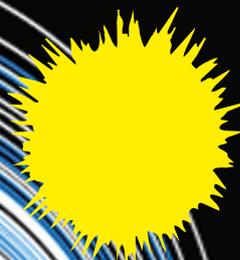


A3 Magazine

Rayonnement du CNRS



Aspects de la
science mathématique

Les maths au CNRS

Les mathématiciens
dans tous leurs états

La vie scientifique

Le kiosque

La curiënite

Régions, Voyages



Magazine des Anciens et Amis du CNRS

N° 68 - ÉTÉ 2016

A3 Magazine - Rayonnement du CNRS - Prix : 8 €

Directeur de la publication : Michel Petit

Comité de rédaction

Jean-Jacques Aubert, Françoise Balestie, Fabrice Bonardi, Martine Carisey, Jacqueline Chauvet-Pujol, Jacques Couderc, Annie Demichel, Bernard Dupuis, Alain Foucault, Paul Gille, Christian Girault, Lysiane Huvé-Textier, Marie-Françoise Lafon, Edmond Lisle, Claudius Martray, Philippe Pingand, Victor Scardigli et Dominique Simon.

A3 Magazine - ISSN 1953-6542

Rédacteur en chef, rédacteur : Fabrice Bonardi

Éditeur : Paul Gille

Maquette, mise en page et numérisation : Bernard Dupuis

Remerciements aux autres contributeurs de ce numéro 68

Nadège Arnaud, Andre Authier, Marie-Noëlle Blancheteau-Petit, Michel Blay, Christiane Bourguignon, Aurore Buffetault, Fabien Cesbron, Karine Chemla, Jean-Patrick Connerade, Pétronille Danchin, Jean-Paul Delahaye, Olivier Druet, Etienne Ghys, Liliane Gorrichon, Stéphane Honoré, Florence Hubert, Gwenaëlle Jousserand, Anne-Lan, Erwan Le Pennec, Pascal Massart, Thierry Massat, Thibaut Mastrolia, Bernard Maudinas, Fernando Peruani, Benoît Perthame, Monique Pontier, Christoph Sorger, Lothaire Zilliox.

Comment recevoir le Magazine

A3 Magazine est destiné aux adhérents de l'A3. Les modalités de l'adhésion sont disponibles sur le site internet de l'association ou auprès du secrétariat, dont les coordonnées figurent en dernière page.

L'Association des Anciens et Amis du CNRS (A3)

A3 Magazine a le plaisir de vous informer de la mise en ligne sur le site d'une nouvelle version de l'annuaire des adhérents. Celle-ci inclut notamment les informations de paiement de la cotisation 2016. L'annuaire est accessible depuis le menu du site : « espace adhérents ». Par défaut, vous vous identifiez avec votre nom et votre n° d'adhérent. Vous pouvez si vous le souhaitez choisir un autre mot de passe ou le réinitialiser si vous l'avez oublié.

Retrouvez en page 3 de couverture la liste des fondateurs et membres d'honneur de l'Association, la composition du Conseil d'administration et du Bureau, ainsi que les noms des chargés d'activités et responsables régionaux.

Accès aux bases de données scientifiques, *via* l'Inist

Depuis plusieurs années, notre Association a mis en place un moyen d'accès aux bases de données scientifiques, à l'intention de ses adhérents à jour de cotisation, afin que ceux-ci puissent continuer à se tenir informés de l'évolution des connaissances, même après leur départ en retraite.

L'Inist, *via* divers portails (CNRS BiblioVIE, BiblioSHS, BiblioST2I, BiblioPlanets, TitaneSciences et BiblioSciences), donne le droit aux utilisateurs de rechercher, interroger, imprimer et télécharger des articles pour leur usage personnel ou à des fins d'étude et de recherche, ceci « strictement réservé aux ayants droit CNRS membres de l'Association », pour leur seul usage personnel.

Les conditions d'utilisation sont évidemment très strictes et contrôlées (téléchargement ou stockage de fascicules entiers et redistribution ainsi que l'usage commercial formellement proscrits). Notre attention a été attirée sur le fait que toute constatation d'utilisation anormale du service pourra donner lieu à la fermeture immédiate du compte concerné.

Si la possibilité mise en place, *via* l'INIST, vous intéressait, veuillez prendre contact avec le secrétariat (Pascale Zanéboni, 01 45 07 57 77) afin que vous soit communiquée la marche à suivre ainsi que les identifiants et mot de passe temporaires qui seront nécessaires à toute interrogation.



Illustration de la couverture : l'attracteur de Lorenz et la prédictibilité.

Le battement d'ailes d'un papillon au Brésil peut-il déclencher une tornade au Texas ? En 1963, Edward Lorenz (1917-2008), très intéressé par le problème de la convection dans l'atmosphère terrestre, proposa une version très simplifiée des équations de Navier-Stokes de la mécanique des fluides, connues pour leur complexité. Extrait de la galerie Mathematics of Planet Earth. © Auteur Jos Leys. Licence CC BY-NC-SA-3.0.

Mot de la Rédaction 2**Editorial du Président** 3

Lettre aux futurs retraités 4

Bienvenue aux nouveaux adhérents 4

Aspects de la science mathématique, dossier proposé par Jean-Jacques Aubert et Françoise Balestié 5Les mathématiques au CNRS. *Entretien avec Christoph Sorger, directeur de l'INSMI*L'informatique et les mathématiques : une relation passionnée, *par Jean-Paul Delahaye*Modélisation mathématique dans les sciences du vivant, *par Benoît Perthame*L'effet papillon, *par Etienne Ghys*Introduction à l'évaluation d'actifs financiers, *par Thibaut Mastroli*Modélisation mathématiques pour l'oncologie, *par Olivier Saut*L'adhésion thérapeutique : un nouveau challenge, *par Stéphane Honoré et Florence Hubert*Le « Big data » et les mathématiques, *par Pascal Massart et Erwan Le Pennec*Mythe ou réalité : une étude quantitative du comportement des moutons, *par Fernando Peruani et al.*Quantifier le comportement humain : nouveaux challenges, *par Laurent Oudre et Nicolas Vayatis***Les mathématiciens dans tous leurs états, dossier proposé par Paul Gille** 40Naissance de la démonstration, *par Michel Blay*Figures de mathématicien(ne)s, *par Paul Gille et al.*Sciences en texte ou : Des rapports entre écriture et pensée, *par Karine Chemla*Un imaginaire de mathématicien : Cédric Villani, *par Victor Scardigli***Quelques actualités du monde des maths** 53Le concours 2016 BD «Bulles au carré», *par Nadège Arnaud*

Claire Voisin au Collège de France

Le 7^e congrès européen de mathématique

Les ondelettes et la détection des ondes gravitationnelles

AuDiMath / Autour de la diffusion des mathématiques, *par Olivier Druet*

Nos lecteurs ont (re)découvert en vrac

La vie scientifique / Le kiosque 56La curiénite, *par Fabien Cesbron*Histoire et mémoire du CNRS, *par Dominique Simon et Paul Gille*Histoire de l'océanographie - De la surface aux abysses, *par Aurore Buffetaut*Mémoires sauvées des glaces, de Claude Lorius, *par Michel Petit*L'expression de l'identité juive, de Renée Waissman, note de lecture *de Victor Scardigli*Dans le secret des nombres, de Marianne Freiberger et Rachel Thomas, *par Jacques Couderc*Vous avez dit Maths ? de Robin Jamet, *par Alain Foucault*Les mathématiques de l'amour, d'Anna Fry, *par Fabrice Bonardi*Jeanne Villepreux-Power, colloque au Sénat, *par Anne-Lan et Fabrice Bonardi***Vie des Régions** 61• Alpes Dauphiné *par Christiane Bourguignon* :

Escapade à Turin, le musée de la Houille Blanche

• Alsace *par Lothaire Zilliox* : L'eau en question, les risques pour les nappes souterraines• Midi-Pyrénées *par Liliane Gorrichon* :

Visite des entreprises MarionTechnologies, Mapcoating et Mapaero à Pamiers

- Centre-Est *par Bernard Maudinas* : La société Cristal Laser, les hauts-fourneaux à Esch-Belval
- Centre-Val-de-Loire *par Paul Gille* : retrouvailles à l'INRAP
- Ile-de-France *par Véronique Machelon, Solange Lassalle et Dominique Ballutaud* :
Quoi de neuf depuis Darwin ? conférence de *Jean Chaline*
Astrochimie : chimie des origines, conférence de *Louis le Sergeant d'Hendecourt*
Le Religieux et le politique dans la Révolution française, conférence de *Lucien Jaume*
Visite de l'Institut de recherche et d'histoire des textes
Prévision des visites et conférences pour le deuxième semestre 2016

Voyages A3, programme 2017, *par Annick Perillat*

69

Hommages

70

Gabriel Picard, *par Claudius Martray* - Claudine Dorémieux, *par Jacques Fraissard*

Annexe : Bulletin d'adhésion à l'A3

71 - 72

LE MOT DE LA RÉDACTION

Les mots *croisés* de l'éditeur et du rédac' chef

L'historique *Bulletin de l'association*, devenu récemment A3 magazine / Rayonnement du CNRS, n'avait jusque-là abordé les mathématiques que par le « petit bout de la lorgnette ». Le Bulletin n° 44 (juillet 2007) en l'honneur du tricentenaire de Buffon traitait surtout du savant naturaliste ; dans le n°58 (printemps 2012) consacré aux *femmes en sciences*, Anne-Laure Dalibard avait fourni une belle description de ses travaux en mathématiques et océanographie, sur la base d'exemples très concrets ; enfin, la couverture du n°60 (hiver 2012) montrait après un voyage en Ouzbékistan la statue du mathématicien Al-Kwarizmi, à l'origine des termes algèbre et algorithme.

Il était temps d'approfondir le sujet, et c'est chose faite avec ce numéro 68, en bonne interaction avec l'INSMI du CNRS. La rédaction a choisi une double approche : d'une part des « aspects de la science mathématique », sélection d'articles reflétant la politique scientifique du CNRS et d'autre part un florilège d'articles de style « figure libre » qui n'engagent que leurs auteurs ou la rédaction du Magazine, et devrait surprendre agréablement les plus candides ! On en compte d'ailleurs au moins un au sein de la rédaction, du côté d'un « rédac chef » plus versé dans les lettres que dans les chiffres, et qu'un communiqué de presse du 19 avril 2016 était venu bouleverser :

Deux chercheurs de l'unité mixte CEA / Inserm / Univ. Paris-Sud / Collège de France de NeuroSpin, viennent de révéler que le cerveau possède un réseau d'aires cérébrales impliqué dans les mathématiques de haut niveau comme dans les opérations arithmétiques les plus simples (...)

« Il me fallut donc attendre 2016 pour apprendre que si je n'avais jamais rien entendu aux nombres, c'était à cause d'une aire cérébrale qui n'avait jamais voulu être activée. Aussi, lorsqu'il fut choisi de consacrer un numéro aux maths, mon aire cérébrale inactivée s'est encore un peu plus recroquevillée... Et puis, au fur et à mesure de l'arrivée des articles, j'ai découvert avec plaisir de multiples aspects de ce domaine. Il serait exagéré de prétendre que j'ai tout compris, mais j'ai lu avec plaisir l'essentiel des articles. J'espère qu'il en sera de même tant pour les férus de la discipline que pour ceux qui se considéraient rétifs à son égard ! »

Un thème inédit était une bonne occasion de faire évoluer la présentation de ce Magazine. Comme toujours, sur le fond comme sur la forme, vos commentaires et vos propositions seront les bienvenus.

FB+PG

Erratum pour l'A3 Magazine n°67 (hiver 2015-16)

Dans l'article «France-Chine : vers un partenariat industriel en biotechnologie » par Jacques Couderc, l'auteur nous signale deux imprécisions :

- (page 50, colonne 1, ligne 8) Pour les cellules souches, le professeur Eliane Gluckman a réalisé ses travaux sur les greffes de sang du cordon en temps que Chef de service des greffes à l'hôpital Saint-Louis, et non à l'Institut des vaisseaux du sang.
- (page 51, colonne 2, ligne 7). Puis en 2015 [au lieu de 2013], à l'exemple chinois, la Société *Health Biotech* France vit le jour.

Ce nouveau numéro d'A3 Magazine, reflet des activités de notre Association va paraître un peu après notre Assemblée générale de Rennes du 9 juin et nous espérons vous en donner quelques échos préliminaires dans ce même numéro.

Comme les autres années, un grand nombre d'adhérents s'y seront retrouvés avec plaisir autour de M. Patrick Saubost, représentant régional de la circonscription Bretagne et Pays de la Loire et de son équipe. Le programme attractif qu'il a préparé nous aura permis de réunir environ soixante dix adhérents. Lors de cette Assemblée générale, cinq nouveaux administrateurs auront été élus ce qui permettra de passer le flambeau à de nouveaux et jeunes retraité(e)s comme je devrai le faire moi-même statutairement en septembre prochain, en tant que Président de notre Association. Je remercie chaleureusement celles et ceux qui ont œuvré avec dévouement au sein de ce Conseil les années passées.

Pour l'an prochain, contrairement à ce que nous avons annoncé précédemment, notre réunion conviviale 2017 se fera à Paris, sur proposition de notre représentant régional Bernard Maudinas qui souhaite maintenir l'alternance Paris/Province et organisera la réunion prévue à Nancy en 2018.

Ce numéro fait une large place à un important dossier consacré aux mathématiques. Il est introduit par la transcription d'une interview de Christoph Sorger, le directeur de l'Institut national des sciences mathématiques et de leurs interactions, qui s'inscrit dans la lignée de nos entretiens avec les Directeurs d'Instituts de notre Maison, faisant suite à l'interview du Président Alain Fuchs.

Il eût été rébarbatif pour un grand nombre de nos lecteurs de présenter un panorama exhaustif des recherches en mathématique et nous avons choisi de présenter certains aspects des applications des mathématiques à des sujets qui touchent notre quotidien, comme la biologie, la cancérologie, l'informatique, la cryptographie, les « Big Data » mais aussi... les maths financières ou le mouvement de groupe chez les moutons. Je souhaite que ce nouveau dossier dont le sommaire se présente comme un petit inventaire à la Prévert, vous permette de découvrir avec plaisir que les mathématiques offrent des aspects ludiques et ... peuvent même donner lieu à des BD.

Dans le cadre de notre activité de Rayonnement du CNRS à l'étranger, la démarche pragmatique proposée par Jean-Jacques Aubert porte ses premiers fruits : nous avons pu collecter les adresses électroniques d'anciens collaborateurs des UMR du CNRS qui résident actuellement à l'étranger. Cette base de données, hébergée par l'IN2P3, comprend plus de cinquante mille adresses électroniques auxquelles nous envoyons un courriel auquel sont joints le Journal du CNRS et notre A3 Magazine sous forme électronique et les invitant à adhérer à notre Association. Vous pouvez enfin faire un petit tour de France avec les activités régionales de notre Association qui sont présentées dans ce numéro avec des contributions des Alpes-Dauphiné, Alsace, Centre-Est, Centre-Val-de Loire, Île-de-France, Midi-Pyrénées...

Je souhaite que la période estivale permette à chacun d'entre vous de faire des rencontres riches et intéressantes !

Michel Petit

This issue of our A3 Magazine will be published soon after our Annual General Meeting held on June 9th at Rennes. We hope to give you a preliminary account of that meeting along with a survey of our activities.

As in previous years, many of our members were glad of this opportunity to meet, along with Mr. Patrick Saubost, our Regional representative for Brittany and the Loire districts, and his team. He and they had devised a most attractive programme in which over seventy of our members took part. At this AGM five new Board members were elected. This will enable our Association to pass on the flame to a younger generation of members and this includes myself who am, in accordance with our rules and regulations, handing over my duties as President this coming September. I wish personally to thank all those who have so diligently served on our Board these past years.

Our next AGM and friendly reunion will be held in Paris in 2017, in order to maintain the Paris/Province sequence, and our Regional representative for the East of France, Bernard Maudinas, will organize the 2018 AGM in Nancy.

The current issue of our Magazine is largely dedicated to Mathematics. Its lead article is an Interview of Christoph Sorger, the Director of the National Institute for Mathematical Sciences and their Interactions. This is the latest in the series of interviews of the Directors of the CNRS Institutes which we have already published, following the interview of Alain Fuchs, President of the CNRS.

It would have been fastidious for our readers to conduct a comprehensive survey of research in mathematics and we chose, rather, to select certain aspects of the applications of mathematics to subjects having a direct impact on our daily lives, such as biology, cancer research, computer science, cryptography, « Big Data », but including too ... financial mathematics, or the way sheep move in groups !

I hope that this new dossier, whose table of contents reads more like a Free for all check-list, will enable you pleasantly to discover that mathematics are fun and can even produce comics trips.

As regards the activities of our Association abroad, the practical approach advocated by Jean-Jacques Aubert is beginning to bear fruit : we have been able to collect the E-mail addresses of former members of CNRS research units who are currently living abroad. This data base, hosted at IN2P3 (National Institute of Nuclear and Particle Physics), includes over fifty thousand E-mail addresses. We are sending to those addresses a message which includes the electronic version of the CNRS Journal and our own A3 Magazine, together with an invitation to join our Association.

Finally, in this issue, you can enjoy a round trip of France with an account of what is going on in the Alpes-Dauphine, Alsace, Centre and East, Loire Valley, Paris Region, and Pyrenees regions...

To each and every one of you I wish a very pleasant summer and many enjoyable encounters.

Translation : Edmond Lisle

Lettre du Président de l'A3 aux futurs retraités

Madame, Monsieur,

Vous allez probablement prendre votre retraite prochainement. Notre Association « Rayonnement du CNRS-Association des anciens et amis du CNRS (A3) » serait très heureuse de vous accueillir parmi ses membres. Vous pourrez ainsi bénéficier des nombreux types d'activités qu'elle organise : divertissantes et culturelles au travers des visites, conférences et voyages à l'étranger d'une part, mais également par nos contributions au rayonnement du CNRS et plus généralement de la science française d'autre part.

Au cas où vous ne connaîtriez pas nos actions vous pouvez vous connecter sur notre site www.anciens-amis-cnrs.com ou www.rayonnementducnrs.com (une fiche d'adhésion y est disponible). Vous trouverez également sur ce site, l'adresse électronique des représentants régionaux de l'A3 et, le cas échéant, je vous remercie de bien vouloir nous indiquer si votre lieu de retraite est situé dans une région différente de celle où vous avez terminé votre carrière, afin que nous puissions en informer notre représentant dans la région de votre nouvelle résidence. Cette information vous permettra d'être invité aux activités organisées localement. Mais en attendant, nous vous adresserons gracieusement au cours de l'année 2016 les informations diffusées à l'ensemble de nos membres, en espérant qu'elles vous inciteront à adhérer et si vous n'y voyez pas d'inconvénient nous vous saurions gré de bien vouloir nous communiquer votre adresse électronique personnelle (nom, prénom, e-mail). Nous espérons que vous nous rejoindrez et participerez à la vie de notre Association, ce qui vous permettra de garder un lien avec le CNRS, (indépendamment d'un éventuel éméritat), notamment grâce à deux publications : d'une part, le Journal du CNRS qui est diffusé à nos membres et d'autre part A3 Magazine, la revue de notre Association (2 ou 3 numéros par an).

Si vous souhaitez vous impliquer dans l'animation de certaines de nos activités, nous nous en réjouissons encore davantage. Vous trouverez à la fin de ce numéro un formulaire d'adhésion et la raison d'être de notre Association. Notre prochaine Assemblée générale se tiendra en 2016 dans le cadre de journées conviviales à Rennes et Saint-Malo les 9 et 10 juin prochains.

