarche consistant à mettre en formules les structures et les règles qui sous-tendraient l'Univers et ses phénomènes, ou tout au moins à se munir d'un ensemble d'outils permettant de décrire efficacement les phénomènes et de les prévoir. De mon point de vue, « faire des maths », c'est aussi exercer une activité intellectuelle qui structure la pensée et ouvre l'esprit.

Dans ma jeunesse, j'ai été séduit par le jeu de l'abstraction et du raisonnement logique, par les résultats puissants que les maths permettent d'obtenir. J'ai acquis rapidement le goût de faire partager ce que je comprenais. À l'École polytechnique, j'ai reçu l'enseignement de Laurent Schwartz. Ce grand mathématicien m'a fait prendre conscience de ma vision alors trop figée des maths, comme celle d'une boîte à outils à peu près complète. Or non seulement elles sont définitivement incomplètes, par essence même, mais elles offrent aussi un champ de problèmes, en partie hérités de l'histoire, auxquels s'attaquer est une aventure passionnante. Établir une propriété d'un objet géométrique, reformuler une théorie de façon plus simple ou élargir les conditions de validité d'un théorème sont en effet des sources d'intense satisfaction.

L'activité mathématique n'est pas réservée au chercheur : tout un chacun peut la pratiquer. Quand on apprend les mathématiques, on travaille aussi à son propre profit, on s'enrichit grâce à la démarche d'abstraction qui consiste à représenter symboliquement des objets. En effaçant l'inutile, cette représentation facilite le raisonnement et rend applicable son résultat à d'autres situations. Peu importe qu'une formule ou sa démonstration vue en cours ne serve ensuite jamais en pratique : ce cours offre en lui-même une expérience à sa propre logique ; il invite à ne pas s'en remettre au hasard ; il aide à distinguer une condition nécessaire d'une condition suffisante, à se préserver un peu plus des contradictions et des erreurs. Je rapproche volontiers les maths du droit, parce que le juriste doit aussi se confronter en permanence à des problèmes de logique et cheminer parmi des contradictions.

Sur l'importance de l'abstraction je raconte souvent ceci : un étudiant m'a dit un jour *« je ne peux pas m'attaquer à ce problème parce que je ne le vois pas »*. Chercher seulement la solution de ce qu'on « voit », est-ce vraiment utile ? Certes oui, pour transmettre à ceux qui ne « voient » pas, mais faire des maths, c'est surtout aller au-delà de l'intuition. Les maths commencent vraiment là où l'intuition lâche prise.

Doit-on distinguer différents types de mathématiques ?

F.L. : Oui. D'une part, on distingue les mathématiques fondamentales, dites parfois « pures », des mathématiques appliquées. À condition de ne pas mettre de hiérarchie, cette distinction a un sens. Il n'y a pas une unique façon de faire des maths.

En mathématiques fondamentales, il s'agit souvent de déterminer l'existence d'une solution ou le nombre de solutions d'un problème donné, de travailler sur des objets mal connus ou d'en inventer. Ces objets sont des ensembles, des formes géométriques, des fonctions, des équations… et l'on cherche à décrire leurs propriétés[1].

En mathématiques appliquées, les objets d'étude sont là devant nous, dans la nature, plus ou moins bien cernés, avec toute l'irrégularité ou la complexité qui font le propre des problèmes concrets. On cherche à utiliser des outils bien maîtrisés pour entreprendre des calculs inédits, pour développer des méthodes de calcul plus rapides ou plus précises.

C'est une erreur, parfois commise dans notre communauté même, de vouloir évaluer les activités de ces deux branches à la même aune. L'impact d'un « mathématicien appliqué » ne se mesure pas au nombre de ses théorèmes, mais à ses gains en temps de calcul, à la justesse de son évaluation d'un risque, etc.

D'autre part, il existe une multitude de thèmes qui sont distingués par la nature des objets manipulés : ensembles, nombres, processus, opérateurs… Disons par exemple deux mots des deux grands domaines que sont l'analyse et la géométrie. De façon schématique, l'analyse porte sur la connaissance des fonctions, qui, selon une vision classique, associent des valeurs à des variables, et sur la résolution précise d'équations (que celles-ci représentent ou non des phénomènes réels). La géométrie, quant à elle, est une approche plus descriptive, plus qualitative : elle s'attache à la forme des objets (que ces objets soient observables ou non dans la nature) en cherchant à déterminer leurs nombres d'intersections, d'angles, de trous, de bosses, de plis…

Il est passionnant que des chemins de traverse viennent néanmoins briser un découpage thématique trop cloisonné. C'est ce que fait, par exemple, la théorie des singularités (les points d'un objet qui ne ressemblent pas à leurs voisins). Cette théorie, qui concentre aujourd'hui de nombreuses recherches très actives, porte en effet sur des domaines aussi différents que la géométrie algébrique, les équations différentielles ou les caustiques en optique[2].

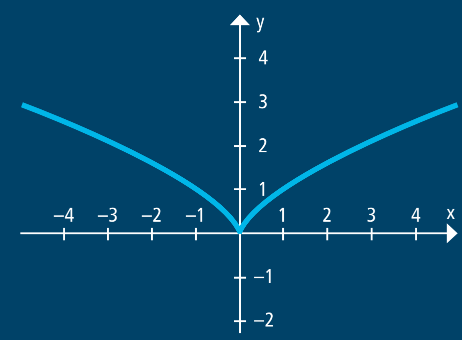
Pourquoi a-t-on besoin des mathématiciens ?

F.L. : Dans l'enseignement, il s'agit à la fois d'acquérir des méthodes utiles dans la vie quotidienne ou pour étudier d'autres disciplines, et de développer ses capacités d'abstraction, donc de raisonnement ; le « matheux » est ainsi bien placé pour défendre la raison contre l'obscurantisme et les préjugés. Dans les sciences et les techniques, il s'agit de maîtriser des outils de calcul et d'en développer de nouveaux. Faire des mathématiques est ainsi indispensable à l'innovation technologique.

À ces arguments j'ajoute quelques remarques. Il semble exister aujourd'hui un désintérêt pour les sciences, voire une défiance vis-à-vis d'elles, en particulier envers les mathématiques, sans doute parce qu'on les juge trop difficiles. Il est vrai qu'elles sont ardues et exigeantes, mais cela n'est pas nouveau. Il me semble aussi que le mathématicien est perçu comme étant rigide, sûr de lui, prétendant connaître le certain et l'impossible dans un monde pourtant peu maîtrisé, ponctué de catastrophes que certains avaient prétendu prévisibles en invoquant le progrès scientifique. Cette perception est mauvaise. Le bon mathématicien doute. Il doute quant à la validité de ses démonstrations. De fait, comme il n'écrit jamais tous les détails de son raisonnement, des erreurs ou des manques peuvent subsister entre les lignes, sans pour autant que le résultat final soit faux. Par exemple, la démonstration du fameux « grand théorème de Fermat »[3] publiée en 1993 comportait un « trou » (bouché depuis lors). Ainsi la vérité est-elle sujette à caution même en maths.

Avec la multitude des objets non encore décrits, des problèmes demeurant non résolus (ou mal résolus) et des questions apportées par d'autres disciplines comme la physique théorique, le champ des mathématiques et de ses applications inattendues[4] n'est pas en voie de rétrécissement. Enfin, que serait l'enseignement des maths sans la recherche ? Un ennui pour les enseignants, parce que sans les questions en suspens et leurs histoires respectives, sans nouveauté et sans possibilité d'avancées, leur motivation profonde s'éteindrait, et cet ennui, cette nécrose intellectuelle, gagnerait définitivement les bancs des universités comme ceux des écoles •

1. Cf. page 12, http://images.math.cnrs.fr et *Sous le polynôme, l'étrange*, de Lei Tan (Université d'Angers), sur www.tetes-chercheuses.fr
2. lieux d'accumulation de lumière, qu'on peut observer, par exemple, lorsque le rayonnement solaire traverse un verre ou l'eau d'une piscine. Autre exemple de singularité, en géométrie algébrique : les points « de rebroussement », tel celui du graphe de l'équation $x^2 - y^3 = 0$.
3. Si n est un entier strictement supérieur à 2, il n'existe pas de nombres x, y et z entiers non nuls tels que $x^n + y^n = z^n$.
Cf. www.math.jussieu.fr/~romagny/exposes/conference_fermat.pdf
4. Par exemple, les premiers procédés de cryptographie moderne ont été inventés à partir de questions en théorie des nombres qui paraissaient gratuites.
Un procédé datant du IXe siècle est présenté dans *Al-Kindi casse le code de César*, de Jean-François Bouhours, sur www.tetes-chercheuses.fr

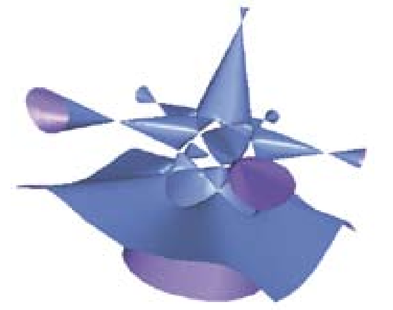


Graphe de $x^2 - y^3 = 0$

Explorateurs de formes

Des outils abstraits tels que les distances et les spectres facilitent la description de certains objets ou phénomènes.

★ par Laurent GUILLOPÉ, Professeur, directeur (2004-2010) du Laboratoire de mathématiques Jean-Leray (Université de Nantes/CNRS/École centrale de Nantes). www.math.sciences.univ-nantes.fr/jeanleray/



Quintique de Taglietti

Le plan, le cercle et la sphère sont des exemples d'espaces modèles où la distance entre deux points est définie simplement. De nombreux voyageurs maritimes ou aériens savent ainsi que la route la plus courte entre deux points du globe terrestre suit un arc de grand cercle.

La nature présente en général des espaces beaucoup moins réguliers : le géoïde[1], l'espace-temps de la relativité (où se propagent les signaux de nos GPS), les surfaces très plissées de certains nanomatériaux, etc. Comme les espaces modèles, ces formes peuvent être munies de distances (en tant que moyens de mesure) grâce auxquelles on détermine les chemins les plus courts, des aires, des volumes… et qui permettent ainsi de différencier et de classifier les espaces, d'évaluer la proximité de leurs parties, d'établir des propriétés diverses. Par exemple, la relation $L^2 \geq 4\pi A$ entre l'aire A d'un domaine et la longueur L de sa circonférence vaut pour les domaines du plan, alors que ceux de la sphère vérifient[2] $L^2 \geq (4\pi - A)A$ et que l'inégalité $L^2 \geq (4\pi + A)A$ s'applique à des surfaces dites hyperboliques[3].