Michel Petit
Président de A3

A3 Magazine souhaite la bienvenue aux nouveaux adhérents

ACCARY	Annie	75 - Paris	HEMEZ	Annie	59 - Lille
BERTHOD	Alain	69 - Villeurbanne	HIRSCH	Claude	75 - Paris
BOISSELIER	Marie-Catherine	94 - Sain-Maurice	JAL	Jean-François	69 - Villeurbanne
BOUCHERIE	Sylvie	92 - Meudon	JOSEPH	Nicole	31 - Ramonville-saint-Agne
BRAUNSTEIN	Pierre	67 - Strasbourg	KARCZEWSKI	Jean-François	45 - La Ferté-saint-Aubin
CADENEL	Annette	13 - Marseille	LAGOUTTE	Marie-Christine	18 - Chateaufort-sur-Cher
CAUSSIDIER	Claude	34 - Montferrier-sur-Lez	MACIA	Serge	86 - Poitiers
CHAUVIN	Joel	38 - Seyssinet Pariset	MANOUSSIS	Eustratios	75 - Paris
CHONE	Thérèse	21 - Dijon	MAUREL	Marie-Claude	75 - Paris
CONIN	Michel	75 - Paris	MAZAUD	Roselyne	91 - Gif-sur-Yvette
CROTTE	Christian	13 - Marseille	MERLE	Dominique	75 - Paris
DAGUIN	Geneviève	66 - Saleilles	MEYER	Nicole	92 - Meudon
DECASTEL	Monique	97 - Pointre-a-Pitre	MICHARD	Pierre	92 - Meudon
DEFAYE	Geneviève	38 - Saint-Ismier	PERIANIN	Axel	93 - Sevran
DEGOS	Laurent	75 - Paris	PETIT	Marie-Noëlle	92 - Antony
DENIS	Catherine	35 - Rennes	RENALIER	Marie-Hélène	31 - Auzeville-Tolosane
DIXNEUF	Pierre	35 - Rennes	ROUSSEAU	Anne	92 - Meudon
ENGELSTEIN-BAUMANN	Paule	67 - Niederhausbergen	ROUZEAU	Jean-Noël	45 - Orléans
FAYOUX	Daniel	86 - Poitiers	SARDA	Louis	13 - Marseille
FERRER	Pierre	31 - Toulouse	SATURINI	Pierre	20 - Lama -
GAILLARD	Michèle	92 - Boulogne	SENE	Monique	91 - Orsay
GANAU	Patrick	01 - La Boisse	TISNES	Josiane	31 - Ramonville-saint-Agne
GELY	Mireille	75 - Paris	VIEILLARD	Philippe	86 - Poitiers
GIACOBINO	Elisabeth	75 - Paris	DE VRIES	Michel	92 - Vanves
GORRICHON	Jean-Pierre	31 - Toulouse	WALDTEUFEL	Philippe	92 - Clamart
GUILBOT	Alain	34 - Murles	ZAQUI	André	83 - Fréjus
GUILLOIS	Jean-François	75 - Paris	ZEDDE	Chantal	31 - Mauvoisin



Entretien avec Christoph Sorger

*Directeur de l'Institut national des sciences mathématiques
et de leurs interactions (INSMI)*

L'INSMI a une première spécificité, c'est avec l'IN2P3 et l'INSU, un des instituts nationaux du CNRS. En effet, il n'y a pas d'autres organismes dédiés aux mathématiques. L'INSMI regroupe une communauté très universitaire avec 3600 enseignants chercheurs dont 400 chercheurs CNRS. Bien avant la création de l'INSMI, c'est le CNRS qui a piloté l'ensemble de la communauté des mathématiciens.

Les spécificités des mathématiciens

Comme dans chaque discipline, les mathématiciens ont quelques caractéristiques bien spécifiques, qu'on retrouve à l'Insmi et qui font son originalité. Par exemple, nous avons un mode de fonctionnement très particulier, basé sur la mobilité. Quand on rentre chargé(e) de recherche au CNRS, on a souvent vocation à passer professeur(e) dans l'enseignement supérieur, le passage de CR1 à DR2 étant réduit. Je suis moi-même entré au CNRS en 1993 avant de devenir professeur à Nantes en 1999. Nous avons une très grande proximité avec les universités et une longue tradition de co-pilotage de la recherche. Pour conduire cette politique, nous utilisons une partie importante des délégations du CNRS (20 %), alors que la communauté mathématique du CNRS ne représente que 3%. Cela facilite la mobilité entre institutions. Il y a ensuite une mobilité interne : nos collègues ne sont pas embauchés dans leurs laboratoires d'origine et changent de laboratoire lors des promotions. Ces contraintes, pas toujours faciles à mettre en place, contribuent fortement à la qualité des mathématiques en France : qui dit flux de personnes dit flux d'idées et renouvellement des idées. Ces bonnes pratiques s'appliquent en mathématiques dans tout le monde académique, au CNRS et à l'Université. Une grande attention est portée à l'impartialité des jurys où, par exemple, la présidence n'est pas toujours du domaine concerné. La mobilité avec INRIA existe, mais les statuts des chercheurs sont identiques. La mobilité avec l'étranger est très forte avec des flux entrant (1/3 des entrants) et sortant substantiels.

On en vient à une deuxième spécificité de l'institut, l'orientation à l'international. En effet, nous sommes aussi très orientés vers une politique internationale, aussi bien au niveau du recrutement que grâce aux unités

Les mathématiques au CNRS

mixtes internationales. Ces collaborations sont extrêmement fructueuses. La première unité mixte internationale du département des mathématiques et même du CNRS a été le CMM (*Center for Mathematical Modeling*) au Chili où il existe une collaboration sur les fondements des mathématiques et la modélisation. Par exemple, on y a modélisé le processus d'extraction du cuivre à l'aide de bactéries et on participe à l'exploitation des données des télescopes des hauts plateaux chiliens. Le volume des données des télescopes est faramineux et, grâce à un traitement mathématique sophistiqué des données que fournira le nouveau télescope LSSE observant la totalité de l'hémisphère sud, on sera en mesure d'alerter d'autres télescopes, par exemple lors de l'apparition d'une nouvelle supernova quasiment en temps réel pour permettre de mieux étudier cette naissance. Actuellement, nous avons neuf unités internationales d'excellent niveau (sur les 34 du CNRS) et cet échange régulier entre des cultures différentes est très enrichissant et créatif de nouvelles idées scientifiques.

Ces deux aspects, mobilité et ouverture vers l'international, contribuent à la qualité des mathématiques françaises. Une des mesures de la qualité des mathématiques françaises est le nombre de médailles Fields (une de moins que les USA), l'autre mesure est la forte participation des mathématiciens travaillant en France, invités en tant qu'orateurs à la conférence mondiale des mathématiques qui a lieu tous les quatre ans (20 % des exposés). Ces résultats couronnent une politique de longue haleine menée depuis longtemps et que nous poursuivons.

D'un point de vue sociologique on a souvent associé l'étude des mathématiques au genre masculin, on est heureux d'avoir une génération extrêmement brillante de jeunes mathématiciennes, néanmoins celles-ci ne sont

pas assez nombreuses. C'est une préoccupation constante de l'institut que de susciter des carrières féminines en mathématiques et nous travaillons cette question avec la mission pour la place des femmes au CNRS.

Les différents domaines de recherche en mathématiques

Notre souci est de supprimer les notions de mathématique fondamentale et de mathématique appliquée : il n'y a pas de frontière. Nous n'avons qu'une seule section de mathématiques du comité national au CNRS. Et nous parlons d'applications des mathématiques au lieu de mathématiques appliquées. Il y a un continuum entre la recherche amont et la recherche aval. Comme conséquence de ce choix scientifique stratégique, nous avons fait fusionner les unités de recherche sur un même site universitaire pour n'en avoir plus qu'une. Les laboratoires ne sont pas spécialisés sur une thématique donnée, ce qui serait contraire à la politique de mobilité. La structuration par domaine n'existe pas. Cependant, à un instant donné, certains laboratoires travaillent sur des thématiques spécifiques et, lorsque cela apparaît nécessaire, on peut créer, au sein de l'un d'eux, une activité dans un domaine nouveau, essentiellement par des recrutements. En pratique, une masse critique de cinq à six personnes dans un sous-champ scientifique est nécessaire pour travailler efficacement, donc les unités de recherches n'ont pas tous les champs scientifiques réunis au même endroit.

Parmi les grands domaines des mathématiques, on cite souvent l'algèbre, l'analyse et les problèmes aléatoires, mais avec de très nombreux sous-domaines. Je ne m'étendrai pas sur ces problématiques, mais je mettrai plutôt en avant les domaines proches des interactions où nous avons fait de grands efforts. Prenons l'exemple de la biologie : la modélisation des tumeurs utilise les équations aux dérivées partielles. On peut modéliser le déplacement des bactéries dans un liquide en suivant les lieux où le gradient de sucre est fort. Concernant la modélisation des tumeurs, on sait que, sur des souris, en coupant une tumeur à un endroit précis, on favorise la résorption de cette tumeur. La modélisation permet de comprendre ce phénomène et de savoir où l'on doit couper. On comprend aussi pourquoi des actions externes sur la tumeur peuvent aider au traitement et à une évolution positive. On s'intéresse aussi au cœur, à la crise cardiaque et à la modélisation des problèmes électriques associés. Les mathématiciens contribuent ainsi à la compréhension des pathologies et de leur traitement. Parmi les progrès importants auxquels nous avons contribué, le traitement de l'image médicale a été extrêmement fructueux. Quand on veut faire une image par résonance magnétique (IRM), chez un enfant, plus le temps de passage est court, plus on a de chance qu'il ne bouge pas. Il était donc crucial de pouvoir faire l'analyse de façon rapide, sans avoir à endormir l'enfant, avec les risques que cela implique chez un sujet particulièrement jeune comme un bébé. Les mathématiques ont permis de réduire le temps des IRM : si l'on considère l'image comme une matrice, c'est-à-dire un tableau de chiffres à deux dimensions, il a été démontré que l'on n'avait pas besoin de connaître la matrice de façon exhaustive pour reconstituer l'image. En fait, un huitième seulement de l'information suffit pour restituer l'intégralité de l'image utile au médecin et donc le temps de passage en IRM peut être notablement diminué, ce qui s'avère très précieux pour les images faites sur les enfants. Le traitement très récent de ces questions

d'informations incomplètes est étendu à beaucoup d'autres domaines. Une matrice d'appréciation d'un grand nombre de personnes et d'un grand nombre de films (l'appréciation individuelle étant notée de 1 à 5) est incomplète, chacun n'ayant pas vu tous les films de cette matrice. Néanmoins un traitement mathématique permet de connaître, avec beaucoup d'efficacité, les goûts de chacun et de prédire s'il aimera un film qu'il n'a pas encore vu. Ces techniques sont utilisées au quotidien pour savoir quels sont vos goûts, à quelle publicité vous pourriez être sensible. C'est le traitement des données que vous « abandonnez » involontairement lors de vos achats par carte de crédit, par carte de magasin, ou par la navigation par internet. Dans le traitement des images, par exemple, pour l'identification automatique d'une voiture sur un cliché numérique, on utilisait la reconnaissance de formes (les roues, le profil...) qui conduisait à une identification. Maintenant on part d'un million d'images de voitures qui existent sur la toile, on applique un traitement dit d'apprentissage profond par réseau de neurones et l'on apprend au logiciel à identifier une voiture. On s'intéresse aussi au traitement d'un signal physiologique. La « *wii board* » d'un prix modeste (une centaine d'euros) que nos enfants et petits-enfants connaissent bien, est par exemple utilisée pour étudier la stabilité d'une personne âgée ou d'une personne traumatisée. Elle est utilisée en apprentissage sur différentes catégories de personnes, l'apprentissage et un peu de traitement du signal vont permettre d'identifier les personnes qui ont des problèmes de stabilité ou des traumatismes d'origine accidentelle. Les données recueillies par la *wii box* peuvent être facilement transmises par internet au centre approprié, même s'il est très éloigné.

Comment est organisé l'institut de mathématiques

L'institut est actuellement administré, outre le directeur, par un directeur adjoint administratif, deux directrices et un directeur adjoint scientifique (DAS) et des chargé(e)s de mission. L'une des DAS s'occupe du suivi des laboratoires et des chercheurs, une autre suit la politique de site du CNRS, la relation avec INRIA et avec les LabEx (laboratoires d'excellence labellisés), un dernier s'occupe de l'Europe et de la politique internationale, en particulier des unités mixtes internationales, et des questions de parité et d'intégrité scientifique. Les chargé(e)s de mission ont en charge l'interdisciplinarité, le calcul, la valorisation, la formation, les écoles thématiques et la participation aux alliances (principalement pour nous Allistene).

Quant aux relations avec l'industrie, nous avons créé « AMIES » (Agence pour les Mathématiques en Interaction avec l'Entreprise et la Société), structure labellisée LabEx. Pour répondre à une demande précise émanant des entreprises, cette structure se charge de trouver les bons acteurs dans les laboratoires de mathématiques. Dans chaque région, elle travaille avec un facilitateur qui contribue à intensifier les relations avec les entreprises. Pour répondre en particulier aux besoins des PME qui n'ont pas de service de recherche, nous avons des Maisons de la Modélisation, qui travaillent en lien avec AMIES. Par exemple Maimosine, située à Grenoble, la Maison de la modélisation et de la simulation, s'engage à dire, sous deux semaines, si le problème soulevé relève de la recherche académique ou d'un problème dont on connaît déjà la solution. S'il y a recherche académique, une convention sera proposée à la PME.

Quelques points forts des mathématiques françaises

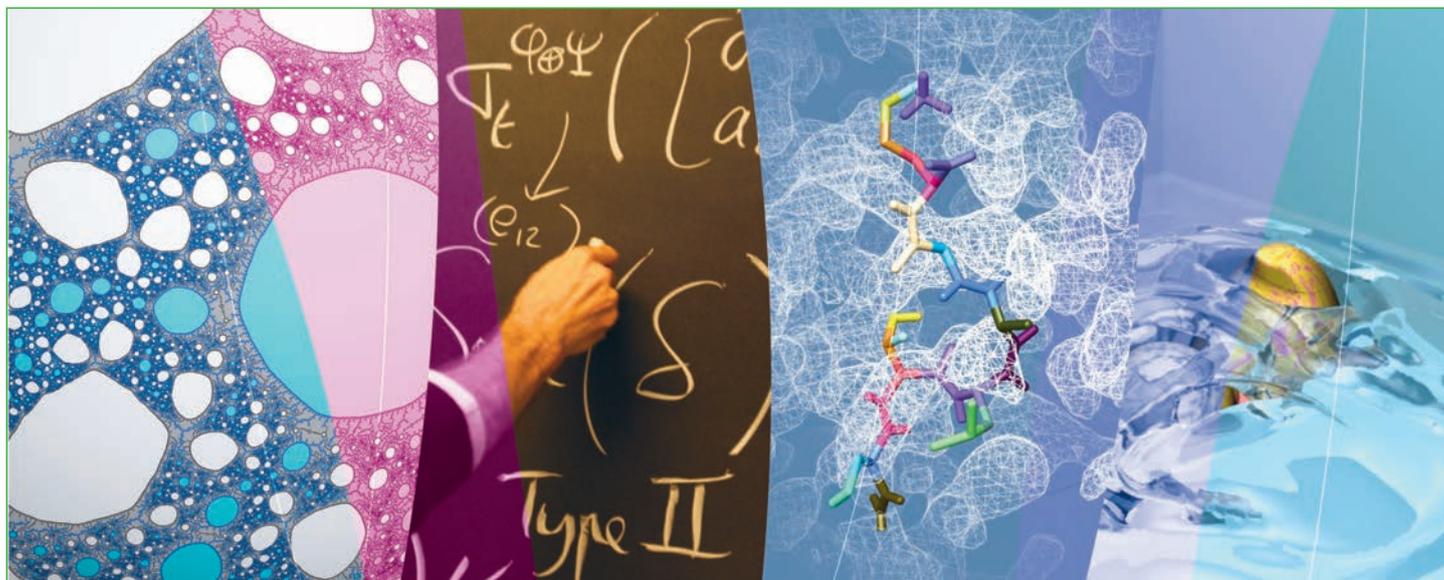
Dans les fondamentaux mathématiques, en théorie des nombres et en géométrie algébrique, la France est très présente, avec plusieurs médailles Fields. Dans ces domaines, une ligne de force vient de l'identification dans ces deux domaines de problèmes similaires. Cette « analyse par correspondance » a permis de faire de grands progrès et a réussi à débloquer des problèmes mathématiques importants en utilisant les connaissances et les savoir-faire de deux domaines différents. Dans l'algèbre et les problèmes arithmétiques, la lecture géométrique de ces problèmes a conduit à débloquent de nombreuses difficultés connues en arithmétique et en théorie des nombres, ce qui a abouti par exemple à la preuve du théorème de Fermat.

Le développement des probabilités a fait un grand bond dans les trente dernières années et la France est maintenant très en pointe comme le montre la médaille Fields de Wendelin Werner. Il avait fait sa thèse dans un environnement déjà très fort au sein d'une école très reconnue de probabilités en France.

Les équations aux dérivées partielles (EDP) sont aussi un domaine de prédilection français où l'on a des résultats impressionnants au niveau mondial, citons Cédric Villani entre autres. Grâce aux EDP, en particulier au contrôle des EDP, on peut expliquer comment on arrive à calculer l'écoulement dans un canal et gérer la régulation des niveaux. Une catégorie d'études en EDP

est liée à la planète terre, par exemple l'évolution du littoral qui est un beau sujet d'étude. On peut aussi penser aux problèmes inverses et à l'analyse en ondelettes qui ont contribué à l'étude des poches d'hydrocarbure et à l'étude de la structure géologique de la terre.

Pour toutes ces études aux interfaces, une des grandes difficultés est de trouver le « passeur » qui permet à deux communautés de parler le même langage. La notion de langage est cruciale en mathématiques, elle est nécessaire pour faire passer des idées, non seulement entre scientifiques, mais aussi à la société : le mathématicien doit aussi parler au grand public. Dans cette optique, Cédric Villani va créer un musée des mathématiques face à l'Institut Henri Poincaré, dans le bâtiment Perrin. Ce bâtiment porte le nom de Jean Perrin, à qui l'on doit le CNRS, et dont le bureau est toujours en état original dans ce bâtiment. Un projet de 14M€ financé dans le contrat de plan État-Région devra permettre de développer ce projet de musée des mathématiques, qui sera un lieu important de médiation scientifique. Dans le même ordre d'idées, l'INSMI vient de créer un nouveau groupement de service, « Autour de la diffusion des mathématiques (AuDiMath) » et participe à la création de la Fondation Blaise Pascal avec l'Université de Lyon. Cette Fondation sera dédiée à la diffusion des mathématiques dans la lignée d'un projet antérieur, Cap'Maths, qui a notamment contribué au financement des nombreuses associations qui interviennent auprès des jeunes dans les établissements scolaires de la maternelle au lycée.



© Arnaud Chéritat/CC-BY-SA/CNRS - Jérôme Chatin/CNRS Photothèque - Equipes EDP et Nano-D, LJK (CNRS/UGA/Inria) - Equipes EDP et EVASION, LJK (CNRS/UGA/Inria)



Jean-Paul Delahaye

*Jean-Paul Delahaye est Professeur émérite à l'Université de Lille 1 et chercheur au laboratoire CRISTAL (Centre de recherche en informatique signal et automatique de Lille, UMR CNRS 9189). Ses travaux portent sur les algorithmes de transformation de suites, sur l'utilisation de la logique en Intelligence artificielle, sur la théorie des jeux, et aujourd'hui sur la théorie algorithmique de l'information (complexité de Kolmogorov) avec en particulier des applications à la finance. Il est l'auteur d'une quinzaine de livres. En 1998, il a reçu le Prix d'Alembert de la Société mathématique de France. Il tient la rubrique mensuelle Logique et calcul dans la revue Pour la science (version française du Scientific American). Il rédige aussi un blog (<http://www.scilogs.fr/complexites/>) consacré en particulier aux monnaies cryptographiques. Son dernier livre est : *Inventions Mathématiques*. Éditions Belin/Pour la science, 2013. D'autres informations sur <http://www.lifl.fr/~delahaye/>*

L'informatique théorique est une discipline mathématique qui a atteint sa maturité. Elle est le lieu d'une étonnante profusion d'idées. Ses méthodes et résultats se rattachent essentiellement à l'arithmétique (en particulier en cryptographie), à la logique mathématique (théorie du calcul, théorie de la démonstration, logiques non standard, etc.) et à la théorie de l'information, à chaque fois en accordant une importance particulière aux aspects algorithmiques des problèmes.

Plus que toute autre discipline, l'informatique a connu une évolution rapide qui a suscité un travail théorique d'une extrême richesse dont la nature est principalement mathématique. En effet, on s'est aperçu que les mathématiques disponibles, non seulement ne répondaient pas à toutes les questions qui se posaient à propos du calcul et de l'information, mais qu'en fait des domaines mathématiques nouveaux devaient être définis et explorés. Un foisonnement remarquable d'idées en est résulté, dont il serait absurde de contester qu'il s'agit de mathématiques, même si comme on le sait les anciennes disciplines sont parfois peu pressées d'accueillir des thèmes nouveaux, nés de problèmes externes.

En fait, c'est une nouvelle sensibilité mathématique qui a été encouragée par l'usage des ordinateurs et des problèmes qu'ils posent à l'esprit théoricien. Si tout remonte à la décennie 1930 avec les travaux d'Alan Turing, Kurt Gödel et Alonso Church sur la calculabilité, depuis cette perception nouvelle a connu un essor considérable. À côté des mathématiques du continu, ces mathématiques du discret, du calcul et de l'information se sont épanouies et on doit constater qu'on est très loin d'avoir parcouru ne serait-ce que les allées principales de ce jardin foisonnant qui croît sur le terrain des circuits électroniques. Tout bouillonne dans cet univers que les mathématiques pures considèrent maintenant avec grand intérêt et qu'elles cessent progressivement de désigner comme extérieur.

Organiser des milliards de calculs ?

Donner des ordres précis aux ordinateurs de façon à ce qu'ils fassent ce qu'on attend s'appelle écrire des algorithmes. Les mathématiciens depuis toujours conçoivent de telles procédures de calcul (l'algorithme d'Euclide qui détermine le plus grand commun diviseur de deux nombres est né avec

L'informatique et les mathématiques : une relation passionnée

les mathématiques il y a plus de deux mille ans). Cependant, en pratique, la règle implicite était qu'on utilisait les algorithmes en opérant à la main quelques dizaines ou au plus quelques centaines d'opérations élémentaires. Lorsque des machines capables de réaliser des millions, puis des milliards

de calculs sans erreur furent disponibles, on découvrit qu'une science nouvelle, l'algorithmique, devait être développée et que cette science était d'essence mathématique. Commander des calculateurs automatiques n'est ni simple ni évident et des méthodes au premier regard satisfaisantes peuvent être totalement vaines dans le monde réel des ordinateurs. La résolution de systèmes d'équations linéaires par les formules de Cramer (qui expriment les solutions comme des rapports de deux déterminants) ne vous permettra pas de traiter des systèmes de taille 20, alors que d'autres méthodes iront bien au-delà. Les ordinateurs quels qu'ils soient (ceux des années cinquante, comme ceux d'aujourd'hui ou ceux de 2100) à un moment ou un autre butent sur des limites et c'est à cette évidence-là qu'est confronté celui qui doit concevoir des algorithmes. Il ne peut jamais raisonner (contrairement à ce que fait le débutant en programmation) en se disant que la puissance de la machine suppléera au manque d'analyse préalable. La règle véritable, opposée à l'idée première, est donc que : plus une machine est puissante plus il y a de travail (mathématique) à mener pour la faire fonctionner correctement et efficacement.

Un problème aussi simple que la multiplication des nombres entiers conduit au développement de méthodes complexes et délicates quand on doit manipuler des nombres de grandes tailles possédant plusieurs milliers ou millions de chiffres. On a été étonné qu'à propos d'une question aussi élémentaire des progrès soient possibles. Pourtant dans la décennie 1970 on a mis au point des méthodes permettant de multiplier deux nombres de n chiffres en un temps proportionnel à

$n \cdot \ln(n) \cdot \ln(\ln(n))$ ce qui en pratique est presque équivalent à un temps proportionnel à n et est bien plus rapide que les méthodes classiques tirées des procédures provenant d'Inde et pratiquées à la main depuis des millénaires qui, elles, demandent un temps de travail proportionnel à n^2 . Ce que vous pouvez faire aujourd'hui avec le bon algorithme de multiplication, sans lui et en ne comptant que sur la loi de Moore (elle prédit un doublement de la puissance des ordinateurs tous les deux ans) il vous faudrait attendre 20 ans ou plus pour y parvenir.

Records pulvérisés grâce aux théoriciens

Grâce à cette algorithmique sans cesse revisitée complétée et méticuleusement perfectionnée autant qu'aux progrès de l'électronique on a pu, depuis quarante ans, progresser dans le calcul des constantes mathématiques et arriver à obtenir plusieurs milliards de décimales des principales d'entre elles (π , e , etc.). Pour le nombre π , on en est à treize mille milliards de décimales. Ces progrès algorithmiques se sont parfois accompagnés de surprises comme la découverte par une équipe canadienne en 1995 (en s'aidant d'un ordinateur) d'une nouvelle formule pour le calcul de π et d'une méthode exploitant cette formule qui autorise de calculer les chiffres binaires de π indépendamment les uns des autres, ce que tout le monde croyait impossible. Cet exploit théorique a été transformé en exploit pratique par Colin Percival qui en septembre 2000 a obtenu une petite tranche de chiffres binaires de π autour du 10^{15} ème chiffre binaire de π , aujourd'hui dépassé en allant voir autour du chiffre binaire positionnée deux fois plus loin. La performance semblait hors de portée pour des siècles : un bon algorithme rend possible ce qui sans lui ne l'est pas.

Comme autres conséquences de cette maîtrise algorithmique des calculs arithmétiques avec des nombres de grande taille, il faut citer la découverte de nombres premiers records : un nombre premier de 22 millions de chiffres a par exemple été découvert en 2016. Là encore la découverte dans la décennie 1970 des tests probabilistes de primalité (qui vous indiquent sans certitude absolue mais avec un risque d'erreur infinitésimal qu'un nombre entier est premier) fut une surprise théorique, par ailleurs d'une grande utilité en cryptographie.

Plus récemment, et cette fois c'est un résultat théorique, on a enfin pu établir que déterminer la nature première ou non d'un entier est « polynomial » : le temps de calcul nécessaire est majoré par un polynôme dont la variable est la longueur du nombre testé. Au-delà des exploits informatiques parfois anecdotiques c'est toute une science de l'organisation des calculs qui a connu des progrès considérables et a atteint la maturité tissant des liens profonds avec les mathématiques et changeant parfois radicalement les points de vue. Des livres d'arithmétique d'un genre nouveau sont apparus dans lesquels les concepts introduits sont systématiquement associés à des outils algorithmiques permettant de les manipuler réellement et efficacement avec un ordinateur. Les mathématiques sont nécessaires à la maîtrise des ordinateurs et contribuent en profondeur à leur compréhension, mais en retour les ordinateurs conduisent à pratiquer les mathématiques de manière différente et donnent une vue nouvelle des objets abstraits que la machine (pourvu qu'on l'instruise pour cela) manipule mieux que l'esprit humain et en tout cas avec une précision et une sûreté sans égales.

Ce n'est pas seulement l'arithmétique mais une partie importante des mathématiques qui est concernée par les progrès de l'algorithmique. Le calcul formel (domaine où on demande à l'ordinateur de calculer non plus seulement avec des nombres mais aussi avec des symboles, des fonctions, des équations, des matrices, etc.) s'est considérablement développé depuis et est maintenant présent dans les lycées et sur le bureau des ingénieurs.

Les applications stimulent les théoriciens

Suscités par les progrès des algorithmes et des machines, des domaines d'applications nouveaux sont apparus qui, en retour, ont exigé des théoriciens des explorations nouvelles. À titre d'exemple citons la phylogénie qui est l'art de reconstituer les arbres généalogiques des espèces vivantes : elle s'est vue radicalement transformée. Autrefois les données morphologiques ou moléculaires étaient traitées à la main par des méthodes nécessairement limitées en complexité. Depuis une quarantaine d'années l'utilisation des ordinateurs a permis d'envisager des jeux de données plus volumineux, mais aussi l'utilisation de méthodes bien plus complexes et performantes. Des algorithmes nouveaux, fondés sur des idées nouvelles et des résultats particuliers de la théorie des graphes et des arbres, associés à des résultats de statistiques et de modélisation sont aujourd'hui au cœur de cette discipline transfigurée par l'intrusion de l'informatique et des mathématiques au plus profond de son fonctionnement. Plus généralement, le traitement des données de la biologie moléculaire a engendré des développements théoriques et algorithmiques nombreux donnant naissance à un domaine scientifique mi-théorique mi-pratique, la bioinformatique, qui prend de plus en plus d'importance et qui contribuera peut-être à une mathématisation de la biologie analogue à celle que connaît depuis longtemps la physique.

La logique mathématique

Dans ce domaine si foisonnant de l'algorithmique, il faut mentionner les recherches basées sur la logique mathématique qui font envisager la programmation avec un regard différent. L'idée de la programmation déclarative formulée au début de la décennie 1970 est que pour faciliter le travail du programmeur on doit seulement lui demander de décrire son problème, la machine s'occupant ensuite seule de le résoudre. Dans ce paradigme informatique programmer n'est pas commander mais simplement déclarer. Bien sûr, ce rêve ne peut fonctionner à tout coup : si pour un problème donné plusieurs algorithmes existent, comment la machine doit-elle choisir ? Cependant le langage Prolog, inventé à Marseille par A. Colmérauer et ses collaborateurs, en se fondant sur des techniques de démonstration automatique réussit un compromis entre simplicité et efficacité, autorisant la déclarativité. Toujours dans le cadre des applications des concepts de la logique mathématique, une autre voie appelée programmation par les preuves se propose de concevoir la programmation comme un exercice d'écriture de démonstrations (cette approche se fonde sur ce qu'on appelle l'isomorphisme de Curry-Howard qui établit un parallélisme entre preuves et programmes). Le programmeur écrit la démonstration d'une certaine propriété - par exemple que « pour toute suite de nombres S , il existe une suite S' qui possède les mêmes éléments classés par ordre croissant » - et à partir de cette preuve la machine engendre un programme dont on est certain qu'il ne comporte aucune erreur, qui classera les

éléments d'une suite S' par ordre croissant, donnant une suite S' . Cette approche pour la mise au point de logiciels sans erreur a déjà à son actif plusieurs réussites dans le domaine de la certification des programmes et de circuits. Les logiciels assistants de preuves souvent fondés sur cette approche aident à garantir que les preuves mathématiques longues et difficiles sont correctes. Appliqués par exemple à la démonstration de la conjecture de Kepler, ils sont un succès du travail commun entre mathématiques et informatique. Ces assistants de preuve joueront un rôle de plus en plus important en mathématiques.

Au-delà de ces deux idées, la logique joue aujourd'hui un rôle important en Intelligence artificielle où toutes sortes de recherches ont été menées au sujet de ce qu'on appelle les logiques non classiques dont le but est de suivre au plus près le raisonnement humain plus complexe que le raisonnement mathématique pur. Les logiques paraconsistantes permettent de traiter des données comportant des contradictions ; les logiques non-monotones considèrent que ce qui est déduit peut être invalidé lorsque des informations nouvelles surviennent ; les logiques floues, partielles, multivaluées, modales refusent l'idée classique que tout est vrai ou faux, etc.

La leçon de ces approches tirées de la logique mathématique est que la programmation des ordinateurs doit être abordée sous tous les angles possibles et qu'un bon algorithme est d'abord une idée, mieux une vision. Toute théorie mathématique y compris la plus abstraite est susceptible de produire des algorithmes utiles. Citons quelques domaines sujets de travaux intenses ces dernières années. Il y a l'algorithmique pour le parallélisme, c'est-à-dire pour la programmation des ordinateurs ayant plusieurs unités de calcul. Il y a l'algorithmique distribuée qui permet la maîtrise des réseaux y compris ceux dits pair-à-pair qui ont conduit à la conception du bitcoin, une monnaie fonctionnant sans autorité de contrôle (qu'on peut qualifier de monnaie mathématique). Il y a l'algorithmique pour les images de synthèse qui produit en particulier les fameuses et époustouflantes visions mathématiques que sont les fractales, depuis cinq ans devenues des fractales 3D. Il y a les algorithmes de compression de données dont l'importance pratique est sans cesse confirmée. Il y a l'analyse d'algorithmes, objets de beaux travaux mathématiques (analyse dans le pire des cas, analyse dans le cas moyen, etc.). Il y a les algorithmes probabilistes qui supposent que l'ordinateur dispose d'une source de chiffres aléatoires. Il y a les algorithmes génétiques fondés sur l'exploitation de la métaphore variation-sélection empruntée à la théorie de l'évolution. Il y a les réseaux neuronaux qui permettent la mise au point d'algorithmes d'apprentissage automatique analogues (autant qu'on puisse le savoir) à ceux à l'œuvre dans les cerveaux des organismes vivants. On leur doit en partie le récent succès du programme Alphago sur le champion de jeu de Go, Lee Sedol, en mars 2016. Après celui de Deep Blue sur Kasparov en 1997, cet événement vient prouver que pour les jeux de tableaux, l'homme ne peut plus rivaliser avec la machine munie de bons programmes.

La cryptographie mathématique

Cependant s'appuyant parfois sur les progrès de l'algorithmique arithmétique (et les stimulant), la cryptographie plus que tout autre domaine a

connu depuis cinquante ans une authentique révolution et est devenue une discipline civile (elle était auparavant aux mains des militaires) centrale de l'informatique. Traitée dans un autre article, je n'en parlerai pas plus ici. Elle montre à nouveau à quel point la maîtrise des concepts de l'arithmétique (qui longtemps a eu la réputation d'être une science inutile) et de la théorie de l'information peut se révéler importante pour le développement de l'informatique. Aujourd'hui chacun doit savoir que l'utilisation d'une carte bancaire à puce et le paiement par internet mettent en jeu des mathématiques de haut niveau.

Pourtant, quelles que soient les découvertes faites, il se trouve que certaines questions restent mal résolues. La sûreté de nombreux algorithmes de cryptographie repose sur l'affirmation qu'un certain problème est intrinsèquement difficile à résoudre. La sûreté de l'algorithme RSA s'appuie sur le problème de la factorisation des grands nombres. Or la preuve que la factorisation des grands nombres est intrinsèquement difficile n'a pour l'instant pas été apportée. Du coup, contrairement à ce qu'on présente souvent au public, la sûreté de nombreuses méthodes de cryptographie reste suspendue à des résultats mathématiques manquants. Cette situation permet de dire qu'il faut encore plus d'informatique théorique et en particulier qu'il faut approfondir encore les concepts les plus abstraits de la théorie du calcul pour accroître la sécurité des protocoles cryptographiques dont chacun a besoin. L'informatique théorique n'est pas une danseuse coûteuse et inutile destinée à procurer des satisfactions intellectuelles à des chercheurs désœuvrés, mais une science fondamentale dont on attend les avancées avec impatience.

Graves obstructions en théorie de la complexité

Au cœur justement de l'informatique théorique, la théorie du calcul (ou théorie de la calculabilité) née dans la décennie 1930 répond à des questions sur ce qui est faisable et sur ce qui ne l'est pas dans l'absolu avec un ordinateur. Elle énonce des résultats négatifs du type : il est impossible d'écrire un programme qui chargé d'analyser d'autres programmes repère ceux qui calculent la même fonction (indécidabilité de l'équivalence des programmes). Ces preuves d'impossibilité sont importantes sur le plan général et de nouveaux résultats de ce type sont régulièrement démontrés. Une partition de plus en plus précise s'établit entre l'algorithmiquement faisable et l'impossible du calcul. Ce domaine a ouvert la voie depuis trente ans à une analyse d'un niveau plus fin, où on se pose par exemple la question : peut-on décomposer en facteurs premiers un nombre de n chiffres en utilisant un temps de calcul majoré par un polynôme en n (on parle de temps polynomial) ? Les problèmes qu'on peut traiter en temps polynomial constituent la classe de complexité P. On considère qu'un problème dans la classe P est non seulement algorithmiquement traitable mais efficacement traitable ; dans le cas contraire, on considère que le problème est intrinsèquement difficile. Connaître la classe P est important. Par ailleurs, les problèmes dont on peut vérifier les solutions en temps polynomial constituent la classe NP. On sait aujourd'hui que le problème de la factorisation est dans la classe NP (on vérifie rapidement qu'une décomposition en facteurs d'un entier est juste en opérant quelques multiplications) mais on ignore si ce problème est dans la classe P (on pense que non, mais on ne sait pas le démontrer).

La position exacte du problème de la factorisation est une question importante pour la cryptographie. Il semble intuitivement évident que la classe NP n'est pas identique à la classe P - car il est certainement plus facile de vérifier une solution proposée que de la trouver ! Pourtant la démonstration de l'affirmation $P \neq NP$ est l'une des énigmes les plus récalcitrantes de la théorie des classes de complexité. Un prix d'un million de dollars a d'ailleurs été offert à qui prouverait ce résultat ou au contraire que $P=NP$. Il y a maintenant plus de cinquante ans, on découvrirait ce problème qu'on espérait résoudre rapidement. Aujourd'hui, malgré de multiples tentatives (et le prix !) on cherche toujours à le résoudre.

Cette situation de blocage est franchement gênante, car elle se produit en un point central de la théorie de la complexité : tant que cette question ne sera pas proprement réglée la théorie des classes de complexité sera entravée et aucun des résultats dont on a besoin en cryptographie pour prouver de manière absolue la sûreté des méthodes les plus utilisées ne sera établi. Démontrer par exemple que la factorisation ne peut pas être résolue en temps polynomial impliquerait que $P=NP$, et donc démontrer que la factorisation n'est pas polynomiale est plus difficile que démontrer que $P \neq NP$. Tant que $P \neq NP$ résiste, il n'y a aucun espoir de prouver le résultat attendu en cryptographie sur la factorisation. Le travail fait en théorie des classes de complexité n'a cependant pas été vain et un grand nombre de classes nouvelles ont été identifiées (bien souvent sans réussir à démontrer qu'elles étaient différentes deux à deux) et elles composent un panorama très fin des échelles de difficulté algorithmique, dont on doit espérer qu'il nous achemine vers le déblocage attendu.

Quintessence d'indécidabilité

Ces difficultés mathématiques sont peut-être liées aux résultats logiques d'incomplétude (démontrés par Kurt Gödel en 1931) et dont la compréhension n'a cessé de s'approfondir, en particulier grâce à la théorie de la complexité de Kolmogorov. Celle-ci développe mathématiquement l'idée qu'est complexe ce qui ne peut pas s'exprimer brièvement. Ces quarante dernières années elle a connu des développements remarquables conduisant en particulier à l'élucidation du problème de la définition mathématique des suites aléatoires (posé depuis le début du XX^e siècle). Cette définition qui exprime l'idée qu'est aléatoire ce qui est incompressible a conduit à la découverte de la famille extraordinaire des nombres Oméga de Gregory Chaitin. Ces nombres concentrent en eux des propriétés d'indécidabilité remarquables : ils sont transcendants, aléatoires et incalculables.

Plus étonnant, la théorie de la complexité de Kolmogorov a établi des liens profonds avec la physique et pourrait bien être une clef de la thermodynamique statistique comme cela a été suggéré par Charles Bennett et Wojciech Zurek.

Ces liens entre informatique théorique et physique se multiplient. Non seulement il est apparu que le problème du coût énergétique minimum du calcul et des calculs réversibles s'appuie sur eux, mais ils sont aussi à l'origine d'une révolution dont tout laisse prévoir qu'elle occupera une place considérable dans l'avenir : l'introduction de la mécanique quantique en informatique théorique.