Par ailleurs, l'étude des fonctions définies sur un espace donné apporte une meilleure compréhension de cet espace et de ses propriétés. Un théorème général établit en effet que connaître toutes les fonctions d'un espace équivaut à connaître cet espace. Dans les espaces où se produisent les phénomènes naturels, ces fonctions peuvent correspondre à des observables physiques : température, vitesse, fréquence de vibration, distribution de la probabilité de présence d'un électron, etc. Ces observables varient avec la position et le temps selon des lois décrites par des équations étudiées parfois depuis plusieurs siècles celles des ondes vibratoires (D'Alembert, 1747), de la chaleur (Fourier, 1811), des ondes quantiques (Schrödinger, 1925)…

Il existe des familles particulières de fonctions e_1, e_2, e_3… qui sont des briques élémentaires de description, dans le sens où toute fonction f de l'espace étudié en est une combinaison : $f = A_1 e_1 + A_2 e_2 + A_3 e_3 + \dots$, les facteurs A_n étant nommés « amplitudes ». Par exemple, la description de certaines ondes emploie les fonctions sinusoïdales $e_n(x) = \sin(\omega_n x)$, où l'ensemble des fréquences ω_1, ω_2, ω_3… constitue un « spectre ». La recherche en géométrie spectrale étudie les relations entre de telles décompositions et les propriétés géométriques. La connaissance de spectres (comme l'ensemble des fréquences ω_n dans l'exemple précédent), qui jouent le rôle de signatures caractéristiques des objets étudiés[4], permet de mieux appréhender la structure de ces objets en vue d'applications concrètes. C'est en particulier sur cette approche que sont fondés de nombreux procédés de reconnaissance de formes, notamment en imagerie[5] •

1. surface proche de celle de la mer sur laquelle l'attraction gravitationnelle terrestre subie par une masse donnée est constante
2. Il faut faire ici abstraction de la métrique euclidienne habituelle avec laquelle cette formule ne paraît pas homogène.
3. Elles servent à modéliser des milieux dans lesquels, typiquement, on observe des évolutions chaotiques.
4. Ainsi le spectre d'une lumière, un peu à l'image de l'arc-en-ciel pour celle du Soleil, caractérise cette lumière.
5. Cf. par exemple *Des images bien traitées*, page suivante, et http://images.math.cnrs.fr pour des compléments divers.

Vibrations en triangles

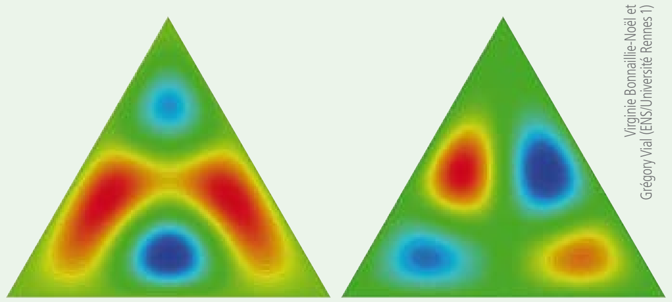
La géométrie spectrale trouve son origine dans la physique des phénomènes ondulatoires : vibrations sonores, ondes radio, lumière, etc. Dans de nombreux cas, le système physique considéré ne peut vibrer qu'à certaines fréquences dites propres et qui, en acoustique, caractérisent la hauteur du son entendu. Pour un système donné, il existe une infinité de fréquences propres, qui constituent le spectre du système. Dans le cas d'une corde vibrante, le spectre dépend de différents paramètres, dont la longueur de la corde. Il en est de même pour la membrane d'un tambour, dont la forme conditionne le spectre.

À chaque fréquence propre sont associés un ou plusieurs modes de vibration nommés modes propres. On peut visualiser les modes propres d'une membrane en la saupoudrant, par exemple de sel, avant de la faire vibrer. Aux fréquences propres, le sel s'accumule là où le déplacement vertical de la membrane est le plus faible, dessinant alors des figures de Chladni[1]. Le spectre est dit simple si à chaque fréquence propre ne correspond qu'un seul mode propre.

Avec Chris Judge (Université d'Indiana, USA), nous avons démontré que presque tous[2] les tambours triangulaires ont un spectre simple. Pour le mathématicien, ce résultat est « beau » parce que, outre la difficulté rencontrée pour l'établir, il est à la fois concis et général. Cependant, il ne donne aucun moyen de construire un triangle de spectre simple •

Luc HILLAIRET, Maître de conférences à l'Université de Nantes, chercheur au Laboratoire de mathématiques Jean-Leray (Université de Nantes/CNRS/ÉCN)

1. Ernst Chladni (1756-1827) est un physicien allemand célèbre pour ses représentations au cours desquelles il faisait vibrer des plaques saupoudrées de sable. Cf. http://fr.wikipedia.org/wiki/Ernst_Chladni
2. Par analogie, les nombres réels sont « presque tous » irrationnels : un réel choisi au hasard a très peu de chances de s'écrire comme une fraction de deux nombres entiers.



Représentation de deux modes propres du triangle équilatéral associés à la même fréquence propre

Des images **bien traitées**

Des outils mathématiques tels que les ondelettes permettent d'améliorer des traitements d'informations, en particulier celui d'images numérisées.

★ par Vincent RICORDEL, Maître de conférences à Polytech'Nantes (Université de Nantes), chercheur à l'Irccyn, Institut de recherche en communications et cybernétique de Nantes (Université de Nantes/École centrale de Nantes/École des mines de Nantes/CNRS), équipe « Image, vidéo, communication »

Nous avons presque tous déjà eu l'occasion de manipuler un système de géolocalisation tel que Google Maps ou Géoportail. Ce type de service disponible via Internet permet de visualiser des images aériennes, depuis l'échelle d'un continent jusqu'à celle d'une rue. Pour pouvoir « zoomer », il exploite la fonctionnalité de « graduabilité » ou « scalabilité » du système, définie comme la capacité de transporter, dans un seul flux de données binaires, plusieurs niveaux de qualité du signal. Quand ce signal contient les attributs de couleur ou les niveaux de gris des pixels d'une image, le flux comporte d'abord une couche de base dont le décodage permet un affichage avec une faible résolution, puis viennent des couches supplémentaires dont les décodages respectifs augmentent le niveau de détail de l'image affichée. C'est ainsi qu'il est possible à la fois de zoomer sans perdre en qualité graphique et d'éviter que le logiciel informatique utilisé traite toutes les données disponibles si cela n'est pas nécessaire.

L'opération lors de laquelle sont réalisées différentes couches de qualité d'une image est une « compression » (le standard de compression d'images le plus récent est JPEG2000), et la première opération effectuée sur les données d'une image pour en faire un flux graduable est la « transformation en ondelettes ».

La décomposition d'une image originale de 512x512 pixels (à gauche), réalisée sur un premier niveau de résolution, donne 4 imagettes de 256x256 pixels (à droite) : en haut à gauche, une imagette (A1) de résolution immédiatement inférieure ; en haut à droite (H1), les détails des contours horizontaux ; en bas à gauche (V1), les détails des contours verticaux ; en bas à droite (D1), les détails des contours diagonaux. H1, V1 et D1 représentent exactement les détails perdus lorsqu'on passe de l'image originale à A1. Il leur correspond des « coefficients d'ondelettes » ; plus un coefficient a une valeur élevée, plus le contour qu'il représente dans l'image originale est important (fort). En recombinant A1, H1, V1 et D1 par une transformation en ondelettes inverse, on peut reconstruire l'image originale.
Si l'on souhaitait obtenir la décomposition par transformation en ondelettes selon un deuxième niveau de résolution, il suffirait de réaliser une décomposition similaire sur l'imagette A1, pour obtenir des imagettes A2, H2, V2 et D2 de taille 128x128 pixels, et cetera.

Des grilles d'ondelettes

Au début du XIX[e] siècle, Joseph Fourier a inventé le principe de décomposition d'une fonction en une infinité de fonctions sinusoïdales élémentaires (cf. *Explorateurs de formes*). Cette « transformée de Fourier » permet de décrire tout signal comme une somme d'ondes : les fréquences, les phases et les amplitudes de ces ondes caractérisent le signal[1]. Cette représentation est cependant insuffisante pour décrire utilement des signaux comportant des changements brusques (par exemple, les forts contrastes d'une image, tels que les contours d'un objet photographié). Elle permet de repérer, avec une précision plus ou moins grande, les différentes valeurs d'intensité lumineuse et les couleurs qui existent dans une image mais pas de connaître leurs distributions spatiales, parce que les ondes élémentaires de Fourier sont définies sur l'espace tout entier.

En revanche, les ondelettes, inventées par Jean Morlet dans les années 1970, sont des objets mathématiques qui oscillent, comme les fonctions de Fourier, mais qui sont définies à un endroit précis de l'espace (sur un « support » dont la largeur est inversement proportionnelle à la fréquence d'oscillation). Elles permettent ainsi de décrire une image sur plusieurs niveaux de résolution tout en y localisant les changements. L'autre intérêt de leur emploi est de permettre de réduire la taille de l'information numérique manipulée (le nombre de bits) en la structurant (en particulier, si une zone ne présente pas de variation, l'information stockée ne portera que sur les bords de cette zone) et en éliminant les détails inutiles parce qu'ils ne seront pas visibles.

S'adapter à l'œil humain

Nos travaux portent notamment sur la façon d'utiliser, dans des algorithmes de traitement d'images, une transformation en ondelettes selon un procédé dit « de complexité faible », qui nécessite moins de calculs et d'espace en mémoire que les procédés déjà utilisés. Un type de procédé récemment obtenu, nommé « lifting », a ouvert la voie à l'utilisation d'une famille d'objets mathématiques, les « X-lettes », dont les ondelettes sont des cas particuliers, et qui peuvent être adaptés à une description d'image plus efficace qu'avec les ondelettes.

Par exemple et de façon privilégiée, nous cherchons actuellement à adapter la représentation des images par des X-lettes aux caractéristiques du système visuel humain. L'idée directrice est de mieux comprendre, en s'appuyant sur des données expérimentales, comment la perception visuelle humaine traite les détails des signaux perçus (comment elle favorise ou ignore certains contrastes ; quelle est sa sensibilité à l'orientation des contours…), puis de traduire ce traitement en termes d'X-lettes appropriées afin d'améliorer le rapport entre qualité perçue et rapidité d'exécution du traitement informatique •

1. Ainsi peut-on, par exemple, analyser le spectre d'une lumière, comme celle d'une étoile.

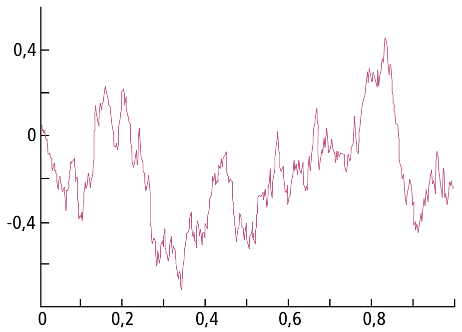
En complément...
http://fr.wikipedia.org (rechercher « ondelette », « compression par ondelettes » et « JPEG 2000 »)

Des aléas à prévoir

Nombre de phénomènes, comme l'évolution d'une population d'insectes ou la diffusion de particules solides dans un milieu liquide, sont difficiles à prévoir parce qu'ils dépendent de plusieurs facteurs de manière très sensible. Il est néanmoins possible, parfois, de connaître les évolutions les plus probables.

La théorie des probabilités concerne de vastes champs de recherche en mathématiques fondamentales qui se nourrissent souvent de questions soulevées par ses applications en physique, en biologie, en économie, etc. Les processus de Markov (PM) sont des objets essentiels et communs à la plupart de ces applications parce qu'ils sont adaptés à la description de nombreux phénomènes aléatoires (cf. *Mots de maths*). Contrairement aux fonctions plus classiques dites déterministes, un PM n'associe pas à une variable t une expression qui dépend de t de façon explicite ; de plus, l'évolution aléatoire ou « stochastique » de son graphe après t dépend uniquement de sa valeur en t. L'exemple le plus célèbre de PM est le mouvement brownien, dont les propriétés sont explorées depuis un siècle environ. Son graphe très perturbé est dit autosimilaire : son aspect général ne dépend pas de l'échelle à laquelle on le représente. Certains phénomènes chaotiques comme les mouvements des molécules de gaz ou ceux d'actifs financiers ont, dans une certaine mesure, une allure semblable ; c'est pourquoi ils sont modélisés par des mouvements browniens.

Pommes atteintes par la tavelure



Exemple de graphe d'un mouvement brownien

Préserver les pommiers

Les « processus de naissance et mort » constituent un autre exemple de PM couramment étudié, à la fois comme objet mathématique et pour ses applications. Ils servent en particulier à l'étude de la dynamique des populations[1]. Dans le cas où une population comporte n sous-populations en compétition les unes avec les autres, le processus généralement employé, nommé « processus de compétition », est un PM qui, à chaque valeur du temps t (chaque jour, par exemple), associe n valeurs $(X_1,\ldots,X_n)$, où X_i est l'effectif de la sous-population numéro i ($i = 1, 2\ldots$ ou n). À chaque instant, X_i peut croître ou diminuer de 1, rendant ainsi compte d'une naissance ou d'une mort. Des mutations peuvent aussi se produire : un individu de type i devient de type j (X_j augmente de 1 ; X_i diminue de 1).

Il est ainsi possible, par exemple, de mieux comprendre l'évolution des effectifs du champignon *Venturia inaequalis*, responsable de la tavelure du pommier, dans une exploitation horticole (à chaque variété de ce champignon, plus ou moins virulente pour les pommiers, correspond un effectif X_i). Dans la lutte contre la tavelure, il importe de connaître le « temps d'émergence » d'une variété virulente (moment à partir duquel la population de pommiers sera envahie de manière irrémédiable) ou, au contraire, de prévoir le temps d'extinction de cette variété. Ce problème a ouvert un nouveau champ d'investigations sur les processus de compétition. En particulier, nos travaux ont permis de déterminer la loi de probabilité du temps d'émergence. Comme application de ce résultat, il est possible de calculer la probabilité que l'émergence d'une variété donnée ait lieu après une date fixée et d'estimer ainsi la durée de résistance d'un pommier à cette variété.

En pratique, cette durée dépend de différents paramètres (caractères génétiques de résistance du pommier, effets de compétition et fréquences de mutation des variétés du champignon...). Notre collaboration avec une équipe angevine de biologistes[2], qui étudie ces paramètres, devrait ainsi permettre de sélectionner des variétés de pommiers et d'en créer de nouvelles dont la résistance globale à *Venturia inaequalis* sera accrue •

Loïc CHAUMONT, Professeur, chercheur au Larema, Laboratoire angevin de recherche en mathématiques (Université d'Angers/CNRS)

1. Le terme *dynamique* indique que l'évolution des effectifs étudiés dépend de ces mêmes effectifs.
2. équipe « Écologie évolutive de pathosystèmes fongiques », UMR « Pathologie végétale » (Inra Angers-Nantes/Agrocampus Ouest/Université d'Angers)

MOTS DE MATHS

déterministe : qui suit un principe « de cause à effet » et dont, de ce fait, l'évolution serait prédictible de façon certaine si les conditions initiales étaient toutes connues parfaitement

aléatoire ou **stochastique** : non prédictible certainement. Une **variable aléatoire** X désigne une variable dont l'évolution peut être décrite par une **loi de probabilité**. Une telle loi permet d'estimer, entre autres choses, la valeur moyenne de X et la probabilité que X ait une valeur dans un intervalle donné. Par exemple, les résultats d'un lancer de dé ou la position d'un électron suivent des lois de probabilité, alors que la loi de la gravitation newtonienne permet de faire des prédictions certaines (en théorie, sans tenir compte de l'incertitude sur les conditions initiales).

Gérer le risque financier

Les mathématiques financières visent à optimiser des dépenses sujettes à des pertes ou profits imprévisibles.

★ par Saïd HAMADÈNE, Professeur, chercheur au LMM, Laboratoire manceau de mathématiques (Université du Maine)

Les pêcheurs qui doivent acheter du gas-oil sont très exposés au risque de forte hausse du prix des carburants ; ils ont donc intérêt à souscrire une assurance contre ce risque. De même, quand une entreprise envisage d'acheter à terme un produit à l'étranger, elle se prémunit contre le risque de change monétaire. Aujourd'hui, dans notre société, il n'y a plus guère d'institution (État, entreprise, collectivité, etc.) qui ne prenne une décision cruciale sans démarche scientifique préalable consistant à évaluer, via des calculs de probabilité, les risques liés à cette décision puis à s'en protéger méthodiquement. À cet égard, les mathématiques financières (« maths-phi ») offrent des instruments de rationalisation des décisions économiques dont le rendement (le gain ou la perte qui en découle) est soumis à une part d'imprévu.

Des assurances en primes

À titre d'exemple, prenons le cas d'une entreprise européenne E qui possède des fonds en euros et qui, en juillet 2011, prévoit d'acheter en décembre 2011 une machine au Japon, en yens. La valeur de l'euro fluctue par rapport à celle du yen. Au 1er juillet, E sait combien de yens vaut un euro, par exemple 100 (ce rapport r est nommé parité). Si r baisse de 100 à 90 entre juillet et décembre, la machine coûtera à E davantage d'euros que prévu en juillet dans son budget ; c'est le risque de change. E prend donc une assurance contre une éventuelle chute de r : elle paie en juillet une prime P à un courtier qui lui garantit $r = 100$ en décembre.

En décembre, si un euro vaut moins de 100 yens, par exemple 90, E effectuera comme prévu la transaction auprès du courtier en lui achetant 100 yens pour chaque euro à dépenser, et c'est le courtier qui paiera le supplément S correspondant à 10 yens pour chaque euro dépensé par E. En revanche, si r est supérieur à 100, l'entreprise E achètera des yens directement sur le marché des devises pour acquérir sa machine ; elle aura ainsi dépensé moins d'euros que prévu en juillet. C'est là le principe de la plupart des « assurances risques ».

L'équité en calculs

Le rôle des maths-phi dans ce principe est de permettre d'évaluer équitablement la prime P. « Équitablement » signifie ici que pour une échéance donnée (5 mois, en l'occurrence) P ne doit pas être élevée au point de ne pas trouver preneur mais ne doit pas non plus être basse au point que le courtier soit presque certain de perdre de l'argent dans l'opération (S étant alors supérieur à P).

Cette évaluation requiert d'établir les lois de probabilité des pertes respectives de E et du courtier. Pour ce faire, on écrit un modèle sous forme de relation entre r, P et S, dans laquelle r est une variable aléatoire (cf. page 14) dont les variations avec le temps sont inconnues *a priori* mais dont l'irrégularité est néanmoins fixée en connaissance des variations de parité généralement observées. Cette relation est une « équation différentielle stochastique rétrograde dans le temps » (EDSR), dont on fixe la condition terminale (et non la condition initiale comme dans la plupart des problèmes modélisés par des équations différentielles) : en effet, le courtier cherche typiquement à obtenir une valeur de P en juillet à partir d'une somme S fixée qu'il aurait à débourser en décembre.

Nos travaux sur les EDSR consistent à améliorer les méthodes de résolution et surtout à élargir les cas d'application possibles. Dans le cas présent, en général le courtier investit P dans différents placements selon des critères auxquels correspond une « fonction d'utilité ». Cette fonction f_u exprime le rapport entre le niveau de risque de perte auquel le courtier consent et les chances de gain espéré[1]. Jusqu'à récemment, on savait résoudre l'EDSR correspondante seulement lorsque f_u était linéaire (cf. page 18), un cas très limité au regard des attitudes effectives face au risque financier. Nos travaux ont permis de prendre en compte un type d'attitude plus fréquent, pour lequel f_u présente des variations dites exponentielles.