Naissance de l'informatique quantique

L'idée est de prendre au sérieux que notre monde physique est réglé par la mécanique quantique et non pas par la mécanique classique. Auparavant l'hypothèse implicite de toute l'informatique théorique était celle d'un monde newtonien. Cette hypothèse est moins bénigne qu'on le croyait et il a fallu admettre que de nombreux problèmes fondamentaux doivent être reformulés dans un monde quantique.

Citons deux résultats importants obtenus dans cette direction. Le premier concerne encore la cryptographie où l'intrusion de la mécanique quantique a permis de définir des protocoles d'échanges secrets dont la sûreté ne repose plus sur des conjectures mathématiques non démontrées mais simplement sur l'hypothèse de la validité des lois quantiques. Ces protocoles qui utilisent par exemple des photons polarisés ont été concrètement mis en place ces dernières années et on vend aujourd'hui des systèmes de cryptographie quantique. Le second résultat découvert en 1994 par Peter Shor, est la preuve qu'un ordinateur quantique peut réaliser la factorisation des entiers en temps polynomial ce que, comme nous le disions, un ordinateur classique ne peut vraisemblablement pas faire. Cette preuve a deux conséquences. D'abord elle montre que l'introduction des modèles quantiques de calcul change la situation, rendant possibles des traitements qui ne le sont pas dans le monde classique (de nouvelles classes de complexité quantiques sont donc venues compléter la famille commencée avec P et NP). Ensuite, cette preuve établit que la mise au point de calculateurs généraux quantiques, dont on ne sait pas aujourd'hui si elle aboutira, entraînerait des bouleversements en cryptographie. En fait, c'est une nouvelle conception de l'information et du calcul que suggère la mécanique quantique et c'est une remise en cause profonde des modèles jusqu'ici considérés comme absolus que les théoriciens sont maintenant contraints d'opérer : le modèle de la machine de Turing classique doit laisser la place à celui de la machine de Turing quantique.

On ne prendra donc aucun risque en pariant que malgré la qualité et la variété des travaux déjà produits par la rencontre des mathématiques et de l'informatique, tout ce foisonnement n'est que le début d'une histoire dont on n'a pour l'instant vu qu'une infime partie. Les mathématiques et l'informatique sont intimement liées, leur rencontre est devenue une association, peut-être un jour une fusion.

Bibliographie

- Seiki Akama. *Elements of Quantum Computing*. Springer, 2015.
- Jean-Paul Delahaye. *Complexités. Aux limites des mathématiques et de l'informatique*, Éditions Belin/Pour la science, Paris, 2006.
- Oded Goldreich. *P, NP, and NP-Completeness: The basics of computational complexity*. Cambridge University Press, 2010.
- Jan Van Leeuwen. *Handbook of theoretical computer science*. Volume A: algorithms and complexity ; Volume B: Formal Methods and Semantics. Mit Press, 1991.
- David Ruelle. *Post-human mathematics*. arXiv preprint arXiv:1308.4678, 2013.



Benoît Perthame

Professeur à l'université Pierre-et-Marie-Curie à Paris et actuellement directeur du Laboratoire Jacques-Louis Lions (UMR CNRS 7598, Inria), Benoît Perthame est spécialiste d'équations aux dérivées partielles.

Invité plénier au Congrès international des mathématiciens à Séoul en 2014, il a également reçu la Médaille Blaise Pascal de la European Academy of Sciences et le Grand Prix Inria-Académie des sciences (2015).

Depuis la fin des années 90, B. Perthame s'intéresse au rôle joué par les modèles non-linéaires dans les sciences du vivant. L'auto-organisation de populations de cellules, la dynamique des tissus vivants, l'évolution, les neurosciences, sont ses domaines d'intérêt où les formalismes mathématiques sont couramment utilisés.

Les biologistes disposent maintenant d'instruments qui génèrent massivement des données : images, génomes et autres signaux de tous types. Ils sont donc confrontés à une difficulté nouvelle qui consiste à traiter ces données, les nettoyer des erreurs de mesure et les représenter utilement. Les mathématiques apparaissent d'abord comme un outil permettant d'atteindre cet objectif. Les mécanismes biophysiques qui produisent ces données importent peu, il s'agit déjà de les visualiser efficacement, tout comme les méthodes d'apprentissages visent à prédire des observations dans un contexte trop complexe pour une analyse physique.

A côté de cette utilisation, une autre approche mathématique aux sciences du vivant consiste à modéliser, c'est-à-dire à exprimer en termes mathématiques le fonctionnement d'un système biologique. Elle correspond au besoin de donner un sens aux observations, d'en expliquer les mécanismes principaux, à prédire le comportement du système et ainsi de pouvoir décider et contrôler. Deux beaux exemples historiques sont bien connus. Le premier concerne le développement d'épidémies ; Daniel Bernoulli décrit le modèle et l'utilise pour calculer le nombre de vies qui seraient sauvées par inoculation dans l'article à l'Académie royale des sciences de Paris en 1760, « Essai d'une nouvelle analyse de la mortalité causée par la petite vérole et des avantages de l'inoculation pour la prévenir ». En langage moderne, son modèle d'épidémiologie s'écrirait maintenant sous la forme susceptibles-infectés

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}S(t) = B - \beta S(t)I(t) - m_S S(t), \\ \frac{d}{dt}I(t) = \beta S(t)I(t) - (R + m_I)S(t), \end{cases}$$

avec $S(t)$ le nombre de susceptibles, $I(t)$ le nombre d'infectés, B le nombre de naissances, β le taux de transmission, m_S et m_I les taux de mortalité et R la guérison. Le second exemple est dû à L. Euler. En 1767 il écrit l'article intitulé 'Recherches générales sur la mortalité et la multiplication du genre humain'. Il motive cette recherche par la nécessité d'une « approche générale » pour interpréter des registres administratifs disparates. C'est toujours le cas, un modèle est le meilleur moyen d'expliquer des données.

Parmi les outils de modélisation plus récents, l'instabilité de Turing fait partie des plus spectaculaires puisqu'il décrit un principe universel de formation des « patterns » observés dans la nature. Contrairement à l'intuition, la diffusion qui en général mélange et homogénéise, peut déstabiliser un

Modélisation mathématique dans les sciences du vivant

système différentiel stable. A. Turing propose ce mécanisme dans son célèbre article de 1952[6]. Il en donne une analyse mathématique, introduit la notion de morphogène et montre qu'il peut expliquer la segmentation lors du développement embryonnaire. Ce mécanisme ne sera observé expérimentalement que bien plus tard pour des réactions chimiques et le calcul permet de nos jours des simulations numériques efficaces et reproductibles par tous, voir la figure 2. Le

mécanisme de Turing, ses principes généraux et ses limitations, sont encore au cœur de discussions dans différents domaines de la biologie. Même s'il est remis en cause avec les moyens d'observation actuels, sa force est qu'il sert toujours de base pour comparer d'autres mécanismes organisationnels. Sur ce sujet et pour une discussion détaillée, on pourra consulter l'ouvrage de J. Murray[3].

Quelques domaines classiques ont depuis longtemps été abordés à l'aide d'équations[2]. En écologie, le modèle de Lotka-Volterra explique pourquoi la reprise de la pêche à la fin de la première guerre mondiale a changé la proportion de petits et gros poissons (proie/prédateurs) observée sur les marchés de Trieste. La modélisation mathématique prédictive et le calcul sont maintenant utilisés par exemple pour prévoir la gestion des forêts, éventuellement en prenant en compte des modèles de l'économie du bois. Ce domaine s'est étendu à la description des invasions écologiques, par combinaison du mouvement des individus et la reproduction dans des zones favorables, ouvrant la voie aux phénomènes d'ondes de propagation dont la théorie a été confrontée aux expériences par J. G. Skellam[5] qui dès 1951 observait l'invasion du rat musqué en Europe centrale. Ces questions de coopération et compétition entre espèces, de diversité génétique, de vitesses de propagation des populations, trouvent actuellement un nouveau champs d'intérêt avec la prise en compte du changement climatique : les espèces pourront-elles suivre ? Cette question suscite non seulement des

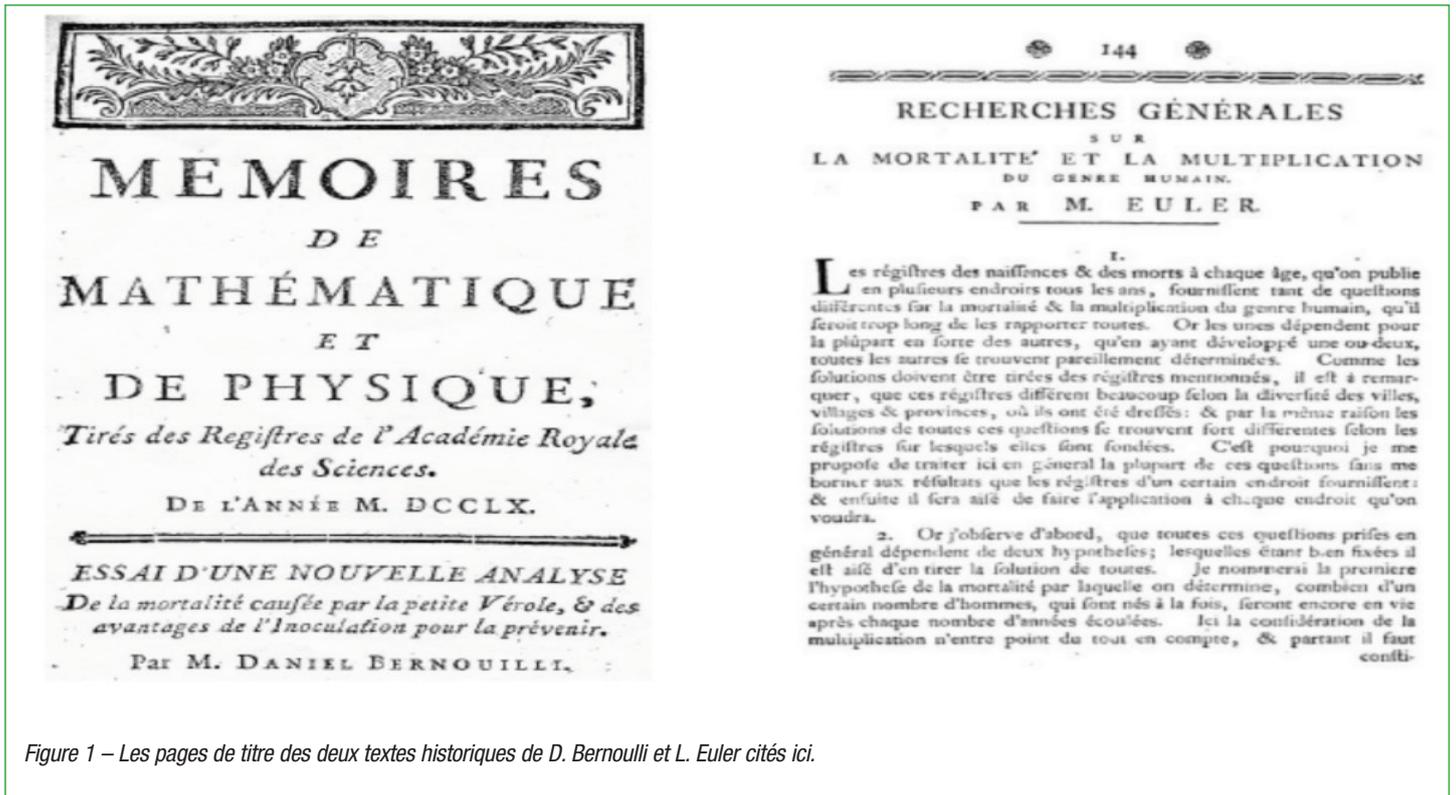


Figure 1 – Les pages de titre des deux textes historiques de D. Bernoulli et L. Euler cités ici.

études pratiques (calculer des prédictions du modèle) mais aussi des études d'intérêt mathématique car un formalisme nouveau doit être introduit.

Une activité intense se concentre également sur les différents modèles décrivant l'adaptation/sélection des organismes, l'évolution darwinienne ou l'épigénétique, voir la Fig. 3. Comment un trait phénotypique va-t-il prendre l'avantage dans une population (d'individus, de cellules) ? Peut-il y avoir

co-existence de plusieurs populations avec différents traits ? Peut-il y avoir co-évolution de traits représentant des phénotypes différents ? Comment les effets statistiques disparaissent-ils dans de grandes populations ? Quels sont les effets comparés de l'adaptation ou des mutations ? Toutes ces questions, qui apparaissent dans des domaines allant de l'écologie (compétition entre espèces, résistance aux pesticides) aux domaines médicaux (résistance aux médicaments), se prêtent à différents niveaux de

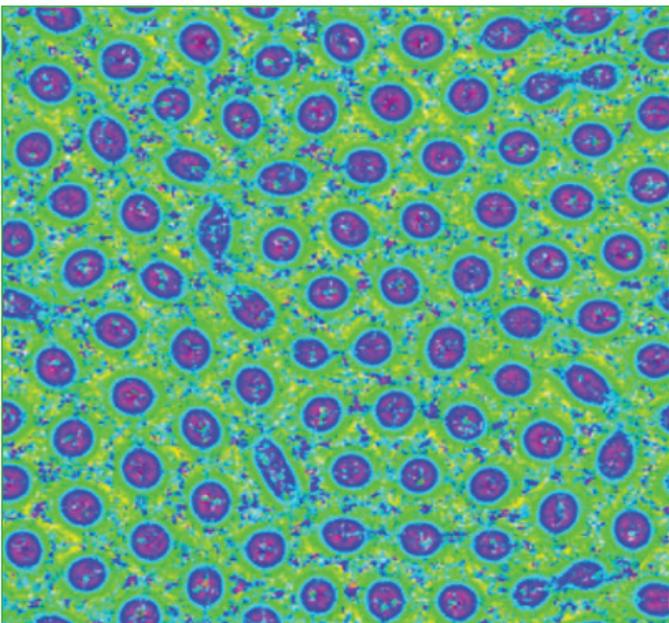


Figure 2 – Solutions numériques du modèle de réaction chimique CIMA avec deux différents jeux de paramètres. Il s'agit d'un exemple classique de 'pattern' de Turing. Voir [4].

modélisation utilisant des outils probabilistes, théorie des jeux, équations aux dérivées partielles etc. On peut appréhender intuitivement l'intérêt mathématique puisque la sélection se représente de façon très singulière comme un point unique ou quelques points isolés dans un continuum de traits possibles soumis à l'aléa des mutations.

Le domaine très vaste des comportements collectifs attire également de nombreuses recherches et recouvre des sujets allant des molécules aux animaux en passant par les cellules et les tissus biologiques. L'exemple de l'agrégation représente assez bien ce sujet au niveau individuel ; si on suppose simplement que les individus se déplacent selon la position de leurs voisins on trouve l'équation

$$\frac{\partial n(t, x)}{\partial t} = \text{div} [n(t, x) \int \vec{V}(x - y) n(t, y) dy],$$

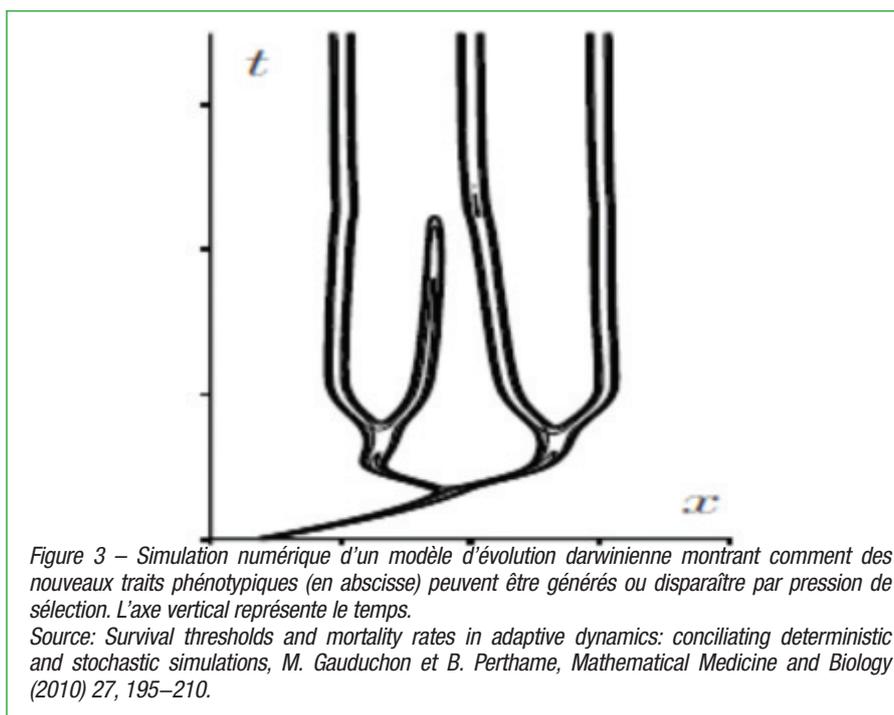
où $n(t, x)$ représente le nombre d'individus à la position x et V la vitesse induite par un autre individu à la position y . Dans cette famille d'équations on trouve le célèbre système de Keller-Segel qui décrit le chimiotactisme et s'applique à de nombreux domaines bio-médicaux. Malgré sa dérivation en 1971, ce système continue de susciter une énorme littérature mathématique tant le comportement des solutions est riche. Puisqu'un tissu biologique peut s'appréhender comme un ensemble de cellules en interactions entre elles et avec le milieu extra-cellulaire, on voit apparaître une autre théorie mathématique qu'est l'analyse multi-échelle : quelles sont les propriétés d'une population d'individus lorsque l'on connaît le comportement de chaque individu ? La géométrie intervient également, par exemple dans la morphogenèse et la réparation tissulaire très étudiée chez plusieurs organismes, puisque la contraction de structures d'acto-myosine joue un rôle clef dans la déformation de cellules et tissus biologiques et peut-être associée à des mouvements par courbure moyenne¹.

Une fois les modèles établis et validés par comparaison aux observations ou aux expériences, ils peuvent déboucher sur des applications très concrètes dans des domaines médicaux, comme le montre l'article d'O. Saut dans ce numéro.

Ces quelques exemples montrent que de très nombreuses questions issues des sciences du vivant motivent la recherche mathématique actuelle et il est difficile d'en faire un panorama exhaustif d'autant que de nombreuses équipes de physiciens se sont concentrées sur le vivant et ouvrent de nombreuses perspectives avec des outils de formalisation plus proches de la tradition mathématique. Actuellement de nombreux autres domaines des sciences du vivant se prêtent à la modélisation et les neurosciences se trouvent sans doute parmi les plus mathématisées suite au succès du système de Hodgkin-Huxley pour décrire la propagation du potentiel d'action dans les neurones. Signe de maturité, ces modèles posent dorénavant des questions intrinsèques aux mathématiques et suscitent des analyses théoriques nouvelles entièrement motivées par le besoin de compréhension du formalisme... ce qui peut déconcerter les biologistes.

Références

- [1] S. R. K. Vedula et al, *Mechanics of epithelial closure over non-adherent environments*, Nature Commun. (2015), 10.1038/ncomms7111
- [2] Bacaër, N. *Histoires de mathématiques et de populations*, Editions Cassini, Paris, 2009.
- [3] Murray, J. D. *Mathematical biology*, Vol. 1 and 2, Second edition. Springer, 2002.
- [4] Perthame, B. *Parabolic equations in biology*, Springer, 2015.
- [5] Skellam, J. G. *Random dispersal in theoretical populations*, Biometrika, Vol. 38, 1951.
- [6] Turing, A. M., *The chemical basis of morphogenesis*, Phil. Trans. Roy. Soc. B, 237 (1952), 37–72





Etienne Ghys

Etienne Ghys est directeur de recherche CNRS à l'Ecole normale supérieure de Lyon.

Ses travaux portent sur les systèmes dynamiques et la géométrie. Il est membre de l'académie des sciences et a reçu la médaille d'argent du CNRS. Il s'est investi dans la diffusion des mathématiques dans un large public, par exemple en créant le journal en ligne « Images des Mathématiques » soutenu par le CNRS.