Enfin, quant à l'impact des maths-phi, celles-ci ont été incriminées dans la crise financière de 2008, dite « des *subprimes* ». Certes, en tant qu'outils, il peut arriver que leurs applications soient perverties par ceux qui les utilisent, comme ont pu l'être celles d'autres disciplines scientifiques telles que la physique et la chimie. Veut-on pour autant arrêter la recherche et l'innovation dans ces disciplines ? Les avancées des maths-phi permettent de minimiser maintes dépenses, et d'autres domaines que celui des assurances en bénéficient, par exemple pour estimer la valeur d'un puits de pétrole ou celle d'un brevet d'exploitation. À ce titre, elles sont avant tout au service de la vie économique et sociale •

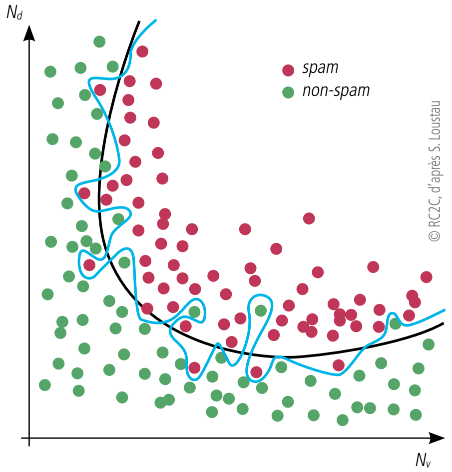
1. Cf. *Quand la finance s'emmêle*, *Têtes chercheuses* n°9.

Des machines à décider

Une machine peut-elle apprendre ? Oui, et les maths y sont pour quelque chose. La théorie de l'apprentissage aide à doter les ordinateurs d'une « intelligence artificielle » : une capacité de décision évoluant avec l'acquisition de données d'observation. Jouez à « pierre-papier-ciseaux »[1] contre un logiciel doté d'un algorithme (processus de traitement de données) d'apprentissage bien conçu, celui-ci va apprendre votre façon de jouer en y repérant un déséquilibre (il est en effet établi que personne n'est capable de jouer à ce jeu d'une manière totalement imprévisible). Ne vous entêtez pas : plus vous jouerez, plus vous perdrez !

Comment un algorithme apprend-il ? Considérons un programme voué à détecter des spams et dont la décision de classement d'un mail (spam ou non-spam) dépend seulement de deux variables : le nombre N_v de mots *viagra* présents dans le message et le nombre N_d de destinataires du mail. On lui fournit des « mails d'apprentissage » (MA) déjà étiquetés « spam » ou « non-spam » (il apprendra d'autant mieux qu'on lui en donnera un plus grand nombre). Il ajuste alors sa règle de décision en cherchant, parmi tous les classements possibles de ces MA, celui qui rend minimale la valeur du « risque pénalisé », somme d'un terme « de risque empirique » et d'un terme « de régularisation ». Le premier terme évalue l'ampleur des erreurs commises sur les MA (certaines étiquettes peuvent en effet déroger à la règle de l'algorithme) ; le second quantifie la complexité que peut atteindre sa règle de décision. La complexité traduit l'importance attribuée à chaque donnée d'apprentissage dans l'ajustement de la règle.

Dans le cas présent, une règle complexe peut consister à décider que si un MA donné a été exceptionnellement étiqueté « non-spam » malgré des valeurs N_v et N_d élevées, tout futur mail ayant des N_v et N_d très proches de celles de ce MA sera également classé « non-spam ».



Classement de mails en fonction du nombre N_v de mots viagra et du nombre N_d de destinataires.
La ligne bleue correspond à une règle de discrimination plus complexe que celle de la ligne noire. Elle compte moins d'erreurs (aucune, en l'occurrence) relatives aux données d'apprentissage mais n'est pas pour autant meilleure pour les futurs classements.

L'algorithme doit alors réaliser un compromis entre un excès de prudence envers les données (risque empirique trop élevé) et un excès de confiance (règle trop complexe). Sa règle sera raisonnable ou « consistante » si son risque d'erreur commise sur le classement des nouveaux mails diminue quand le nombre de MA augmente, se rapprochant ainsi de la meilleure règle possible (de risque minimal). L'ampleur de cette diminution traduit l'efficacité de l'apprentissage.

Le mathématicien cherche donc d'abord à établir la « vitesse de convergence » maximale du risque d'erreur vers le risque minimal[2], qui dépend du problème posé et notamment de la régularité des données à classer. Ensuite, il cherche à faire en sorte que l'algorithme atteigne effectivement cette vitesse d'apprentissage maximale. Pour cela, il faut bien choisir la valeur du « paramètre de lissage » L qui fixe le poids du terme de régularisation par rapport à celui du risque empirique (plus L est grand, moins la règle tient compte de l'irrégularité des données d'apprentissage). Grâce à des résultats de la théorie des probabilités et de la théorie de l'approximation, il est possible de choisir le paramètre L de manière optimale.

Cependant, ce choix nécessite souvent de faire des hypothèses préalables sur la régularité du phénomène à traiter, celle-ci étant en effet rarement connue. Mes recherches actuelles portent sur les moyens d'utiliser les données d'apprentissage pour choisir L de manière automatique et donc, finalement, de paramétrer de la façon la plus efficace possible différents types d'algorithmes de classification •

Sébastien LOUSTAU, Maître de conférences, chercheur au Larema, Laboratoire angevin de recherche en mathématiques (Université d'Angers/CNRS)

1. Cf. http://fr.wikipedia.org/wiki/Pierre-feuille-ciseaux
2. Par exemple, soient d = (risque d'erreur – risque minimal), noté d_1 pour un algorithme A_1, d_2 pour un algorithme A_2, et n le nombre de données d'apprentissage. Si d_1 est proportionnel à $1/n$ et d_2 à $1/\sqrt{n}$, alors d_1 tend plus vite vers 0 que d_2 quand n croît. A_1 peut donc apprendre plus rapidement que A_2.

Robots sous contrôle

Les ordinateurs calculent-ils « sans se tromper » ? Non, car ils sont incapables de représenter exactement un nombre quelconque dans leur mémoire. Par exemple, le nombre π n'est stocké qu'avec quelques chiffres après la virgule alors qu'il en possède une infinité. Ainsi, le plus souvent, des erreurs d'approximation s'accumulent lors d'une suite d'opérations sur des nombres réels, pour aboutir à un résultat plus ou moins erroné (un problème sans doute à l'origine du crash de la première fusée Ariane V).

Pour limiter ces erreurs, des méthodes de « calcul par intervalles » ont vu le jour dans les années 1950. Elles consistent à manipuler, plutôt que des nombres, des intervalles dont les bornes sont parfaitement représentables dans l'ordinateur. Par exemple, pour effectuer des opérations avec π, on peut représenter celui-ci par l'intervalle [3,1415 ; 3,1416], qui contient π. Le calcul du périmètre d'un cercle de rayon 1 donne alors [6,283 ; 6,2832], qui contient nécessairement le résultat exact (2π). On parle alors de « calcul garanti ».

Nous utilisons le calcul par intervalles pour résoudre des problèmes qui se posent notamment en robotique. À titre d'illustration, considérons un robot ayant un bras constitué de deux segments articulés. Le premier segment fait un angle α avec l'horizontale ; le second fait un angle β avec le premier (cf. figure 1).

Piloter ce robot consiste à déplacer l'extrémité E du bras d'une position (x_1, y_1), en coordonnées cartésiennes, à une position (x_2, y_2). Pour ce faire, la commande fait varier α et β, nommés « degrés de liberté ». Une question qui se pose est de savoir si la façon de modifier (α, β) pour réaliser le déplacement visé est unique ou non ; dans le cas présent, elle ne l'est pas (cf. figures 2a et 2b).

Si l'on écrit les coordonnées (x, y) comme une fonction f de (α, β), l'unicité d'une trajectoire dans l'ensemble des (α, β), nommé « espace des configurations », nécessite que f soit injective, c'est-à-dire qu'à tout couple (x, y) repérant E corresponde un unique couple (α, β). Cette question est importante parce que la non-injectivité de f est parfois source de complications pratiques pour l'opérateur, ou au contraire d'intérêt, comme de pouvoir satisfaire à un critère donné (choisir la commande qui va minimiser la consommation d'énergie du robot, par exemple).

Il est rarement possible de démontrer algébriquement (« à la main ») toute propriété d'une fonction f associée à un robot donné (qui peut avoir plus de 2 degrés de liberté), telle que l'injectivité, et il ne l'est jamais par un calcul numérique classique à cause des erreurs d'approximation sur les valeurs de f et parce qu'il y aurait une infinité de points à tester un par un. Le calcul numérique par intervalles le permet davantage, en manipulant un nombre fini d'ensembles de points et en s'affranchissant de telles erreurs. En cas de succès, il devient possible de lister, avec certitude et parfois de façon exhaustive, des ensembles de commandes qui permettent de réaliser un déplacement souhaité, d'éviter un obstacle, ou qui aboutissent à une impasse •

Nicolas DELANOUE et Sébastien LAGRANGE, Maîtres de conférences, chercheurs au Lisa, Laboratoire d'ingénierie des systèmes automatisés (Institut des sciences et techniques de l'ingénieur de l'Université d'Angers)

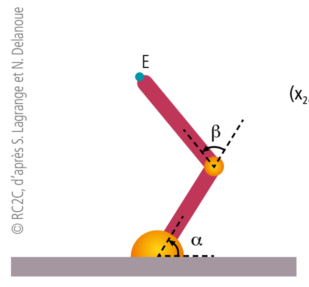


figure 1

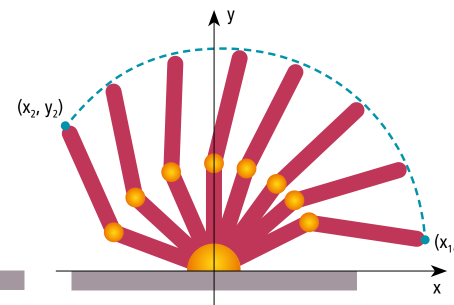
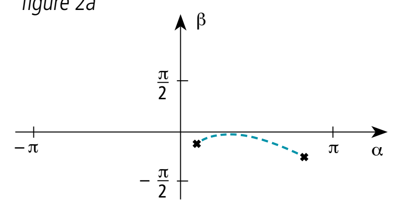


figure 2a



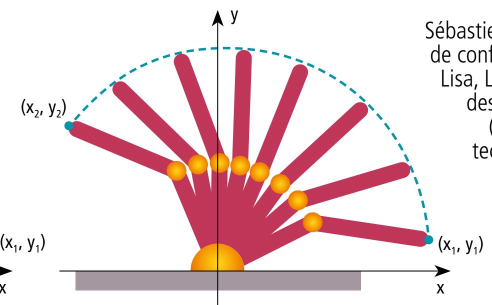
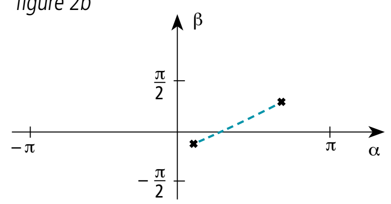


figure 2b



Exemple de deux commandes distinctes qui réalisent un même déplacement de l'extrémité d'un bras articulé ▸▸