Un coup de feu éclate au Maroc... Incident sans importance, mais qui va changer la vie d'un couple d'américains, d'une nourrice mexicaine, d'une adolescente japonaise. Tout un jeu de petits effets et de grandes conséquences. Une réflexion sur la destinée humaine, soumise au hasard ou à la nécessité ? Beaucoup d'émotion dans Babel, ce film d'Alejandro González Iñárritu sorti en 2006. Les critiques de cinéma n'ont pas manqué d'y voir une illustration du fameux effet papillon qui est probablement le phénomène mathématique le plus connu du grand public.

Que signifie l'effet papillon ?

Google cite 409 000 pages sur « Effet Papillon » et 1 900 000 pages sur « Butterfly Effect ».

On trouve tout et n'importe quoi : des interprétations contradictoires, des affirmations fantaisistes. Selon un internaute s'exprimant dans un forum d'amateurs de cinéma, l'effet papillon serait ... un proverbe japonais !

Un peu d'histoire

La météorologie étudie un phénomène d'une complexité inextricable : le mouvement de l'atmosphère. L'équation qui régit ce mouvement est connue depuis longtemps : c'est l'équation de Navier-Stokes. Mais, savoir écrire une équation ne signifie pas qu'on sache la résoudre ! Qu'on songe un peu à la quantité d'informations nécessaires pour décrire l'atmosphère : il faut connaître la température, la vitesse du vent, la pression atmosphérique, l'hygrométrie etc., non seulement en un endroit donné mais aussi en tous les endroits du globe terrestre ! Avoir une connaissance exacte de ces données est tout simplement impossible : il faut une infinité de données, la plupart inaccessibles.

Edward Lorenz était un théoricien de la météorologie, de formation mathématique, disparu récemment. En 1962, il a l'idée de caricaturer l'équation de Navier-Stokes, de simplifier à l'extrême, de faire « comme si » l'atmosphère ne dépendait que de trois paramètres, alors qu'il en faudrait une infinité ! Simplifier un problème compliqué en espérant qu'il gardera l'essence du phénomène étudié : voilà bien une activité de mathématicien. Et dans son « atmosphère atrophiée » réduite à ses trois coordonnées, E. Lorenz peut faire tourner son ordinateur et calculer les solutions numériques qui sont censées décrire le mouvement. Imaginez l'ordinateur de Lorenz, avec ses petites capacités, en 1962 ! C'est alors qu'il constate « expérimentalement » que la moindre modification dans « son atmosphère jouet », ajouter par exemple 0.000001 à l'une des trois coordonnées, entraîne dans le

L'effet papillon

mouvement atmosphérique un changement considérable après un temps relativement modeste. C'est le phénomène de la « dépendance sensible aux conditions initiales », le

paradigme de la théorie du chaos.

Regardez l'image (page suivante). Elle représente une trajectoire de l'équation de Lorenz simplifiée, dans l'espace tri-dimensionnel. Ces courbes tournent comme des folles, tantôt par la gauche, tantôt par la droite, et il semble impossible de prévoir si un tour à droite sera suivi par un autre tour à droite ou à gauche. Et pourtant, pour une condition initiale donnée, pour une atmosphère donnée, il y a un futur bien défini ; le déterminisme n'est pas remis en cause. En revanche deux points proches dans l'espace tri-dimensionnel, si proches qu'on ne les distingue peut-être pas sur la figure, définissent des trajectoires qui commenceront par être proches mais qui peuvent finir par se séparer de manière importante : l'un part à gauche et l'autre à droite ! Ainsi, si on ne connaît un point qu'avec une certaine incertitude, aussi petite soit-elle, la prédiction de l'avenir devient illusoire.

En 1973, Lorenz fait une conférence dont le titre magnifique résume à merveille cette idée. En voici la traduction française :

« Le battement des ailes d'un papillon au Brésil peut-il provoquer un ouragan au Texas ? ». L'effet papillon était né !

Pourquoi a-t-il fallu attendre Lorenz pour que ce concept passe dans le public ?

Lorenz n'était pas le premier à comprendre cette limitation dans le déterminisme. Henri Poincaré et Jacques Hadamard, au début du vingtième siècle, l'avaient bien compris dans un contexte à peine différent : le mouvement des corps célestes peut être sensible aux conditions initiales... Lorenz le sait bien d'ailleurs et son article cite largement ses sources.



Peut-être que Hadamard et Poincaré n'ont pas su « trouver les mots » et qu'ils se sont contentés d'écrire des articles de mathématiques incompréhensibles ? Cette interprétation ne tient pas. Tous les deux ont fait des efforts de vulgarisation. Poincaré écrit par exemple dans *La Science et l'hypothèse*, un ouvrage de divulgation tiré à des centaines de milliers d'exemplaires :

« Un dixième de degré en plus ou en moins en un point quelconque, le cyclone éclate ici et non pas là, et il étend ses ravages sur des contrées qu'il aurait épargnées ».

Le papillon n'y est pas, mais le cyclone y est ! Probablement que Hadamard et Poincaré étaient trop en avance sur leur temps, et que la société n'était pas prête pour ce changement profond dans le concept de déterminisme. La physique du début du vingtième siècle représente le triomphe de la science du déterminisme, hérité de Newton et Laplace. Tout se calcule, tout se prédit, et pour ce qu'on ne sait pas prédire, on est confiant que ce n'est qu'une question de temps et que la physique ou les mathématiques sauront y répondre. C'était compter sans les révolutions quantiques et relativistes, qui ont ébranlé bien des idées préconçues... En 1973, l'opinion publique est plus

ouverte à ces nouvelles idées, et sans se lancer dans des discussions historico-sociologico-philosophiques, l'idée que le moindre papillon, et pourquoi pas ma modeste personne, pourrait avoir une influence sur le déroulement global du monde qui m'entoure, est bien mieux perçue en 1973 qu'en 1900.

Efficacité d'un papillon au Texas ?

Mais n'oublions pas que Lorenz a tiré ses conclusions de l'examen d'une simplification presque absurde de la « vraie équation » qui régit le mouvement de l'atmosphère. L'effet papillon se fait-il sentir dans la météorologie ? Lorenz ne s'engage pas sur ce point. Son but est d'expliquer qu'un phénomène naturel, comme par exemple la météorologie, pourrait être sensible aux conditions initiales et que ceci pourrait avoir des conséquences sur l'impossibilité de prédiction météo à moyen terme. Rendons à Lorenz le mérite d'avoir popularisé cette idée si simple que si le futur est déterminé par le passé, il ne l'est peut-être pas d'une manière aussi naïve qu'on y pensait auparavant. Même si le papillon du Brésil s'avérait impuissant, il existe de nombreux autres domaines de la science où cette idée peut s'appliquer. Nous avons parlé des planètes, mais certains n'hésitent pas à parler d'histoire, de politique, de finance, etc.

Grâce à Poincaré, Hadamard et Lorenz, notre conception du déterminisme a changé. Nous savons que le présent détermine le futur, mais nous savons également qu'une connaissance imparfaite du présent, comme c'est presque toujours le cas, rend la détermination du futur illusoire. Il a fallu un siècle pour que cette idée simple mais fondamentale soit assimilée, malheureusement de manière souvent imparfaite, dans le public mais aussi parmi les scientifiques.

Le message de Lorenz

Voici, en termes légèrement simplifiés, deux citations de Lorenz. La première a été comprise :

« *Si un battement d'ailes d'un papillon peut engendrer un ouragan, la même chose est vraie pour tous les autres battements d'ailes du même papillon, mais aussi pour les battements d'ailes des millions d'autres papillons, sans parler de l'influence des activités des innombrables autres créatures plus puissantes, comme les hommes par exemple !* »

La seconde est par contre passée inaperçue :

« *J'avance l'idée qu'au fil des années les petites perturbations ne modifient pas la fréquence d'apparition des événements tels que les ouragans : la seule chose qu'ils peuvent faire, c'est de modifier l'ordre dans lequel ces événements se produisent* ».

En clair, même si le météorologue ne peut pas prévoir le temps qu'il fera à Lyon dans un mois, il devrait être possible de prévoir des moyennes, des fréquences d'événements météorologiques, avec une bonne précision, en un endroit donné, sur une longue période de temps. Bien sûr, ce type de prédiction est plus modeste, mais il est souvent tout aussi utile. Cette seconde idée de Lorenz recadre le rôle du prévisionniste.

Aujourd'hui

Bien sûr, ces idées vont bien au-delà du cas particulier de la météorologie. Une théorie scientifique ne peut pas se fonder sur un principe négatif tel que l'impossibilité de prévoir l'avenir ; il faut qu'elle propose une méthode pour contourner cette difficulté. Aujourd'hui, la théorie mathématique qui discute de ces questions s'appelle la théorie des systèmes dynamiques et lorsqu'elle prend le point de vue de la seconde citation de Lorenz, elle prend le nom de théorie ergodique : il s'agit alors de comprendre, non pas des trajectoires particulières, mais des fréquences et des moyennes. Théorie mathématique passionnante et florissante, tout particulièrement depuis les années 1970 !

La bataille fait rage entre les spécialistes de la météo, des équations de Navier-Stokes, pour savoir si le papillon du Brésil influence le Texas. Toute la question est de savoir si les approximations faites par Lorenz sont justi-

fiées dans le cas de l'atmosphère. Pour y répondre, il est nécessaire que des mathématiciens comprennent mieux les systèmes dynamiques qui dépendent d'un grand nombre de dimensions (et même d'une infinité de dimensions). Un article récent s'intitule « L'effet papillon n'existe plus ! » mais d'autres auteurs critiquent les hypothèses qui y sont faites. Car bien sûr, il faut aussi consulter les physiciens et les météorologues : aucune théorie mathématique ne peut s'appliquer à une situation concrète si on ne peut vérifier que les hypothèses sont satisfaites dans la pratique. Alors, l'effet papillon existe-t-il « en vrai » ? Laissons les mathématiciens travailler avec leurs collègues physiciens. Ils nous répondront peut-être bientôt. Par exemple, le fait que l'équation de Lorenz, caricaturée avec seulement trois dimensions, satisfait effectivement à la deuxième citation de Lorenz, est un résultat purement mathématique très récent : les mathématiciens disent que l'équation de Lorenz possède une « mesure physique ». Et ce résultat mathématique difficile n'est a priori pas relié avec la question de savoir si l'équation de Lorenz rend compte du mouvement de l'atmosphère.

Quand bien même l'effet papillon n'existerait pas dans l'atmosphère, il resterait une idée mathématique riche et puissante. La théorie des systèmes dynamiques ne se limite pas à la description de l'atmosphère. Comme souvent en mathématiques, un exemple est devenu le germe d'une théorie dont l'ambition est de comprendre un champ beaucoup plus vaste qu'on ne le pensait initialement, et d'établir des connections avec d'autres domaines qui paraissaient bien éloignés. Le concept de chaos, né il y a un siècle pour des raisons de mécanique céleste, s'est enrichi de l'exemple de la turbulence dans l'atmosphère, et a envahi une bonne partie des mathématiques, y compris même la théorie des nombres qui paraît pourtant si « statique » et immuable...

Mécanique céleste, météorologie, et théorie des nombres sont donc unis depuis peu dans des méthodes communes. Poincaré nous avait prévenus : « Faire des mathématiques, c'est donner le même nom à des choses différentes ». Aujourd'hui, le chaos signifie beaucoup de choses, bien plus que Poincaré ou Lorenz n'auraient pu l'imaginer.

NDLR : ce texte a été précédemment publié par Etienne Ghys dans la revue Images des mathématiques

Bibliographie

La Théorie du chaos de James Gleick (Chaos : Making a New Science) Vintage - 1987 ISBN original 0-7493-8606-1 - Traducteur Christian Jeanmougin Albin Michel 19891

Film d'Etienne Ghys <http://www.chaos-math.org/fr>

Livre audio

<https://www.devivevoix.com/livre-audio/la-theorie-du-chaos-etienne-ghys/>



Thibaut Mastrolia

Je suis actuellement en post-doctorat au CEREMADE, à l'université Paris-Dauphine et je travaille essentiellement dans le domaine des probabilités. J'ai soutenu ma thèse de mathématiques appliquées en décembre 2015, intitulée « Une étude de la régularité de solutions d'EDS Rétrogrades et de leurs utilisations en finance ». J'ai effectué mes études à Strasbourg au sein du magistère de mathématiques, puis à l'université Paris-Dauphine au master 2 Masef (Mathématiques de l'assurance, de l'économie et de la finance).

Dans cet article, nous nous focalisons sur l'évaluation de prix de certains objets financiers appelés « options européennes ». Nous introduisons les notions d'opportunités d'arbitrage et de prix de non-arbitrage afin de trouver un prix d'équilibre à la fois pour le vendeur et l'acheteur d'une telle option, dans un modèle discret à une période. Puis, nous étudions une construction simple du mouvement Brownien, un objet essentiel pour l'étude de problèmes de mathématiques financières dans le cas continu, à partir de marches aléatoires avec des simulations numériques.

Introduction à l'évaluation d'actifs financiers

1. Introduction

Les mathématiques financières s'inscrivent au sein des mathématiques à l'intersection des mathématiques appliquées et de l'économie. Par sa thèse intitulée "Théorie de la spéculation" en 1900, Louis Bachelier est considéré comme le fondateur des mathématiques appliquées aux marchés. Depuis, les mathématiques financières ont été utilisées pour résoudre de nombreux problèmes économiques comme par exemple l'évaluation de prix de certains objets financiers et le calcul de leurs sensibilités (variation de ces prix par rapport à certains paramètres), les problèmes de maximisation d'utilités d'agents financiers, ou encore pour la résolution des problèmes issus de la théorie des contrats où un agent principal cherche la rémunération optimale d'un employé.

La théorie mathématique pour l'évaluation de certains produits financiers fut développée en 1973 par Robert Merton, citant les travaux de Fischer Black et Myron Scholes. Dans cet article, nous nous focaliserons sur un problème introductif à l'évaluation d'objets financiers appelés options européennes, que nous décrivons ci-dessous.

Considérons en un instant $t=0$ un agent financier souhaitant acheter à un instant futur, disons $t=1$, une action d'une société au prix de 50€. Actuellement, l'action voulue vaut 50€ sur le marché, mais est sujette à des fluctuations. Le prix en $t=1$ de cette action étant incertain en $t=0$, l'agent financier veut se couvrir contre une hausse trop forte de cette action en souscrivant à un contrat lui permettant, s'il le décide en $t=1$, de l'acheter au prix de 50€ fixé à l'avance auprès d'un vendeur. Ce type de contrat est appelé une option européenne d'achat ou encore european call. Ainsi, en échange d'une certaine somme d'argent, nommée prime, correspondant au prix du contrat, le vendeur s'engage à vendre à l'acheteur une action au prix de 50€ quel que soit la valeur de l'action en $t=1$. L'acheteur quant à lui a la possibilité, et non l'obligation, d'exercer son option. Plus précisément, deux situations sont attendues en $t=1$ aboutissant à des gains différents pour l'acheteur et pour le vendeur.

- Si le prix de l'action est supérieur à 50€ en $t=1$, par exemple 60€, l'acheteur va exercer son option et acheter l'action auprès du vendeur au prix de 50€ au lieu de 60€ sur le marché. L'option rapporte

alors +10€ à l'acheteur. Le vendeur lui subit une perte de 10€ puisqu'il la revend 50€ à l'acheteur au lieu de 60€ sur le marché. Schématiquement :

Gain total acheteur = +10€ - prix du contrat, Gain total vendeur = +prix du contrat - 10€.

- Si le prix de l'action est inférieur à 50€ en t=1, par exemple 40€, l'acheteur va abandonner son option et acheter l'action sur le marché à 40€ au lieu de 50€ auprès du vendeur. L'acheteur ne perd que la prime versée au vendeur du contrat. Le vendeur ne subit aucune perte puisque l'option a été abandonnée et a gagné au total la prime du contrat. Schématiquement

Gain total acheteur = - prix du contrat, Gain total vendeur = + prix du contrat.

Ainsi, l'acheteur et le vendeur semblent jouer l'un contre l'autre : l'acheteur spéculer sur une hausse de l'action, une situation qui lui sera alors favorable en exerçant son option, le vendeur spéculer quant à lui sur une baisse de l'option. Le but d'un tel problème est de déterminer un prix juste de l'option, à la fois pour l'acheteur et le vendeur. Ce type de problème est appelé problème d'évaluation d'options européennes.

2. Le modèle binomial et le prix attendu.

Afin de répondre au problème d'évaluation d'options européennes présenté dans l'introduction, nous considérons le modèle suivant, introduit par Cox, Ross et Rubinstein en 1979. Supposons que le marché financier soit composé de deux types d'actifs :

- Un actif sans risque, dont le rendement est certain et connu, par exemple 1%. Plus concrètement, 100€ placé en t=0 vaut 101€ en t=1. Ce phénomène décrivant une valeur temporelle de l'argent est appelé actualisation. Ainsi, la valeur actualisée d'une quantité x d'argent est la quantité d'argent en t=0 permettant d'obtenir x en t=1 au taux 1%.

Mathématiquement, la valeur actualisée de x est donc $x \times \frac{100}{101}$ €

- Un actif risqué, dont le prix en t=1 est incertain. Par exemple en t=0, l'actif risqué vaut 50€ et peut valoir 60€ ou 40€ en t=1, chacune de ces valeurs avec probabilité 50%.

La Figure 1 représente alors le modèle considéré et les gains associés à l'acheteur de l'option européenne étudiée dans chaque configuration, où les probabilités que le prix de l'actif risqué monte ou descende sont connues.

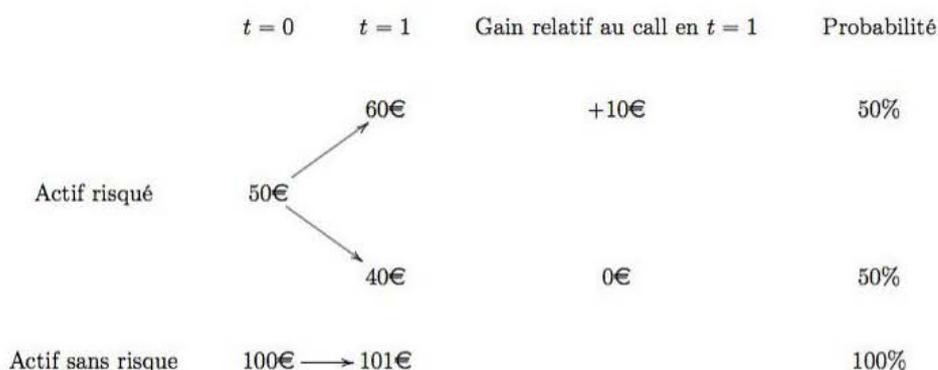


Figure 1 : Arbre d'évolution des prix des actifs.

De manière naturelle, le gain espéré par l'acheteur est alors $10 \times 50\% + 0 \times 50\% = 5 \text{ €}$ soit $5 \times \frac{100}{101} = 4.95 \text{ €}$ après actualisation. Afin d'obtenir un prix juste d'option, on s'attend donc a priori à voir le vendeur proposer cette option au prix de 4.95€.

Nous allons maintenant montrer que le prix « naturel » de 4.95€ précédemment obtenu n'est pas un prix d'équilibre. Plus précisément, on considère la stratégie suivante pour l'acheteur de l'option en supposant qu'un vendeur lui propose cette même option au prix 4.95€.

Stratégie	t=0	t=1 si l'action monte	t=1 si l'action descend
Achat d'une option	- 4.95 €	+ 10 €	0 €
Vente d'actifs risqués	$\frac{1}{2}$ d'actif soit + 25 €	$-\frac{1}{2} \times 60 = -30 \text{ €}$	$-\frac{1}{2} \times 40 = -20 \text{ €}$
Investissement dans l'actif sans risque	- 20.05 €	$20.05 \times \frac{101}{100} = 20.25 \text{ €}$	+20.25 €
Gain total	$25 - 4.95 - 20.05 = 0 \text{ €}$	$10 - 30 + 20.25 > 0 \text{ €}$	$-20 + 20.25 > 0 \text{ €}$

Ainsi, sans prendre de risque, l'acheteur a fait un gain strictement positif dans toutes les configurations possibles en t=1. Le prix est donc sous-évalué dans ce cas. Dans ces conditions, quel est le prix le plus équilibré pour un tel contrat ?