Jeux de **projections**

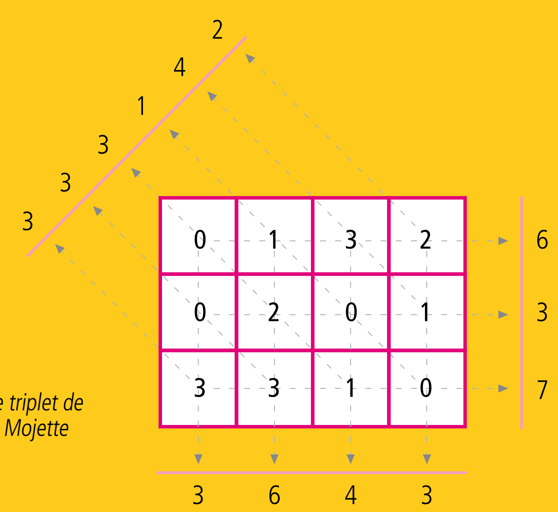
Soit une grille de nombres dont on connaît seulement des sommes selon des lignes, des colonnes et des diagonales. Dans certains cas, il est possible de trouver tous les nombres de la grille. Tel est le principe de base de l'imagerie par scanner (tomodensimétrie). En effet, un scanner X mesure des taux d'absorption, par le corps, de rayons X selon différentes lignes de visée (schématiquement, ces valeurs correspondraient aux sommes évoquées précédemment) et l'on produit avec ces données des images de l'intérieur du corps (dont les niveaux de gris des pixels correspondraient aux nombres de la grille).

Produire une image 2D avec les données 1D d'un scanner, comme réaliser une image 3D à partir de vues en 2D, est cependant un problème plus complexe. Pour le résoudre, on s'appuie sur la « transformée de Radon » (R) selon laquelle les données disponibles sont des éléments de différentes projections de l'image à reconstituer. Ce procédé mathématique élaboré dans les années 1910 par l'Autrichien Johann Radon est resté dans l'ombre pendant plusieurs décennies avant d'être utilisé dans la plupart des techniques d'imagerie, en astronomie, en médecine, en sismologie, en surveillance vidéo, etc. Il consiste à trouver la transformée inverse de R (notée R^{-1}), or reconstituer ainsi parfaitement une image projetée nécessiterait, en théorie, de disposer d'une infinité de projections. Le travail des spécialistes de traitement d'images consiste donc, pour chaque nouvelle technique, à trouver une approximation de R^{-1} suffisante pour obtenir la précision requise.

Les travaux de Radon nous ont inspiré la transformée Mojette (M), une variante simple de R dont les projections sont des additions ou des soustractions des nombres d'une grille selon les lignes, les colonnes ou en biais (pas forcément en diagonale). En utilisant seulement l'addition, on retrouve le problème évoqué au début de ce texte (et celui du jeu Mojette™ proposé page 21). Trouver la solution, c'est trouver M^{-1} exactement, et il est possible d'élaborer des algorithmes qui permettent de faire cela automatiquement, y compris pour des grilles ayant plus de 2 dimensions. Ces algorithmes s'appuient sur des théorèmes qui permettent parfois de connaître, pour un type de grille donné, le nombre de projections nécessaire à l'existence d'une solution, ou les conditions auxquelles la solution sera unique.

Les applications de M ne concernent pas seulement l'imagerie. Par exemple, supposons que la grille comporte les valeurs d'un fichier numérique (telles que les codes Ascii des caractères) que vous voulez stocker en sécurité. Au lieu d'enregistrer ce fichier de façon lisible par tous sur un disque dur qui peut être détruit, on peut stocker les données de trois projections Mojette chez autant de prestataires de service différents. Aucun d'entre eux ne pourra savoir ce que vous avez mis en sûreté ; seule votre connaissance des projections utilisées permettra de reconstituer le fichier original. De plus, on peut calculer et stocker une quatrième projection de sorte que, si l'une des trois premières est perdue, vous pourrez toujours reconstituer votre fichier •

Jeanpierre GUÉDON, Professeur à Polytech' (école d'ingénieurs de l'Université de Nantes), chercheur à l'Irccyn (Université de Nantes/École centrale de Nantes/École des mines de Nantes/CNRS)



Exemple de triplet de projections Mojette

Simuler vite et bien

Retracer la formation de l'Univers, optimiser l'irradiation d'une région du corps en radiothérapie, prévoir les vagues d'un tsunami ou la résistance d'une aile d'avion sont autant de problèmes qui peuvent être décrits par des équations, mais celles-ci sont complexes et l'on ne sait pas trouver à la main leurs solutions exactes. Le « calcul scientifique » (numérique) cherche à construire des algorithmes permettant d'obtenir, grâce à l'ordinateur, des approximations suffisantes pour les besoins pratiques.

À titre d'exemple, l'une de nos recherches actuelles trouve une application dans la compréhension de la propagation du « potentiel d'action cardiaque », une modification de l'état des cellules cardiaques responsable des contractions du myocarde et à laquelle correspond une variation du potentiel électrique mesuré sur le thorax par électrocardiogramme (ECG). Il s'agit de simuler les phénomènes électrophysiologiques de façon efficace, c'est-à-dire suffisamment précise et rapide à la fois, tout en sachant qu'une grande précision est gourmande en temps de calcul.

Une première étape consiste à modéliser (mettre en équations) le fonctionnement des cellules tel que le biologiste le connaît. Le mathématicien effectue ensuite une « homogénéisation » qui vise, grâce à des théorèmes et des techniques éprouvées, à modifier les équations afin de décrire le fonctionnement électrique global du cœur et non plus celui de chacune des milliards de cellules cardiaques (cela serait inefficace même avec les ordinateurs les plus puissants). Nombreuses sont alors les hypothèses à faire et les difficultés à surmonter, par exemple pour traiter le passage du potentiel d'action entre un réseau de fibres « de conduction rapide », représentées avec une seule dimension, et le muscle cardiaque qui, lui, a trois dimensions. La collaboration du biologiste et du mathématicien est nécessaire pour conserver une formulation à la fois adaptée au calcul et correcte d'un point de vue biologique.

La pertinence du modèle dépendra finalement de celle des équations initiales, de celle de leurs transformations et de celle des valeurs choisies pour leurs paramètres.

Des millions d'équations

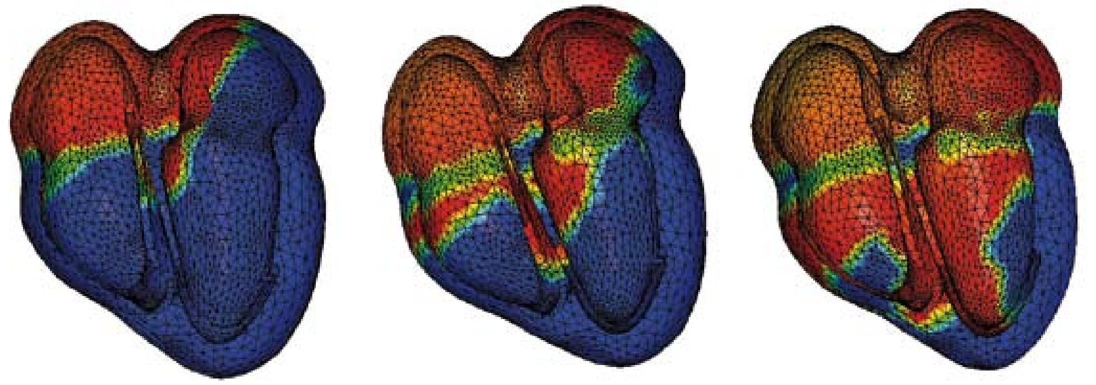
Le phénomène étudié est maintenant décrit par des équations dont le calcul de solutions approchées est d'autant plus délicat que ces équations sont non linéaires, les erreurs commises étant alors plus difficiles à connaître et à limiter que dans un cas linéaire[1]. Leurs variables sont le potentiel d'action et l'ECG, deux fonctions de l'espace et du temps. Dans un ordinateur, on les représente par un nombre fini de valeurs sur un « maillage » du cœur et du thorax, une partition constituée de plusieurs millions de polyèdres. À chaque fraction de seconde, chacune de ces valeurs est recalculée en fonction des valeurs des mailles voisines. Il existe différentes façons de définir et d'utiliser ces polyèdres ; une partie de notre travail a consisté à en trouver une qui soit bien adaptée aux équations.

Le modèle original est ainsi transformé en un système discret[1] d'équations très nombreuses, nommé « schéma numérique ». Il s'agit alors de vérifier, grâce à des outils mathématiques, les qualités de ce schéma : précision, stabilité dans le temps, respect de certaines quantités (par exemple, les concentrations en ions doivent rester positives), etc. Une dernière étape consiste à programmer, pour ce schéma, une résolution qui minimise les erreurs d'arrondi et le temps ou « coût » du calcul ; d'autres techniques mathématiques sont utilisées pour ce faire. Enfin, des techniques informatiques « de calcul parallèle » permettent de répartir les opérations sur plusieurs processeurs.

Après sa validation, qui consiste à simuler correctement des situations bien connues, le code de calcul résultant nous a récemment permis de confirmer l'hypothèse de nos collègues de l'Institut du thorax[2] sur la responsabilité d'une mutation génétique dans un ECG présentant un profil anormal. Ce code reste néanmoins en évolution constante pour intégrer des modèles physiologiques plus réalistes et des méthodes de calcul plus efficaces •

Christophe BERTHON, Yves COUDIÈRE et Rodolphe TURPAULT, respectivement Professeur et Maîtres de conférences à l'Université de Nantes, chercheurs au Laboratoire de mathématiques Jean-Leray (Université de Nantes/CNRS/École centrale de Nantes)

1. Cf. le glossaire ci-dessous.
2. unité mixte de recherche 915 (Inserm/Université de Nantes)



LMJL UMR 6629

Maillage 3D de polyèdres triangulaires pour le calcul des variations du potentiel d'action cardiaque (représenté en couleurs à trois instants différents)

MOTS DE MATHS

linéaire : dont les variables s'ajoutent les unes aux autres avec des coefficients constants. Par exemple, soient deux variables x et y. L'expression $y+2x$ est linéaire ; $2x/y$ et x^2-y^3 ne le sont pas. Dans une équation linéaire $ax=b$, l'inconnue x dépend proportionnellement des données a et b. Un phénomène est linéaire s'il varie dans la même proportion qu'une variation des données initiales.

discret (s'oppose à **continu**) : qualifie un ensemble dont les éléments sont dénombrables (on peut les numéroter), tel celui des nombres entiers ou rationnels mais pas celui des nombres réels. Un système d'équations discret est, typiquement, un système dans lequel les variables d'espace et de temps n'ont qu'un ensemble dénombrable de valeurs possibles.

Au-delà de l'entendement

© www.ohazar.com

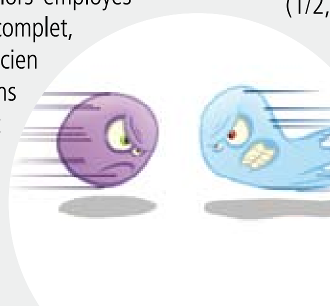
Mathématiciens et physiciens ne sont pas toujours « sur la même longueur d'onde » mais il arrive que de grandes avancées naissent de leurs échanges.

★ par Éric PATUREL et Didier ROBERT, respectivement Maître de conférences et Professeur, chercheurs au Laboratoire de mathématiques Jean-Leray (Université de Nantes/CNRS/École centrale de Nantes)

L'astronome Kepler utilisa l'ellipse pour décrire les trajectoires des planètes ; Galilée exprima mathématiquement la chute des corps ; Newton, autre physicien, inventa le calcul différentiel (incluant la notion de dérivée abordée aujourd'hui au lycée) pour décrire les mouvements...

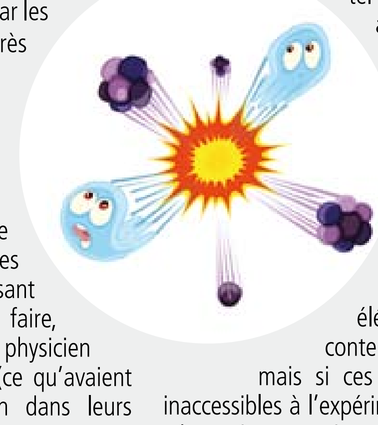
Aujourd'hui maths et physique ne sont plus autant entremêlées qu'aux XVIIe et XVIIIe siècles car les mathématiciens ont développé depuis lors des concepts portant bien au-delà de la description des phénomènes naturels. À leurs yeux, les inventions mathématiques des physiciens, telles les ondes de la mécanique ou de l'optique, sont des objets abstraits parmi d'autres, à comprendre au sein de théories générales. Ainsi, au XXe siècle, le nouveau genre de fonctions utilisé par les physiciens Heaviside et Dirac a permis au mathématicien Laurent Schwartz de concevoir la théorie des distributions, dont les fonctions ne sont que des cas particuliers. Il arrive aussi, inversement, que les maths jouent un rôle précurseur en physique. Einstein, par exemple, n'aurait pas pu écrire la théorie de la relativité générale (où l'espace et le temps apparaissent comme courbés par les masses) sans les géométries non euclidiennes développées par Riemann 60 ans plus tôt et dans lesquelles les distances ne sont pas mesurées par des segments toujours rectilignes.

Les nouveaux outils des physiciens, par exemple ceux dédiés à la description des trous noirs, ont souvent des propriétés énigmatiques pour les mathématiciens car ils sont alors employés dans un cadre théorique incomplet, voire incohérent. Le mathématicien qui s'y intéresse néanmoins contribue à mettre au point de nouvelles mathématiques (sans pour autant « faire de la physique » !). Notre équipe travaille ainsi sur la mécanique quantique, inventée dans les années 1920 par Schrödinger et Dirac pour décrire les comportements probabilistes (cf. page 14) de la matière à une échelle subatomique. Le fait que les mécaniques quantique (MQ) et classique (MC) ne sont utilisables qu'à des échelles respectives différentes peut être vu comme une faiblesse théorique. Il s'agit donc de savoir comment les formulations de la MC peuvent être des limites (au sens mathématique) de celles de la MQ si l'on fait tendre vers 0 la constante de Planck h, une constante fondamentale mesurée par les physiciens et qui a une valeur très faible ($6,6\times10^{-34}$ J s). Ce travail progresse mais rencontre de grandes difficultés car les deux formalismes à relier sont très différents.



Des « fantômes supersymétriques »

Un objectif majeur de la physique fondamentale consiste à caractériser toutes les particules de façon cohérente en établissant des liens entre elles. Pour ce faire, dans les années 1930, le physicien Wigner a utilisé des symétries (ce qu'avaient déjà fait Lorentz puis Einstein dans leurs théories relativistes). Grâce à ces opérations mathématiques, il a été possible de mieux rendre compte de la propriété de « spin » (qui, en quelque sorte, caractérise la rotation de la particule sur elle-même) introduite par Pauli et dont les valeurs sont demi-entières (1/2, –1/2, 3/2...) dans la famille des fermions (électron, quark, etc.) et entières (0, 1, 2...) chez les bosons (photon, gluon, etc.). Au début des années 60, d'autres physiciens ont défini une transformation nommée supersymétrie qui associe[1] bosons et fermions malgré leurs natures considérées comme très différentes. La réalité physique de cette supersymétrie n'a encore jamais été prouvée expérimentalement. Les physiciens font néanmoins l'hypothèse que l'Univers a perdu son « état supersymétrique » (on parle de « brisure de symétrie ») une fraction de seconde après le Big Bang et qu'un indice tangible de son existence pourrait apparaître lors de collisions de très haute énergie produites dans l'accélérateur LHC du Cern à Genève[2].



L'une des questions que les physiciens se posent au sujet de la supersymétrie a été étudiée par l'un de nous avec Andrei Smilga[3]. Dans les modèles supersymétriques actuels, les valeurs de l'énergie sont toujours positives, mais en existe-t-il un dans lequel l'énergie peut être parfois négative ? Bien qu'on ne sache pas interpréter physiquement un tel cas, cette question nous a conduits à bâtir une théorie dans laquelle apparaissent ce que nous nommons des « fantômes », sortes de particules d'énergie négative. Pour paraphraser Dirac, cette théorie nous semble trop élégante pour ne pas contenir une part de réalité, mais si ces fantômes demeuraient inaccessibles à l'expérimentation, ils pourraient néanmoins constituer une notion utile au physicien. Par analogie, l'invention des nombres complexes (dont le nombre « imaginaire » i défini par $i^2=-1$) a pu paraître insensée à certains ; elle a pourtant donné lieu à des méthodes de calcul puissantes ! •

1. De façon semblable, une symétrie par rapport à une droite lie deux points situés de part et d'autre et à distances égales de cette droite. Cf. www.diffusion.ens.fr/vip/tableI01.html
2. Cf. *Des collisions sans précédent, Têtes chercheuses* n°14.
3. chercheur au laboratoire Subatech (École des mines de Nantes/CNRS/Université de Nantes)

Il y a 50 ans...

La bataille de la pilule

L'usage de la contraception chimique, apparu en 1960, s'est développé en France dans un paysage politique qui lui était largement hostile.

★ par Christine BARD, Professeure à l'Université d'Angers, chercheuse au Cerhio, Centre de recherche historique de l'Ouest (CNRS/universités d'Angers, Rennes 2 et Bretagne-Sud)

Le mouvement du planning familial n'a pas attendu 1960 et la commercialisation, aux États-Unis, de la pilule du Docteur Gregory Pincus pour réclamer le contrôle des naissances. Son appellation anglo-saxonne, *Birth Control*, prit alors en France une allure moderne, scientifique, pouvant aider à s'attaquer au drame des avortements clandestins, mais cet objectif restait difficile à défendre car la loi de 1920 interdisait la contraception (sauf le préservatif, surtout utilisé dans les maisons closes contre les maladies vénériennes) et réprimait tout acte ou discours attentatoire à la natalité. Dans la France exsangue de l'après-guerre, une majorité politique avait réclamé des mesures drastiques contre la baisse démographique, perçue comme un déclin national ; les Néomalthusiens, ces premiers militants du droit à la contraception, avaient subi une véritable répression, à l'image de leur chef de file, Eugène Humbert, condamné en 1921 à cinq ans de prison notamment pour propagande antinataliste.

En 1956, alors que le baby-boom rassure les partisans de la « grandeur nationale », naît Maternité heureuse, une association prônant la « régulation des naissances ». Elle prend le nom de Mouvement français pour le planning familial (MFPF) en 1960. Sa fondatrice, la gynécologue Marie-Andrée Lagroua Weill-Hallé, s'entoure de médecins qui veulent faire évoluer la position de leur ordre. Ce milieu favorable à la contraception, soutenu par la franc-maçonnerie, s'appuie sur une vision laïque de la société. L'Église catholique, de son côté, continue de s'opposer à toute sexualité non vouée à la procréation ; nombre de femmes catholiques s'éloignent alors d'elle.

L'opinion est divisée, en France comme ailleurs, à propos de la contraception, et plus encore au sujet de « la pilule ». Cette nouveauté suscite la controverse (Fait-elle grossir ? Rend-elle stérile ? Donne-t-elle le cancer ?) mais bénéficie d'une apparente simplicité comparée au stérilet apparu à la même époque. Les contraceptifs chimiques circulent clandestinement en France, tandis que la campagne du MFPF se renforce avec des partisans prestigieux tels les prix Nobel de biologie Jacques Monod, André Lwoff et François Jacob, qui déclarent en 1965 : *« Du fait de l'évolution scientifique et technique, les lois qui régissent les relations entre les hommes ne peuvent plus être fondées sur une éthique datant de plus de vingt siècles. L'une des valeurs fondamentales d'une société moderne évoluée, c'est la liberté de l'individu dans le cadre des lois. Une telle société ne peut admettre que la femme demeure l'esclave de principes périmés. »*

L'une des plus anciennes affiches du Planning familial (Guy Georget, 1966)

De convictions intimes aux lois

Grâce à des députés comme le gaulliste Lucien Neuwirth, impressionné par la liberté des jeunes Londoniennes, le Parlement légalise la contraception en 1967, sous certaines conditions (autorisation parentale pour les mineures, interdiction de la publicité). Mais de nombreuses résistances s'expriment encore (les hommes perdront « la fière conscience de leur virilité féconde » ; la pilule « dénature la femme »...) et il faut attendre 4 ans pour que les décrets d'application rendent la loi effective. En 1974, tandis que Simone Veil vient d'être nommée ministre de la Santé, le remboursement de la contraception par la Sécurité sociale ainsi que la gratuité et l'anonymat pour les mineures sont décidés. L'usage de la pilule se généralise rapidement : 92 % des Françaises nées dans les années 60 l'ont utilisée.