3. Le prix dit d'absence d'opportunité d'arbitrage

La stratégie de l'acheteur présentée dans la section précédente est un cas typique d'arbitrage. Cette notion financière est primordiale pour le calcul du prix juste d'un objet financier, défini comme le prix tel que ni le vendeur, ni l'acheteur ne peut faire un gain positif à coup sûr. Plus précisément on a la définition suivante

Définition. Une stratégie de portefeuille formée d'un prix de contrat et d'une quantité d'actifs risqués possédée est dite d'opportunité d'arbitrage si :

- En t=0, la valeur du portefeuille est 0 €.
- En t =1, dans toutes les configurations possibles, la valeur de portefeuille est positive et elle est strictement positive dans au moins un cas.

3.1 Le prix de répliation parfaite du contrat.

Supposons que le prix du contrat soit de $p = \frac{525}{101} \approx 5.2 \text{ €}$. Le vendeur crée alors la stratégie suivante

Stratégie	t=0	t=1 si l'action monte	t=1 si l'action descend
Vente d'une option	+5.2 €	-10 €	0 €
Vente de l'actif sans risque	+19.8 €	$-19.8 \times \frac{101}{100} \approx -20 \text{ €}$	$-19.8 \times \frac{101}{100} \approx -20 \text{ €}$
Achat d'actifs risqués	$-\frac{1}{2}$ d'actif soit -25 €	$+\frac{1}{2} \times 60 = +30 \text{ €}$	$+\frac{1}{2} \times 40 = +20 \text{ €}$
Gain total	+5.2 + 19.8 - 25 = 0 €	-10 - 20 + 30 = 0 €	-20 + 20 = 0 €

Ainsi, en vendant l'option au prix 5.2 € en t=0, le vendeur réplique parfaitement ses gains en t=1.

3.2 Prix de non-arbitrage.

Supposons alors que la prix de l'option noté p est strictement supérieur à 5.2 €. Le vendeur crée alors la stratégie suivante

Stratégie	t=0	t=1 si l'action monte	t=1 si l'action descend
Vente d'une option	+p €	-10 €	0 €
Vente de l'actif sans risque	+25 - p €	$-(25 - p) \times \frac{101}{100} > -20 \text{ €}$	$-(25 - p) \times \frac{101}{100} > -20 \text{ €}$
Achat d'actifs risqués	$-\frac{1}{2}$ d'actif soit -25 €	$+\frac{1}{2} \times 60 = +30 \text{ €}$	$+\frac{1}{2} \times 40 = +20 \text{ €}$
Gain total	0 €	> 0 €	> 0 €

Le vendeur crée ainsi un arbitrage. Inversement, si le prix p est strictement inférieur à 5.2€, en reprenant la stratégie de la Section 2, l'acheteur crée un arbitrage. Le prix d'absence d'arbitrage est donc $p \approx 5.2 \text{ €}$

3.3 Probabilité risque neutre.

En reprenant l'exemple de la Section 2, on considère maintenant l'arbre **fictif** suivant

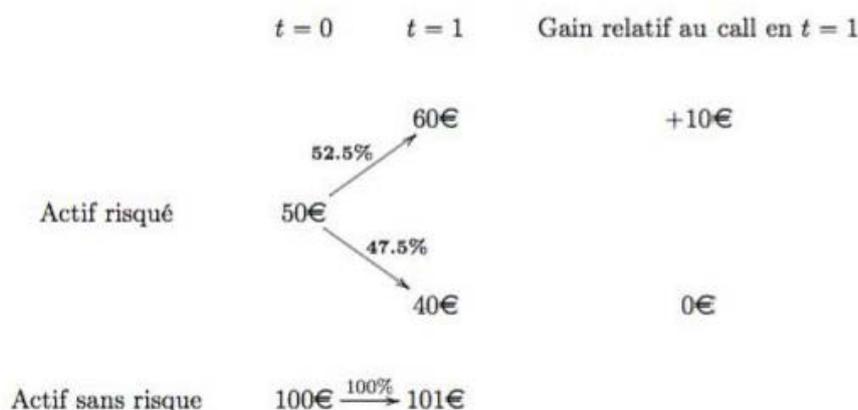


Figure 2 : Arbre fictif d'évolution des prix des actifs.

Dans cette situation, on remarque qu'en moyenne l'actif risqué vaut $0.525 \times 60 + 0.475 \times 40 = 50.5 \text{ €}$. Son rendement est alors exactement le rendement de l'actif sans risque, soit 1%. La probabilité introduite ici est appelée probabilité risque neutre, et sous cette probabilité, le prix espéré est exactement le prix de non-arbitrage du contrat. Ainsi, le prix de non-arbitrage est donné par la formule suivante

$$\text{Prix de non arbitrage} = (10 \times 0.525) \frac{100}{101} \cong 5.2 \text{ €}$$

4. Modéliser le cas continu: de la marche aléatoire au mouvement brownien

Dans la section précédente, nous avons posé le paradigme de la modélisation d'un prix d'un actif financier dans le cas discret. Nous allons maintenant faire l'hypothèse que l'agent financier peut faire des opérations continûment et non ponctuellement. Ainsi, nous devons modéliser l'évolution du prix d'un actif au cours du temps sur une période donnée. Un outil fondamental pour cette étude est le mouvement brownien, également appelé processus de Wiener, observé pour la première fois par Robert Brown, puis étudié par la suite par de nombreux scientifiques dont, entre autres, Louis Bachelier pour ses modèles mathématiques appliqués à la finance, mais aussi Albert Einstein, Kiyoshi Ito, Paul Langevin, Paul Lévy, Norbert Wiener, Marc Yor. Nous allons donner dans cette partie une construction simple du mouvement brownien à partir d'une marche aléatoire.

Reprenons la Figure 2 et étendons le modèle à plusieurs périodes. En $t=1$, l'actif monte avec probabilité 50% ou descend avec probabilité 50%. Répétons ce raisonnement à chaque nœud de l'arbre étudié. Ce phénomène modélise alors une marche aléatoire isotrope partant de 50 € en $t=0$. La Figure 3 représente trois trajectoires possibles d'une marche aléatoire de taille 20 issue de 50 €.

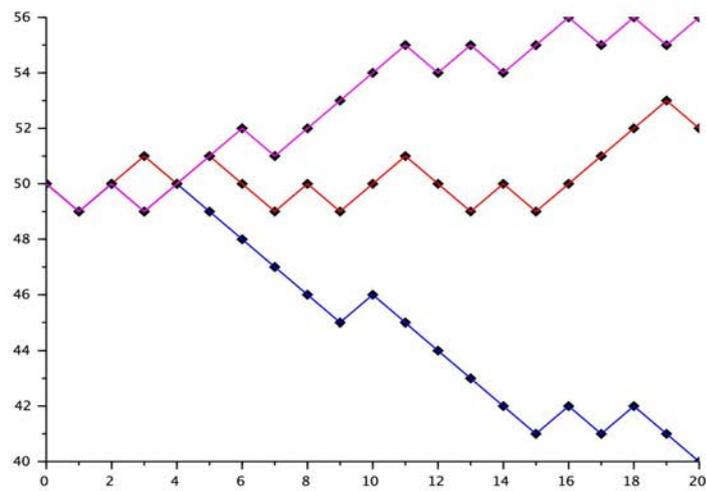


Figure 3 : Trois trajectoires possibles d'une marche aléatoire de taille 20 issue de 50.

Imaginons maintenant que l'agent financier souhaite effectuer des opérations entre $t=0$ et $t=1$. L'idée est de contracter une marche aléatoire de taille n sur un intervalle plus petit, ici $[0,1]$. Ainsi, en renormalisant convenablement une marche aléatoire de taille n et en faisant tendre la taille de cette marche vers l'infini, le processus limite obtenu correspond exactement au mouvement brownien. Ce résultat est connu sous le nom de théorème de Donsker (1951). La Figure 4 illustre ce procédé pour $n=10, 100, 1000, 10000$.

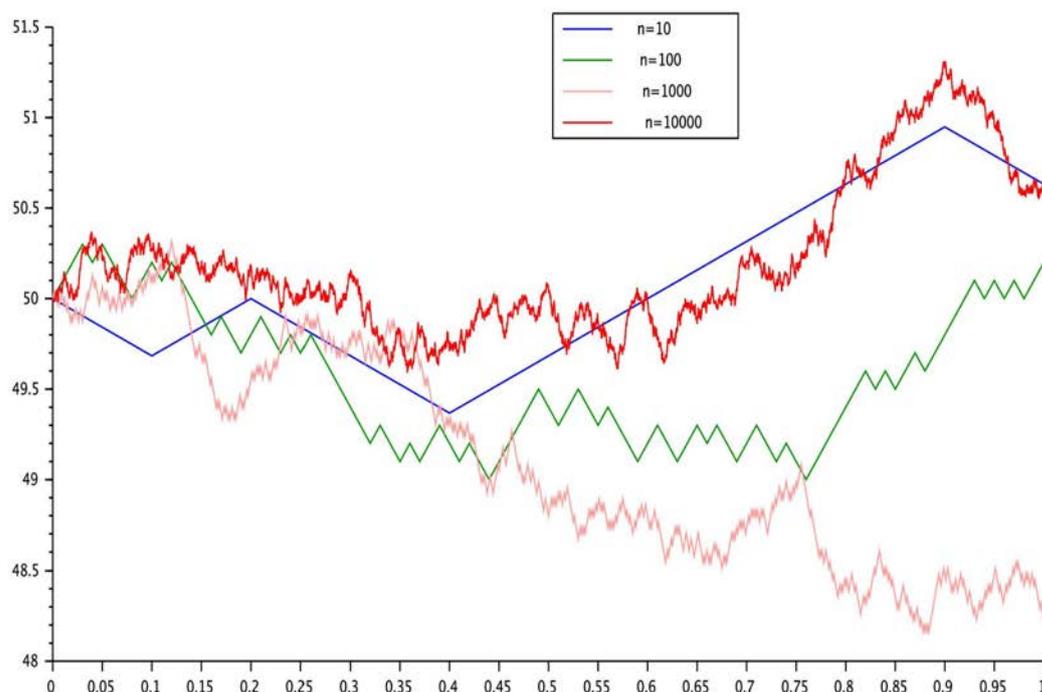


Figure 4 : Convergence de marches aléatoires vers une trajectoire du mouvement brownien.

Le mouvement brownien est un objet essentiel en finance puisqu'il permet de modéliser de façon continue le hasard et permet ainsi de représenter continûment le prix d'un actif financier et donc de calculer le prix de non-arbitrage d'options.

Courte bibliographie

- JC. Cox, SA. Ross, M. Rubinstein, *Option pricing: A simplified approach*, Journal of financial Economics, 1979.
- D. Lamberton and B. Lapeyre, *Introduction au calcul stochastique appliqué à la finance*, Editions Ellipses, 3^e édition, 2012.
- D. Revuz, M. Yor, *Continuous martingales and Brownian motion*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1999.
- SE. Shreve, *Stochastic Calculus for Finance I: The Binomial Asset Pricing Model*, Springer Finance, Springer-Verlag New York, 2004.



Olivier Saut

Directeur de recherche CNRS. Responsable de l'équipe Inria Monc (dédiée à la modélisation mathématique en oncologie) et du GDR 3471 Metice. L'essentiel de ma scolarité s'est effectué à Paris et sa banlieue. Après des classes préparatoires, j'ai intégré l'ENS Cachan dans la section Mathématiques. J'ai ensuite effectué une thèse à l'Institut mathématiques de Toulouse visant à modéliser la propagation d'un laser dans des cristaux en collaboration avec le Commissariat à l'énergie atomique au Barp. A l'occasion d'un post-doctorat à l'université de Bordeaux, je me suis intéressé à la modélisation mathématique du cancer. Depuis mon recrutement au CNRS, je travaille avec des médecins de l'Institut Bergonié ou du CHU Pellegrin à Bordeaux et de l'Université d'Alabama aux USA. Notre objectif est, grâce aux mathématiques, d'aider à surveiller l'évolution des tumeurs faiblement agressives ou d'évaluer l'efficacité d'un traitement et l'apparition éventuelle de résistances. Une partie de nos travaux est à la base des outils de surveillance qui vont être développés par la startup Nenuphar.

Le suivi et le traitement du cancer sont des enjeux de santé publique majeurs. Si l'efficacité des traitements augmente constamment, leur effet peut être de garder la maladie sous contrôle plutôt que de l'éradiquer totalement. La maladie devient alors chronique et les patients doivent prendre un traitement à vie. La difficulté pour les médecins est dès lors de planifier le suivi du patient et de détecter au plus vite tout événement affectant la maladie - comme l'émergence d'une résistance qui rendrait le traitement inefficace - pour ajuster au plus vite le protocole thérapeutique. L'imagerie médicale est au cœur de la prise en charge des patients. La modélisation mathématique est un moyen de l'exploiter efficacement.

Les protocoles thérapeutiques, choix du médicament, dosage, sont faiblement adaptés à chaque patient. Du fait de la grande hétérogénéité tumorale et du patrimoine génétique de chacun, pour une même pathologie, certains patients peuvent répondre à la thérapie et pas d'autres. La médecine personnalisée vise à adapter le suivi et le traitement de chaque patient en tenant compte de ses particularités. L'objectif étant *in fine* de construire un protocole le plus efficace possible en s'adaptant complètement à la maladie du patient.

Évidemment la maladie est complexe, diverse et ses mécanismes très loin d'être compris. Le but des biologistes est de mieux la comprendre mais les expériences nécessaires sont parfois difficiles à mettre en place ou à interpréter. Les interactions entre les différents processus influençant la maladie sont nombreuses et compliquées et leur étude isolée difficile.

La modélisation mathématique du cancer est une approche tentant de relever certains de ces défis. Initialement cette approche a été développée dans le but de comprendre la croissance tumorale mais également d'anticiper les effets des thérapies⁽¹⁾. Dans la plupart des cas ces modèles sont mieux adaptés aux études *in vitro*, car celles-ci se concentrent sur un faible nombre de cellules dont l'évolution est facilement observable, mais les résultats les plus récents laissent espérer des applications cliniques réelles.

On n'imagine plus aujourd'hui concevoir un avion ou une voiture sans l'aide de la modélisation mathématique et du calcul scientifique. Avant même le

Modélisation mathématique pour l'oncologie

premier essai réel, la conception des véhicules récents est validée par des milliers d'heures de simulation numérique. La prévision météorologique couple un modèle mathématique à des observations passées et présentes pour produire une prédiction souvent fiable à plusieurs jours. En plus d'aider à mieux comprendre la maladie, un des objectifs de la modélisation du cancer est de faire entrer les techniques de prédiction issues du calcul scientifique utilisées quotidiennement dans ces domaines. Si la modélisation a fait ses preuves dans ces domaines, qu'en est-il de l'oncologie ?

Modéliser mathématiquement le cancer revient à décrire la maladie à l'aide d'équations ou de concepts mathématiques qui seront plus aisés à manipuler. Si le modèle est capable de reproduire des comportements proches de la réalité, il pourra être interrogé pour tester des hypothèses ou fournir des prédictions. On peut ainsi avoir un double virtuel de la maladie comme par exemple sur la figure 1 qui présente la reproduction numérique du méningiome d'un patient afin de prédire son évolution.

La maladie est complexe et mêle de nombreuses échelles partant des échelles génétiques et cellulaires pour aller jusqu'à un organe tout entier et des symptômes affectant le patient. Tous les mécanismes impliqués ne sont pas connus. Aucun modèle ne tente de reproduire la maladie dans sa globalité mais les modèles se concentrent sur un aspect particulier que l'on souhaite étudier plus précisément. Il n'existe pas d'équation maître du cancer, les modèles sont développés en partant du plus simple et en

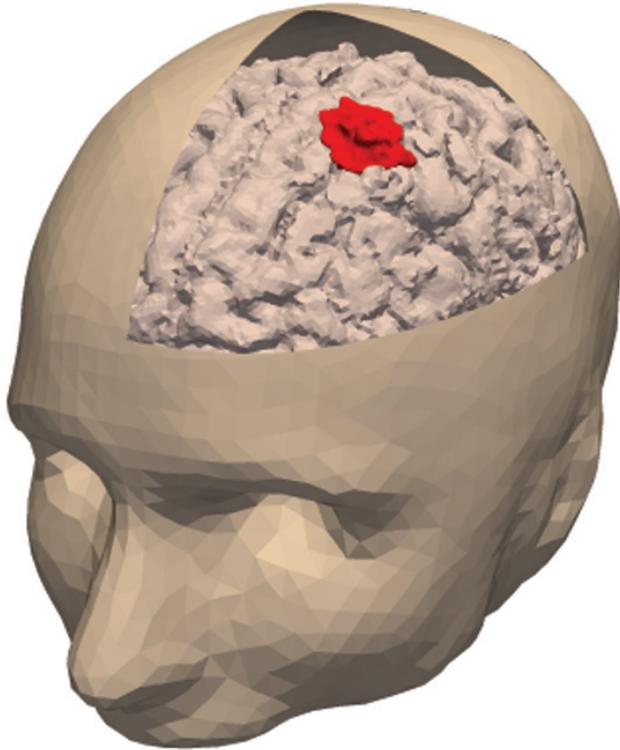


Figure 1 : Reconstruction numérique d'un méningiome (en rouge) dans le crâne d'un patient utilisée pour le suivi de la maladie. Communication privée Vivien Pianet, données du CHU Pellegrin, Bordeaux.

ne complexifiant que si nécessaire et sont donc phénoménologiques. Nous allons simplement illustrer le processus de modélisation.

On sait que la maladie est due à une division incontrôlée des cellules qui crée ainsi une masse au volume croissant avec les effets que l'on imagine. Un modèle simple pourrait viser à décrire par exemple l'évolution du volume d'une tumeur au cours du temps (par exemple sur une souris lors d'expériences pré-cliniques). En faisant l'hypothèse volontairement simplificatrice que la tumeur est issue d'une seule cellule et que cette cellule et toutes ses filles se divisent sans contrôle, on peut écrire un premier modèle : $\partial_t V = \alpha V$, où l'on a noté V le volume tumoral, t la variable temps et α un paramètre quantifiant la vitesse de division des cellules (supposée la même pour toute).

Le terme $\partial_t V$ représente la dérivée temporelle du volume soit la variation de volume à chaque instant. En langage courant, cette équation traduit le fait que le volume tumoral croît exponentiellement au cours du temps. L'utilisation du langage mathématique donne une représentation compacte et facilement manipulable des hypothèses biologiques.

Une première objection à ce modèle est que pour se diviser, les cellules cancéreuses ont besoin d'énergie (par exemple pour dupliquer leur maté-

riel génétique). Initialement les cellules obtiennent l'énergie nécessaire de leur environnement. Quand tout est consommé, leur réplication est stoppée. Pour être plus réaliste, le modèle devrait donc être corrigé. On pourrait par exemple supposer qu'il existe un volume maximal au-delà duquel du fait du manque de nutriments la tumeur ne peut plus se diviser. Mathématiquement, notre modèle de départ pourrait pour tenir compte de cette hypothèse être réécrit : $\partial_t V = \alpha V (V_{max} - V)$, ainsi quand le volume atteint V_{max} , l'équation ci-dessus traduit le fait que la tumeur ne grossit plus. Notre nouveau modèle est plus réaliste mais ne tient pas compte de l'aspect spatial de la croissance tumorale (qui va affecter les tissus sains par son augmentation de volume).