L'argument de la prévention des avortements avait fait basculer certains conservateurs en faveur de cette légalisation, mais l'expérience en montre les limites. Après Mai 1968, le MLF, un mouvement féministe plus radical que le MFPF, prend son essor avec des slogans tels que « Un enfant si je veux, quand je veux » et « Avortement libre et gratuit ». En 1975, Simone Veil parvient à faire adopter une loi autorisant provisoirement l'interruption volontaire de grossesse.

Avec la pilule, les femmes gagnent la maîtrise de leur fécondité : auparavant, l'évitement de la grossesse dépendait le plus souvent de la volonté et de l'habileté de leurs partenaires. Cette liberté inédite, qui s'accompagne d'une médicalisation allant des premières règles jusqu'à la ménopause, est ressentie comme une révolution.

L'histoire de ce bouleversement reste un chantier de recherches, en particulier quant à ses actrices et ses acteurs, et aux raisons de leurs engagements. Elle nécessite le recueil, la préservation et l'examen d'archives nombreuses. L'Université d'Angers dispose d'un atout en la matière : le Centre des archives du féminisme où sont consultables, entre autres, les fonds Pierre Simon, président du collège des médecins du Planning familial dans les années 60, et Suzanne Képès, médecin elle aussi et militante féministe très active[1] •

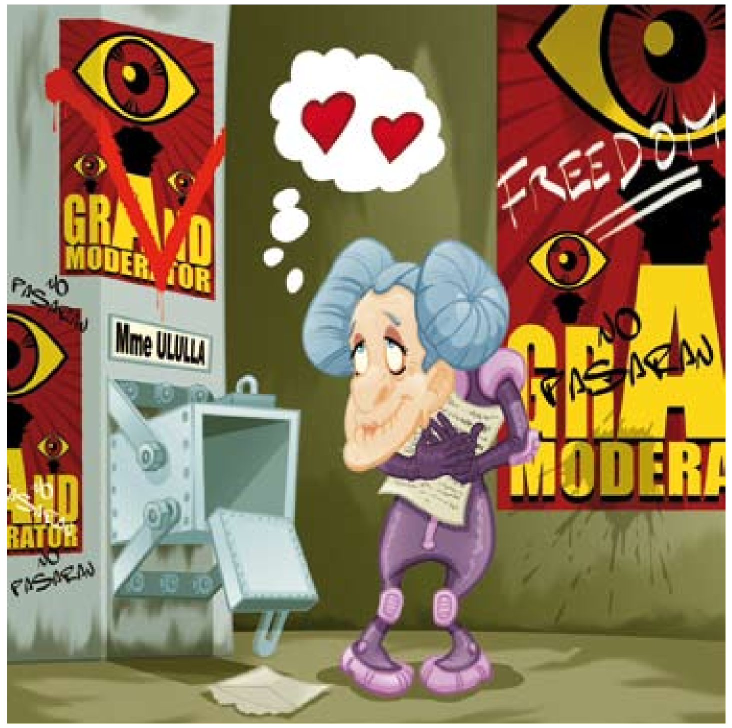
1. Cf. http://musea.univ-angers.fr. En complément : *Le Planning familial*, Ch. Bard et J. Mossus-Lavau dir. (Presses universitaires de Rennes, collection « Archives du féminisme », 2007) et d'autres références sur www.tetes-chercheuses.fr

ÉNIGME LOGIQUE

Une parade à la délation

En Sécurie, toutes les communications téléphoniques sont espionnées, et Internet, symbole de subversion, a été rendu inaccessible. Comme chaque courrier est ouvert et examiné par les postiers, il faut faire preuve d'imagination pour parvenir à transmettre des documents tout en protégeant sa vie privée ! Les postiers de Sécurie sont en effet chargés par le gouvernement du Grand Moderator de répertorier tout idée contestataire, tout projet d'acte illégal, toute relation extraconjugale, etc. C'est pourquoi de nombreux Sécuriens se sont équipés d'une boîte d'envoi blindée, d'un cadenas et de sa clef.

Zerf souhaite prévenir Ululla par courrier qu'une tentative de manifestation contre le Grand Moderator aura lieu le jeudi suivant. Comment peut-il faire pour que sa lettre ne soit ouverte que par elle seule ?

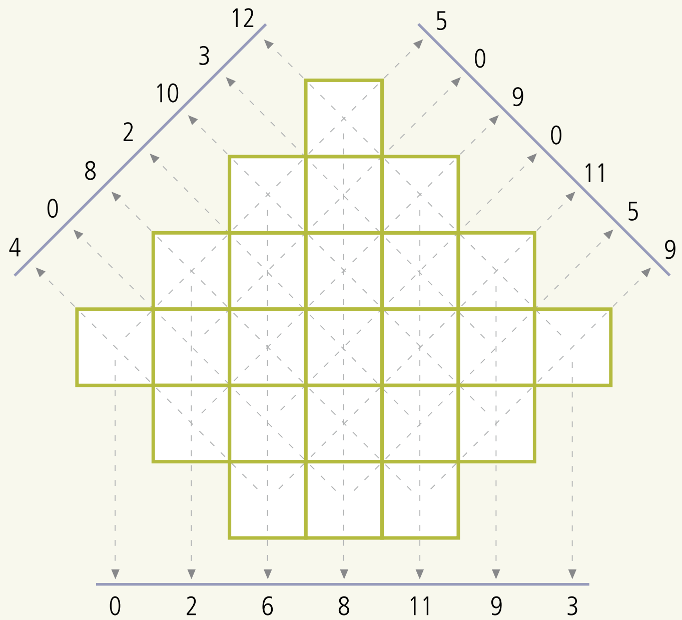


LE TEMPS DU CALCUL

Mojette™, un sudoku nantais

Voici un exemple de jeu Mojette™ introduit dans l'article *Jeux de projections*, page 16 (voir une présentation plus large sur www.mojette.net).

Il faut trouver un chiffre pour chaque case de la grille de sorte que tous les chiffres insérés satisfassent aux projections Mojette données. Ces trois ensembles sont constitués des sommes des chiffres à trouver effectuées selon les colonnes et selon les diagonales de la grille. On suppose qu'il n'y a que trois chiffres différents dans toute la grille.



LA DEVINETTE DE JULIE

Histoire de compte

Pourquoi la somme de deux chiffres non nuls quelconques peut-elle toujours valoir 10 ?

Pour les mathématophobes, voici une autre devinette. Des fourmis marchent à la queue leu leu dans une forêt. Celle qui est en tête s'exclame :
– Youpi ! Je suis la première !
Une autre fourmi du convoi s'écrie alors :
– Youpi ! Je suis la première ! Je suis la première !
Ces deux fourmis ont raison toutes les deux !
Comment est-ce possible ?

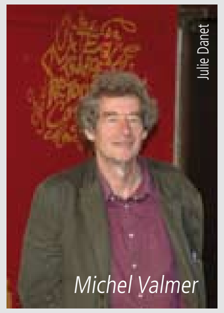
Indices et solutions sur www.tetes-chercheuses.fr

EXPOSITIONS

Cabaret des étoiles

Sous la coupole du planétarium de Nantes, le 22 octobre prochain, lors de la Fête de la science, Michel Valmer, fondateur de la compagnie de théâtre Sciences 89, sera le médiateur d'une « rencontre-cabaret » peu ordinaire, celle d'un homme de science, Olivier Sauzereau, astrophotographe et historien des sciences, et de Xavier Ferran, pianiste et membre de la Ligue d'improvisation Nantes-Atlantique. Ensemble, ils joueront avec les termes scientifiques notamment en les détournant pour tenter de mieux saisir leurs sens. Mis en poème et chantés, ces mots trouveront leur « âme artistique » au son du piano comme au fil des images d'astres projetées.

« Qu'est-ce que les mots veulent dire ? Que signifie l'expression effet tunnel *pour un agent de la SNCF ? Dans quelle mesure le mot* relativité *ou le terme* trou noir *rendent-ils bien compte du phénomène qu'ils désignent ? »* interroge Michel Valmer. Le mot fait voir tout en exprimant des idées qui, cependant, sont parfois éloignées de la réalité qu'il est censé définir. Choisies par des scientifiques, certaines métaphores passent dans le langage commun : « Tout est relatif », « J'ai un trou noir ! »… Il arrive alors que la réalité ou la complexité de leurs signifiés demeurent ignorées, mal comprises ou interprétées de travers. *« L'idée de cette soirée est de réveiller l'esprit critique du spectateur et de l'inviter, par ce théâtre de science et par l'émotion, à mieux cerner la difficulté de désigner de façon concise les phénomènes. »*


Julie Danet

Michel Valmer

le 22 octobre à 19 heures, au Planétarium, 8, rue des Acadiens à NANTES.
Renseignements et réservation : 02 40 73 99 23, http://www.nantes.fr/culture/musees/le-planetarium

La Fête de la science

Une programmation « biodiversifiée »

« Biodiversité et bioéthique : quels défis pour l'avenir ? » À l'occasion de la 19e édition de la Fête de la science, scientifiques et citoyens seront conduits à s'interroger ensemble sur cette question d'actualité. En direct des laboratoires et sur les villages des sciences de Nantes, de Saint-Nazaire, d'Angers, de Saumur, de Laval, du Mans, du Château-d'Olonne et de La Roche-sur-Yon, chacun aura la chance de pouvoir toucher de plus près les avancées scientifiques d'aujourd'hui et de mieux comprendre celles de demain !

du 21 au 24 octobre 2010*. Entrée libre et gratuite. Programme complet : www.cnam-paysdelaloire.fr ou www.fetedelascience.fr*

Cette manifestation est organisée à l'initiative du Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche. Elle est coordonnée en région par le Conservatoire national des arts et métiers - Pays de la Loire sous l'égide de la Préfecture de région Pays de la Loire - Délégation régionale à la recherche et à la technologie avec le soutien du Conseil régional et des autres collectivités territoriales des 5 départements.