Prenons maintenant en compte la dimension spatiale de la croissance (visible sur la figure 1). Nous nous n'intéressons plus au nombre total de cellules mais au nombre de cellules en chaque point (par exemple en chaque pixel d'une image médicale). Nous allons obtenir un modèle spatial qui calcule $N(t, x)$ le nombre de cellules cancéreuses au point x au temps t . Pour être plus réaliste, ajoutons un terme à notre modèle décrivant le mouvement des cellules. Une manière simple de le faire mathématiquement serait de rajouter un terme de diffusion : $\partial_t V = \Delta V + \alpha V (V_{max} - V)$, le nouveau terme traduit l'hypothèse que chaque cellule est libre de bouger aléatoirement. Ce modèle a des jolies propriétés mathématiques et a été utilisé avec succès pour simuler des glioblastomes (des tumeurs cérébrales très agressives). L'avantage d'un modèle spatial comme celui-ci est que l'on peut le comparer à des données d'imagerie.

Ce modèle est très simple et on pourrait le complexifier quasiment à l'infini en prenant en compte des thérapies ou des mécanismes de division cellulaire plus réaliste. *Plus le modèle est complexe, plus il est potentiellement proche des connaissances actuelles en biologie et en médecine mais plus il est également difficile à étudier.* La construction d'un modèle repose donc sur un équilibre à trouver entre son réalisme et la complexité que nécessite son usage. Maintenant que nous avons illustré le processus de construction d'un modèle, étudions comment il pourrait être validé et utilisé.

Très souvent le modèle ne peut être étudié directement et doit être simulé sur ordinateur pour être manipulé. Le calcul scientifique est donc très souvent associé à la modélisation mathématique. Un modèle comprend en général un certain nombre de paramètres (comme par exemple le taux de division des cellules cancéreuses, leur vitesse de migration) qui vont être propres à chaque individu. Suivant ces paramètres, un même modèle peut produire des comportements très différents. Pour utiliser un modèle en pratique, il faut donc trouver un moyen de déterminer ces paramètres. Lors d'expériences *in vitro* ils peuvent parfois être mesurés mais c'est beaucoup plus problématique *in vivo* ou en clinique. On utilise alors des techniques d'assimilation de données pour les estimer à l'aide d'observations. Une fois ces paramètres déterminés, on peut tenter de faire des prédictions d'évolution (comme sur la figure 2).

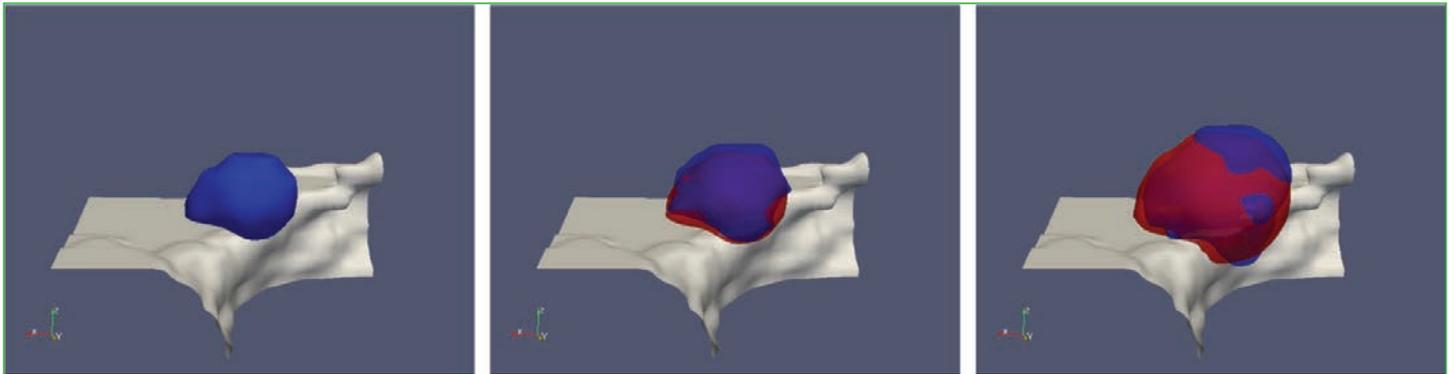


Figure 2 : Exemple de prédiction de l'évolution d'un méningiome par un modèle mathématique. Le modèle a été adapté au patient à l'aide de deux examens, la prédiction (en rouge) est comparée rétrospectivement à l'observation (en bleu) sur la troisième image.

La modélisation du cancer a produit de beaux résultats mathématiques mais a aussi permis quelques réelles applications biologiques et cliniques. Cette modélisation est un travail interdisciplinaire, rassemblant des médecins et des biologistes qui apportent leurs connaissances de la maladie et des mathématiciens qui traduisent ces connaissances en équation et développent les techniques de calibration à partir des données. Des modèles ont déjà été utilisés pour déterminer des protocoles de chimiothérapie plus efficace⁽²⁾ d'autres pourraient servir à évaluer l'agressivité de métastases pulmonaires et donc d'améliorer le suivi des patients⁽³⁾. En complément de l'imagerie, la modélisation mathématique peut représenter un axe de développement alternatif et transversal pour le suivi. Il est maintenant possible d'envisager à moyen terme des applications cliniques. Les développements de l'imagerie fonctionnelle et de l'analyse génomique promettent de nouvelles sources de données

sur la maladie qui pourraient être couplées à des nouveaux modèles mathématiques plus précis.

Références

- [1] Helen M. Byrne. *Dissecting cancer through mathematics : from the cell to the animal model*. Nature Reviews Cancer, 10 :221-230, 2010.
- [2] C. Meille, D. Barbolosi, J. Ciccolini, G. Freyer et A. Iliadis. *Revisiting Dosing Regimen Using Pharmacokinetic/Pharmacodynamic Mathematical Modeling : Densification and Intensification of Combination Cancer Therapy*. Clin. Pharmacokinet, 2016.
- [3] F. Cornelis, O. Saut, P. Cumsille, D. Lombardi, A. Iollo, J. Palussiere et T. Colin. *La modélisation mathématique in vivo de la croissance tumorale sur les données de l'imagerie : un avenir proche ?*. Journal de Radiologie Diagnostique et Interventionnelle, 94-6 :610-617, 2013.

FAISONS TRAVAILLER NOS NEURONES !

... PLUS LES CONNEXIONS ENTRE NEURONES SONT NOMBREUSES, PLUS LES INFORMATIONS CIRCULENT VITE.

OBSERVE L'ÉVOLUTION DE CE NOMBRE DE CONNEXIONS EN FONCTION DU NOMBRE DE NEURONES. UN ORGANISME POSSÉDANT 3 NEURONES N'ÉTABLIRA QUE 3 CONNEXIONS ALORS QU'UN ORGANISME DISPOSANT DE 5 NEURONES EN ÉTABLIRA 10...

3 NEURONES	4 NEURONES	5 NEURONES
3 CONNEXIONS	6 CONNEXIONS	10 CONNEXIONS

Bulle au carré - concours 2016 BD 11 : François Delannoy (Margny-les-Compiègne) - 2^e prix du jury
https://www.dropbox.com/s/vouzvasleoatdyi/11_delannoy-francois.jpg?dl=0



Stéphane Honoré

Stéphane Honoré est maître de conférence-praticien hospitalier (MCU-PH) en Pharmacie clinique et onco-pharmacologie au CHU de Marseille du 2006 (Aix-Marseille université et Assistance Publique-Hôpitaux de Marseille).

Il est pharmacien responsable des essais cliniques à l'hôpital de la Timone et responsable de plusieurs projets de recherche en Pharmacie clinique. Il effectue une recherche fondamentale et translationnelle au sein du Centre de recherche en oncologie biologique et onco-pharmacologie (CRO2, unité Inserm U-911). Une grande partie de ses travaux actuels qu'ils soient fondamentaux sur l'instabilité dynamique des microtubules et les médicaments anti-microtubules ou cliniques (notamment en oncologie ambulatoire), sont réalisés en collaboration avec les mathématiciens de l'I2M et notamment avec Florence Hubert.



Florence Hubert

Ancienne élève de l'Ecole normale supérieure de Lyon, Florence Hubert est maître de conférence en mathématiques depuis septembre 1997 à l'université d'Aix-Marseille. Après s'être consacrée au développement de méthodes numériques efficaces

en particulier pour des écoulements dans des milieux poreux, elle s'est intéressée depuis une dizaine d'années au développement des mathématiques dans le domaine de la cancérologie. Elle a abordé des thématiques comme la modélisation de l'émission métastatique et l'impact des traitements anti-cancéreux sur l'état métastatique des patients, la modélisation de l'instabilité dynamique des microtubules et de l'action des anticancéreux anti-microtubules et enfin celle de l'observance du médicament notamment en collaboration avec Stéphane Honoré.

Le non respect des prescriptions médicales, ou mauvaise adhésion thérapeutique, est devenu un problème de santé publique. Dans le cas de traitements anti-cancéreux par voie orale que les patients doivent prendre pendant de longues durées, on s'aperçoit que le taux de prise du médicament est inférieur à 95 % engendrant un manque d'efficacité et un surcoût pour la société. Nous allons montrer dans ce papier comment les mathématiques peuvent permettre de décrire et quantifier l'impact de cette non adhésion, fournissant ainsi dans un premier temps un outil au médecin ou au pharmacien pour sensibiliser le patient au problème de la non adhésion thérapeutique, mais représentant à plus long terme un véritable outil d'individualisation des thérapeutiques anti-cancéreuses.

L'adhésion thérapeutique : un problème sociétal

Si l'observance représente le respect strict par le patient des prescriptions médicales, l'adhésion thérapeutique inclut également son acceptation et son appropriation par le patient dans le cadre d'une décision partagée. Plusieurs études parues en 2014 (de IMS Health-France-Crip, ou de la commission santé de la fondation Concorde) montrent que 50% des traitements prescrits sont peu ou mal suivis. Dans le cas de pathologies chroniques, ces mêmes études montrent que le pourcentage de patients qui respectent scrupuleusement leur prescription est incroyablement faible (entre 13% et 50% selon les maladies étudiées). Cette mauvaise adhésion se traduit par un gâchis de médicaments, mais aussi souvent par une altération de l'état de santé des patients qui induit de nouveaux coûts médicaux, se chiffrant en milliards d'euros par an en France. Améliorer l'adhésion thérapeutique est devenu un véritable enjeu sociétal.

La mauvaise adhésion thérapeutique est un problème qui concerne de plus en plus les traitements anti-cancéreux avec l'émergence des traitements par voie orale administrés à domicile. Dans le cadre des essais cliniques, les pharmaciens hospitaliers qui délivrent ces médicaments et récupèrent les

L'adhésion thérapeutique : un nouveau challenge pour les mathématiques

médicaments non utilisés chaque mois, observent eux aussi des taux d'utilisation des médicaments par les patients particulièrement bas.

Nous allons dans ce texte prendre l'exemple de patients atteints de cancers gastro-intestinaux (GIST)

traités quotidiennement par Imatinib. Une étude américaine⁽¹⁾ montre entre autre que seulement 53 % des patients interrogés dans l'étude sont « observants », et 15,6% ont un taux d'adhésion inférieur à 95%, seuil au-dessous duquel les complications médicales pourraient apparaître.

Estimer l'impact d'une mauvaise adhésion thérapeutique est un problème délicat et nous allons voir comment l'outil mathématique, pourrait aider le médecin, le pharmacien et le patient.

Modéliser mathématiquement l'efficacité d'un médicament se fait en général en deux étapes. Une première étape décrit ce que l'on appelle la pharmacocinétique du médicament. La pharmacocinétique est le devenir du médicament dans le corps. Les pharmacocinéticiens et l'industrie pharmaceutique utilisent pour cela depuis quelques années déjà, des systèmes dits compartimentaux, qui sont des systèmes différentiels linéaires, reflétant très schématiquement les différentes transformations que peuvent subir les

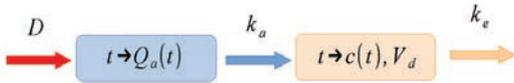
médicaments⁽²⁾. La deuxième étape est appelée la pharmacodynamie ; elle décrit l'action du médicament en termes d'efficacité mais parfois aussi en termes de toxicité⁽³⁾, dont on ne parlera pas ici.

La pharmacocinétique de l'Imatinib

La pharmacocinétique de l'anti-cancéreux Imatinib mesylate, commercialisé sous le nom de *Glivec* par Novartis Pharma AG, Basel, a fait l'objet d'un nombre important d'études. La modélisation mathématique de la pharmacocinétique de cet anti-cancéreux dans le cas de GIST est très simple⁽⁴⁾. L'idée est de décrire l'évolution temporelle de la concentration plasmatique en Imatinib en supposant qu'un comprimé est dans un premier temps transformé dans un compartiment d'absorption (estomac...) avant de passer dans un compartiment central (circulation sanguine). Notons $t \rightarrow c(t)$ la concentration plasmatique et $t \rightarrow Q_a(t)$ la quantité d'Imatinib dans le compartiment d'absorption. La vitesse d'élimination du compartiment d'absorption est notée k_a . Le compartiment central est associé à un volume dit de distribution c_{min} . Autrement dit la quantité de médicament dans le compartiment central à l'instant t est $V_d c(t)$. Le médicament est progressivement éliminé de ce compartiment à la vitesse k_e . On suppose qu'un comprimé de dose D est pris à l'instant t_0 .

Les variations de Q_a et c sont ainsi données par :

$$\begin{aligned} Q_a'(t) &= -k_a Q_a(t), & Q_a(t_0) &= D \\ V_d c'(t) &= -k_e V_d c(t) + k_a Q_a(t), & c(t_0) &= 0 \end{aligned}$$



La concentration plasmatique du médicament augmente progressivement dans les premières heures après administration, puis diminue jusqu'à quasiment disparaître au bout de 5 jours.

Si le médicament est pris tous les jours à la même heure, la concentration globale est la somme des contributions de chacun des comprimés. Au bout d'environ 5 jours, la concentration se stabilise dans un régime quasi-périodique dans lequel la concentration oscille entre deux concentrations souvent dénommées C_{min} et C_{max} . La connaissance de cette concentration C_{min} donne des informations qualitatives sur l'efficacité du médicament. Les pics de C_{max} sont quant à eux le plus souvent responsables de la toxicité du médicament. L'étude reportée dans(6) montre que, dans le cas de GIST avancé, une valeur de C_{min} inférieure à 1100 mg/L est souvent corrélée à des échecs thérapeutiques.

Noter que cette concentration C_{min} dépend du protocole d'administration du médicament (i.e. les doses et les instants où les comprimés sont pris) et des paramètres (V_d, k_e, k_a) qui sont propres à chaque patient. On va donc chercher des protocoles permettant d'atteindre ce que l'on appelle la fenêtre thérapeutique, à savoir $C_{min} > 1100 \text{ mg/L}$. Les concentrations représentées dans les figures 1-4 ont été obtenues à l'aide de valeurs-moyennes de ces paramètres proposés dans(4).

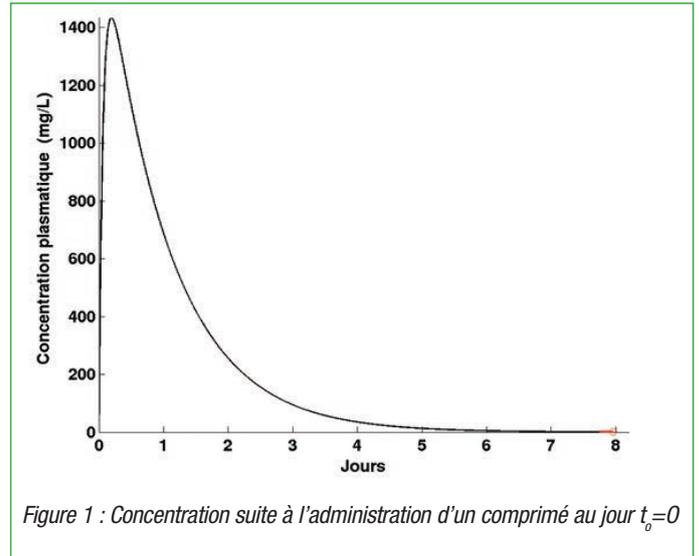


Figure 1 : Concentration suite à l'administration d'un comprimé au jour $t_0=0$

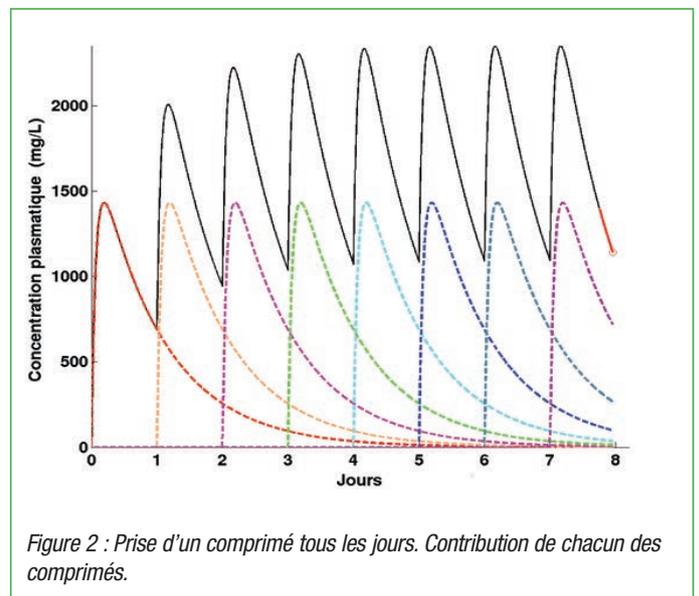


Figure 2 : Prise d'un comprimé tous les jours. Contribution de chacun des comprimés.

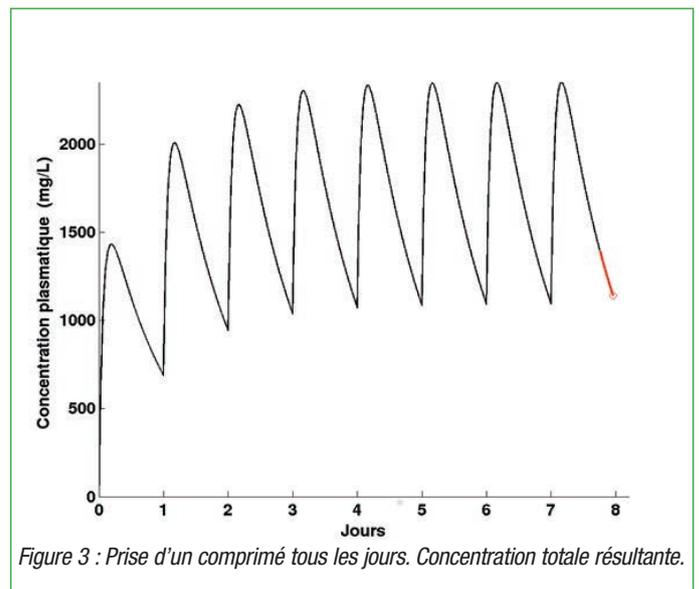
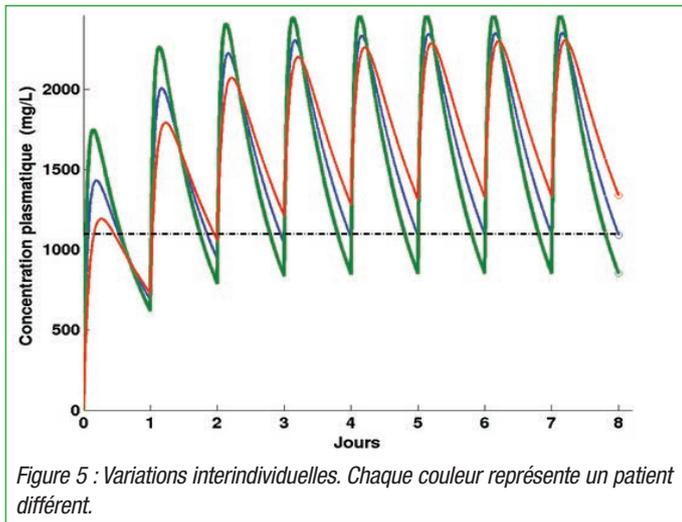
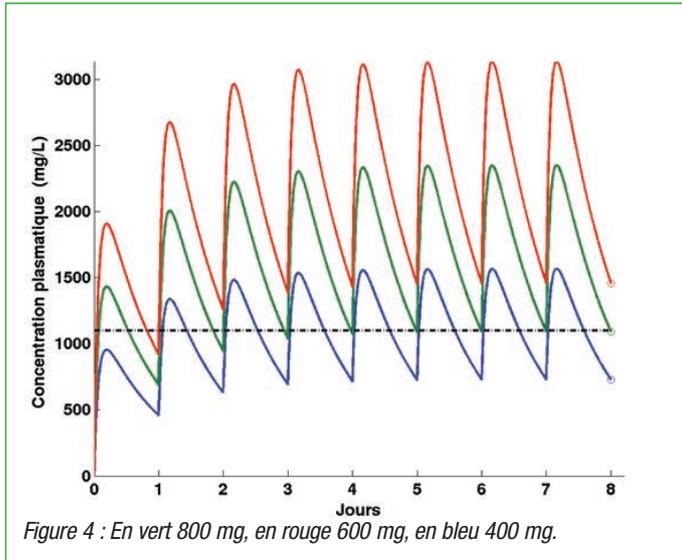


Figure 3 : Prise d'un comprimé tous les jours. Concentration totale résultante.