Envoie le son

Pendant la Fête de la science, le son fait aussi l'événement. Dans 5 villes des Pays de la Loire (Nantes, Angers, Laval, Le Mans et Le Château-d'Olonne), venez découvrir des ateliers scientifiques, des démonstrations ludiques, des spectacles et des concerts interactifs sur les thèmes du son, de la musique et de l'acoustique.

les 23 et 24 octobre*. Entrée libre et gratuite. Pour en savoir plus : 02 40 16 10 70, www.cnam-paysdelaloire.fr et www.envoieleson.org*

Ce projet a été retenu dans le cadre d'un appel à projet national lancé par le Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche. Il est soutenu par le Conseil régional des Pays de la Loire et par les autres collectivités territoriales des 5 départements.

Histoire de l'anesthésie et de la prise en charge de la douleur

L'anesthésie, dont le but est de supprimer la douleur, est une discipline récente qui s'est développée avec les progrès de la chimie. Depuis 20 ans, le traitement de la douleur est devenu un droit pour le malade et un devoir pour les médecins. Cette exposition retrace l'histoire de la prise en charge de la douleur depuis l'utilisation, vers 1850, de l'éther, du protoxyde d'azote et du chloroforme par les dentistes puis par les médecins, jusqu'à l'anesthésie moderne et ses substances (barbituriques, curare, substituts de l'opium…) apparues au milieu du XXe siècle.

du 19 octobre au 5 novembre, aux facultés de médecine et de pharmacie, rue Gaston-Veil à NANTES.
Entrée libre et gratuite.
Renseignements : 02 40 20 21 35.

Scènes de la psychiatrie ordinaire en Sarthe 19e/21e siècle

Au XIXe siècle, Le Mans devient l'une des premières villes de France à accueillir un établissement public de soins des « aliénés ». Deux siècles plus tard, des historiens du Centre de recherches historiques de l'Ouest et des professionnels du Centre hospitalier spécialisé de la Sarthe retracent l'histoire de la folie et de la psychiatrie en Sarthe tout en livrant leurs interrogations sur les enjeux liés à la conception de la maladie mentale.

jusqu'au 20 octobre aux Archives départementales, rue Christian-Pineau, et du 15 octobre au 30 novembre à la bibliothèque universitaire, avenue Olivier-Messiaen, LE MANS.
Entrée libre et gratuite.
Renseignements : http://histoire-psy.univ-lemans.fr

Science-fiction
Voyage au coeur du vivant

Labyrinthes mystérieux, pépites brillantes, alphabets codés… Réalisée par l'Inserm, cette exposition rassemble 29 tableaux où se croisent, en surimpression, des photographies scientifiques et des gravures anciennes illustrant les romans de Jules Verne.
Un grimoire géant permet à chacun de recomposer ces photomontages. Chaque tableau est accompagné d'une légende à caractère scientifique mais également d'un conte né de l'imagination de l'écrivain Bernard Werber, auteur de *La trilogie des fourmis*.
Un voyage aux pays du savoir et du rêve !

du 10 au 14 novembre aux Utopiales, Cité des congrès, 5, rue de Valmy, et du 16 au 28 novembre à l'IRT, 8, quai Moncousu à NANTES.
Renseignements : 02 40 20 92 43, www.grand-ouest.inserm.fr

Biodiversité
Le muséum sort de sa réserve

En cette année internationale de la biodiversité, le Muséum d'Angers propose de découvrir des spécimens tout droits sortis de sa réserve ou naturalisés spécialement pour illustrer cette exposition. Conçue par l'agence Double Hélice, celle-ci présente la grande diversité des espèces vivantes et souligne son rôle en tant que source d'aliments, de médicaments, de connaissances mais aussi d'émotions.

Même si nous sommes conscients de l'importance de la biodiversité dans le maintien des grands équilibres écologiques, les activités humaines continuent de provoquer la disparition de nombreuses espèces vivantes. Étudier et protéger la biodiversité sont devenus des enjeux de survie.

jusqu'au 2 janvier 2011, au muséum, 43, rue Jules-Guitton à ANGERS.
L'exposition est l'occasion de conférences à l'Institut municipal d'Angers. Renseignements : 02 41 05 48 50, www.angers.fr/museum

Électricité
Qu'y a-t-il derrière la prise ?

Si la maîtrise de l'électricité a changé notre rapport au temps et à l'espace ainsi que nos comportements, ce phénomène demeure néanmoins mystérieux pour beaucoup d'entre nous. Conçue par la Cité des sciences et de l'industrie, cette exposition ludique permet de découvrir en famille les composants d'une pile ou d'une ampoule géante, de comprendre par l'expérience pourquoi un circuit doit être fermé pour que le courant y passe, de mesurer les dangers de l'électricité…

Les animations proposées en parallèle abordent l'histoire de l'électrostatique, les notions d'atomes, de charge et de potentiel électriques, la cage de Faraday et les effets de pointe tels que celui du paratonnerre.

jusqu'au 9 janvier 2011, au CCSTI-Musée des sciences, place de Hercé à LAVAL.
Renseignements : 02 43 49 47 81, www.ccsti-laval.org

Espèces en folie

Selon l'ONU, l'introduction d'espèces exotiques envahissantes constitue la deuxième cause d'appauvrissement de la biodiversité dans le monde, juste après la dégradation des habitats naturels. Cependant, toute introduction d'espèce animale ou végétale nouvelle n'entraîne pas systématiquement une invasion. Qui sait, par exemple, que la carpe, le lapin et le faisan ont été introduits en France durant la période romaine ?

Présentée au musée Vert à l'occasion de l'Année internationale de la biodiversité, cette exposition bénéficie d'une approche originale et critique : loin de hurler « Halte aux envahisseurs ! », elle aborde les invasions biologiques dans la durée et envisage aussi bien leurs effets bénéfiques que leurs impacts néfastes, tout en les relativisant. Une exposition pleine de surprises à visiter en famille.

jusqu'au 30 juillet 2011, au musée Vert, 204, avenue Jean-Jaurès, LE MANS.
Renseignements : 02 43 47 39 94, musee.vert@ville-lemans.fr

CONFÉRENCES & DÉBATS

MUSÉUM DE NANTES
- **Des serpents dans la pénombre**, visite nocturne du vivarium, le 6 octobre et le 3 novembre à 18 h
- **Le muséum et son histoire**, journée d'étude, le 20 octobre à 9 h 30
- **Animots !** démonstration de slam, le 28 octobre et le 1er décembre à 18 h
- **Tous les déserts du monde**, conférence, le 9 novembre à 20 h 30
- **Un patrimoine remarquable en Loire-Atlantique**, colloque, le 13 novembre à 14 h
- **Entre ciel et mer, des observatoires pour l'astronomie et les sciences maritimes**, colloque, le 26 novembre
- **Des volcans dans le Sahara**, conférence, le 7 décembre à 20 h 30
- **Mouches**, exposition

au Muséum d'histoire naturelle, 12, rue Voltaire à Nantes. Renseignements : 02 40 41 55 00, www.museum.nantes.fr

CAFÉ DES SCIENCES DE NANTES
- **Ces petites bêtes qui dérangent : nuisances et biodiversité**, le 19 octobre
- **Vive l'exploration scientifique !** le 9 novembre
- **Les langues, toujours vivantes ?** le 14 décembre

à 20 h 30, au café Flesselles, 3, allée Flesselles à Nantes. Entrée libre. Renseignements : 02 51 85 84 45, www.sciences-techniques.univ-nantes.fr

SOCIÉTÉ D'ASTRONOMIE DE NANTES
- **Les étoiles à neutrons**, le 15 octobre

à 21 h, à l'amphi Jean-Paul-Troadec, Ifremer, rue de l'île d'Yeu à Nantes.

- **L'astrophysique des trous noirs**, le 19 novembre
- **À la recherche de la vie extraterrestre**, le 10 décembre

à 21 h, salle Le Bretagne, rue Villebois-Mareuil à Nantes. Renseignements : 02 40 68 91 20, www.san-fr.com

CAFÉ-SCIENCES D'ANGERS
- **Biodiversité exotique et biodiversité ordinaire**, le 20 octobre
- **Les défis de la bioéthique en médecine**, le 8 décembre

à 19 h 30, au bar du forum du Quai, cale de la Savatte à Angers. Entrée libre. Renseignements : 02 41 72 14 21, www.terre-des-sciences.org

FESTIVAL UTOPIALES (VILLE DE NANTES)
- **Recherche scientifique et créativité**, le 11 novembre
- **Aux frontières du vivant et du visible**, le 12 novembre
- **Demain : une reproduction assistée ?** le 13 novembre

Tables rondes « Art et science-fiction » à la Cité des congrès, 5, rue de Valmy à Nantes. Renseignements : 02 51 88 20 00, www.utopiales.org

INSERM / UNIVERSITÉ DE NANTES
- **Voyage avec Jules Verne au cœur du vivant**, le 18 novembre

à 18 h 30, à l'IRT, 8, quai Moncousu à Nantes. Renseignements : 02 40 20 92 43, www.inserm.fr

- **Passeport Recherche**

L'opération « Passeport Recherche en Pays de la Loire » propose à des classes de lycéens de travailler autour d'une problématique avec des chercheurs de la région. Liste des thématiques 2010-2011 et inscription : www.isciences.fr Renseignements : 02 28 08 00 25.

DANS LE PROCHAIN NUMÉRO DE TÊTES CHERCHEUSES :
LE TRAVAIL EN CHANTIERS

LE LABO DES SAVOIRS

L'ÉMISSION QUI ACTIVE TES SYNAPSES

TOUS LES LUNDIS, MARDIS ET MERCREDIS DE 19H À 20H SUR LE 92FM

www.prun.net/labo-des-savoirs

PRUN' DIFFUSE LE SAVOIR AVEC UNE NOUVELLE ÉMISSION!

INTERVIEWS DE SCIENTIFIQUES ET REPORTAGES SUR LES ÉQUIPES DE RECHERCHE DE LA RÉGION, LE LABO DES SAVOIRS T'EMMÈNE AU CŒUR DES SCIENCES.

BIOLOGIE, ASTRONOMIE, PHILOSOPHIE, MATHÉMATIQUES OU HISTOIRE, TOUS LES CHAMPS DE LA CONNAISSANCE SONT ABORDÉS.
RETROUVE LE LABO DES SAVOIRS SUR LE 92FM DU LUNDI AU MERCREDI DE 19H À 20H

prun' 92 FM

Création : djeebee@hotmail.fr