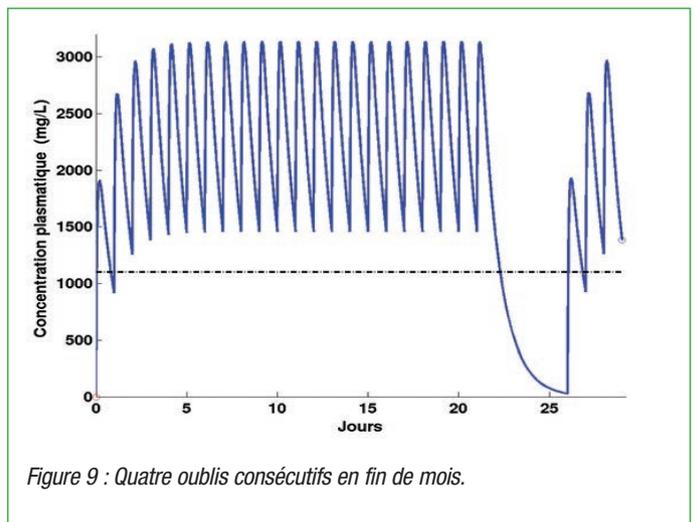
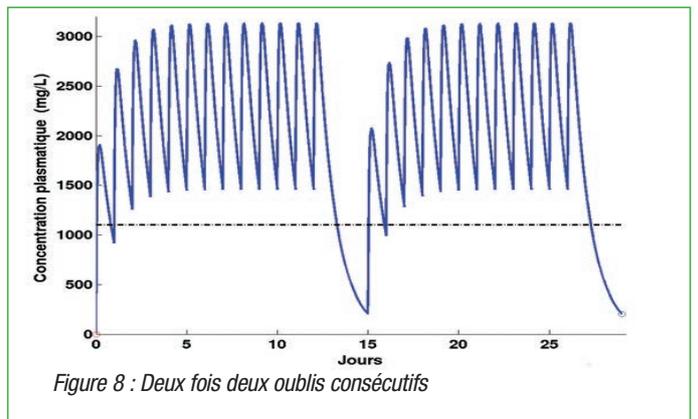
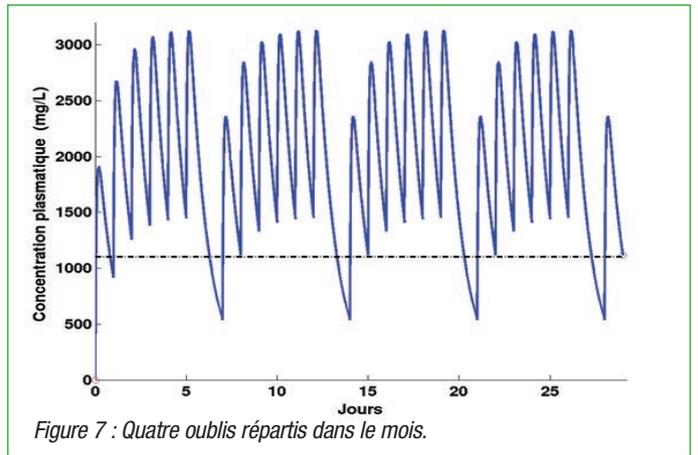
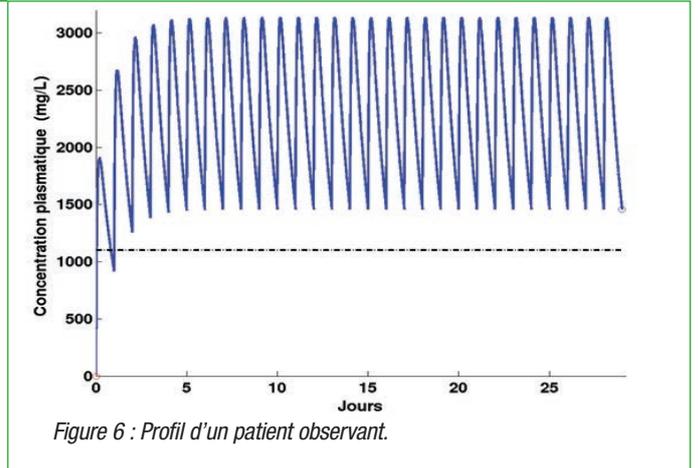


La figure 4 représente l'influence de la dose absorbée et montre qu'une dose de 600 mg est nécessaire pour qu'un patient « moyen » reste dans la fenêtre thérapeutique. La figure 5 représente la variabilité individuelle de la concentration pour une dose fixée à 600 mg. On observe qu'à ce dosage tous les patients ne sont pas dans cette fenêtre. Le dosage actuellement recommandé pour les GIST est 800mg permettant que l'ensemble des patients satisfasse la contrainte de fenêtre thérapeutique.

Noter que pour le mathématicien, il est très facile de modifier le protocole d'administration ou de changer de patients virtuels : il suffit de modifier les entrées du programme. Un point délicat, que l'on ne développera pas ici, est la détermination de paramètres propres à chaque patient à partir de quelques prises de sang. Cela utilise des méthodes statistiques comme celle du logiciel Monolix(7).

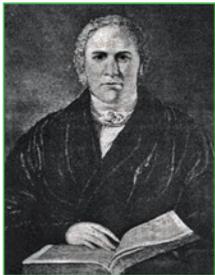
Impact de la non adhésion thérapeutique sur la pharmacocinétique

Regardons maintenant l'influence de l'oubli de quatre comprimés sur les profils de la concentration plasmatique sur une période d'un mois pour une



dose de 800 mg. Les figures 7-8-9 proposent trois stratégies d'oublis. Dans chacun des cas, le patient sort de la fenêtre thérapeutique et ce d'autant plus longtemps que les oublis sont consécutifs. On a représenté ici l'impact de la mauvaise adhésion thérapeutique sur un profil de patient moyen. Mais on pourrait aller plus loin et essayer de relier le taux d'adhésion pour des patients à leur profil pharmacocinétique, afin d'éventuellement déterminer une catégorie de patients pour lesquels l'impact d'une mauvaise adhésion thérapeutique serait moins un frein à la réduction tumorale, ou au contraire une catégorie pour lesquels les oublis ont un impact catastrophique.

La pharmacodynamie de l'Imatinib



Si la pharmacocinétique du médicament nous donne des indications qualitatives sur l'impact de la non adhésion thérapeutique, elle ne nous permet pas de quantifier son impact sur la réduction tumorale et donc le succès clinique. Pour quantifier la régression tumorale, il faut utiliser un modèle de croissance tumorale couplé avec le modèle pharmacocinétique du médicament.

Un des modèles les plus simples utilisés en cancérologie est un modèle de Benjamin Gompertz (1779-1865), mathématicien anglais. Effectuant une étude sur la mortalité en Angleterre au début du 19^e siècle pour la société d'assurance de sa belle famille, il montra en 1832 que la probabilité qu'un nouveau-né atteigne un âge donné suit ce que l'on appelle maintenant l'équation de Gompertz :

$$\frac{d}{dt} Y(t) = aY(t) \ln\left(\frac{b}{Y(t)}\right)$$

Le profil des solutions d'une telle équation est une sigmoïde, le paramètre b représente la taille maximale que la population pourra atteindre, le paramètre a module la vitesse de croissance. On l'utilise depuis plus de 50 ans pour décrire l'évolution temporelle d'une population tumorale.

L'action du médicament peut être modélisée dans le cas d'une chimiothérapie par un terme de réduction proportionnel à la taille tumorale :

$$\frac{d}{dt} Y(t) = aY(t) \ln\left(\frac{b}{Y(t)}\right) - \eta G(t, c(t)) Y(t)$$

où la fonction $(t, c) \rightarrow G(t, c)$ permet de représenter l'efficacité du traitement.

La figure 10 montre l'évolution pendant une année et demie d'une GIST traitée au bout de 6 mois et compare les solutions obtenues par le modèle (courbe bleue) aux données observées sur un patient (points rouge). La figure 11 montre l'impact du traitement par rapport à un patient qui n'aurait pas été traité. Là encore, une des difficultés que rencontre le mathématicien, vient du fait qu'il doit déterminer les paramètres a , b , η à partir des observations que l'équipe médicale peut acquérir (scanner, IRM,...). Pour chaque patient, on a en routine des observations en relativement faible

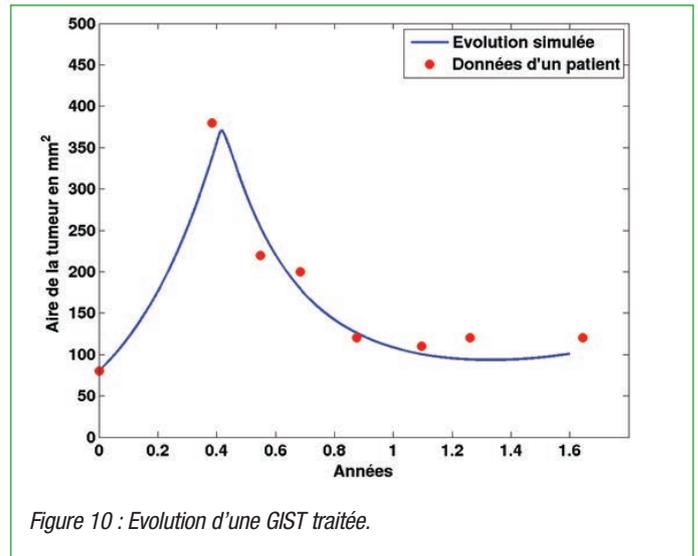


Figure 10 : Evolution d'une GIST traitée.

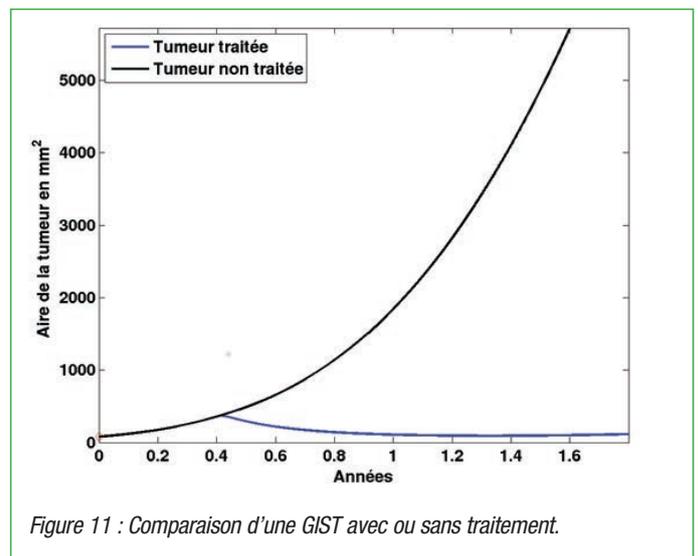


Figure 11 : Comparaison d'une GIST avec ou sans traitement.

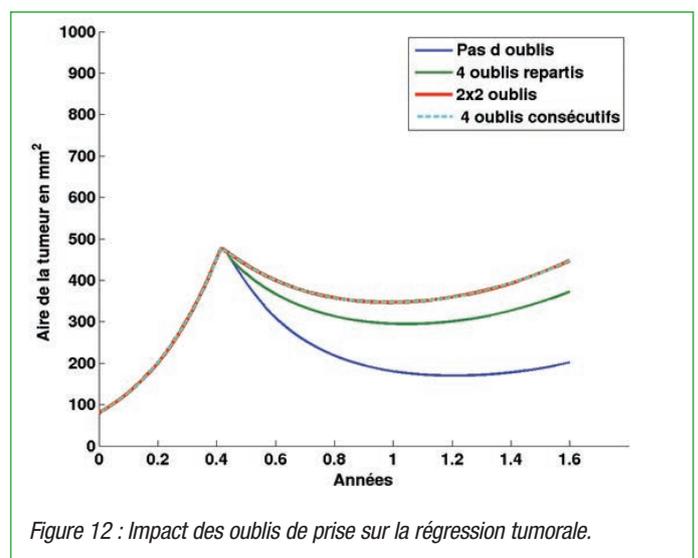


Figure 12 : Impact des oublis de prise sur la régression tumorale.

nombre, rendant difficile l'identification des paramètres, voire même parfois le design de la fonction d'efficacité.

Impact de la non adhésion sur la pharmacodynamie de l'Imatinib

Regardons maintenant l'impact de la non adhésion thérapeutique sur la régression tumorale. La figure 12 montre que les oublis de prise ont un impact sur la maladie. Des oublis consécutifs semblent plus pénalisants que des oublis espacés. L'outil mathématique est donc un moyen puissant de quantifier l'impact de ces oublis et donc de la non adhésion thérapeutique.

Conclusion

Nous venons de voir que l'outil mathématique fournissait un moyen efficace d'évaluation des conséquences de la non adhésion thérapeutique. Un des avantages de cet outil est de pouvoir, dans un premier temps, travailler avec des patients « virtuels » (des jeux de paramètres) afin de comprendre l'impact de la non adhésion thérapeutique en fonction des profils de patients, mais aussi l'impact potentiel de nouveaux protocoles thérapeutiques ou modalités de prise par les patients. Cet outil pourrait permettre à terme une personnalisation des modalités de prises des médicaments anti-cancéreux par voie orale. La mise en place de tels outils nécessite encore bien du travail et d'échanges entre mathématiciens, pharmaciens et médecins. Mais d'ores et déjà cet outil peut être utilisé comme moyen de sensibilisation et d'éducation thérapeutique des patients face à leur pratique thérapeutique et la prise de leurs médicaments. Dans le cas de traitements anti-cancéreux, les oublis ou non prises sont souvent liés à des soucis de toxicités et ne sont pas toujours évitables. Cependant, l'outil mathématique doit pouvoir permettre au pharmacien, au médecin et au patient d'adapter les modalités

de prises afin de pallier les toxicités de ces médicaments sans perdre en efficacité. A long terme, l'outil mathématique devrait s'immiscer dans le quotidien du médecin et du pharmacien clinicien, comme une aide à la prédiction et à la mise en place de protocoles thérapeutiques personnalisés.

Bibliographie

- (1) Hauber A.B. et al, *Patient preferences for reducing toxicities of treatments for gastrointestinal stromal tumor (GIST)*, Patient Preference and Adherence (201) 5 pp. 307–314, Dove Press.
- (2) S. E. Rosenbaum, *Basic Pharmacokinetics and Pharmacodynamics: An Integrated Textbook and Computer Simulations*, 2011, Wiley-Blackwell.
- (3) Meille et al. *Revisiting Dosing Regimen Using Pharmacokinetic/Pharmacodynamic mathematical Modeling: Densification and Intensification of Combination Cancer Therapy*, Clinical Pharmacokinetics, (2016).
- (4) Widmer et al, *Population pharmacokinetics of imatinib and the role of α 1-acid glycoprotein*, British Journal of Clinical Pharmacology, (2006), 62(1) pp 97–112
- (5) Hénin E. et al., *Revisiting dosing regimen using PK/PD modeling: the MODEL1 phase III trial of docetaxel plus epirubicin in metastatic breast cancer patients*, Breast Cancer Res. Treat. (2016).
- (6) Demetri G. D. et al. *Imatinib Plasma Levels Are Correlated With Clinical Benefit in Patients With Unresectable/Metastatic Gastrointestinal Stromal Tumors*, J Clin Oncol (2009) 27 pp 3141-3147.
- (7) Monolix, www.lixoft.eu.
- (8) Gompertz, B., *On the Nature of the Function Expressive of the Law of Human Mortality, and on a New Mode of Determining the Value of Life Contingencies*, Phil. Trans. Roy. Soc. London (1832) 123, 513-585.



Erwan Le Pennec

Professeur à l'École polytechnique, Université Paris Saclay

Erwan Le Pennec, 40 ans. Je suis professeur associé au département de mathématiques appliquées de l'École polytechnique et j'effectue mes recherches en traitement du signal et en statistique au CMAP. Je suis le porteur de la chaire Data Scientist créée en octobre 2014 par l'École polytechnique, Keyrus, Orange et Thales et portée par la fondation de l'X.



Pascal Massart

Pascal Massart, 58 ans, Professeur à l'Université Paris-Sud depuis 1990.

Je me suis intéressé très tôt aux connexions entre le calcul des probabilités dans les espaces de Banach et la statistique avec un goût particulier pour les résultats et inégalités non asymptotiques. Ce goût ne s'est jamais démenti avec un souci de plus en plus affirmé au fil des ans de confronter la théorie à la pratique, ce qui m'a conduit à m'investir dans l'élaboration de critères de choix de modèle entièrement dirigés par les données dont le fondement théorique repose sur la théorie de la concentration de la mesure. Nommé membre de l'IUF en 2010, je me suis investi depuis plusieurs années dans la construction d'un master de mathématiques à l'échelle de l'université Paris Saclay qui a vécu sa première rentrée en 2015.

En l'espace de quelques années, le « big data » a envahi l'espace économique, scientifique et même médiatique. Big data par ci, big data par là, ce terme aiguise les appétits des uns et agace les autres, mais derrière l'effet de « buzz » et les inévitables mythes et fantasmes, il faut bien comprendre que se cachent à la fois une véritable réalité économique et une révolution scientifique.

Un déluge de données

Afin d'appréhender ce phénomène, il convient de partir d'un fait qui n'échappe à personne : les « données » sont aujourd'hui partout. Elles ont évidemment toujours existé au sein des entreprises aussi bien que dans les laboratoires scientifiques. L'élément nouveau n'est pas tant l'augmentation de leur volume que leur exploitation dans des contextes inattendus. Elles ne sont plus seulement générées volontairement en vue d'une exploitation économique bien ciblée ou issues d'une expérimentation scientifique destinée à valider une hypothèse bien identifiée. Récoltées par des capteurs multiples parfois même à l'échelle des individus via des objets connectés qui font partie de notre quotidien, elles ont à l'instar de la créature de Frankenstein une forte tendance à échapper à leur créateurs pour vivre une vie qui leur est propre.

C'est dans l'idée même qu'on puisse les exploiter à d'autres fins que celles pour lesquelles elles ont été conçues que se situe réellement le déclin révolutionnaire du « big data ». Le bras armé de cette idée réside évidemment dans les formidables progrès technologiques accomplis au cours de ces dernières années : explosion de la capacité de stockage des données et facilité de captation, de circulation et d'accès via internet. Parallèlement, ces progrès concernent également les capacités du calcul, exécuté à présent sur des machines de moins en moins coûteuses équipées de processeurs

Le « Big data » et les mathématiques

de plus en plus puissants qu'on peut, qui plus est, faire coopérer grâce au calcul distribué.

Les données, celles dont on dispose et celles qu'on pourrait songer à acquérir avec pour ambition de mieux comprendre celles qu'on possède déjà, ressemblent à un immense gisement dont l'œil peine à embrasser les contours. L'envie de les utiliser comme une ressource pour prendre ou évaluer des décisions ou bien pour comprendre un phénomène scientifique devient dès lors naturelle et le rapport favorable coût/puissance du calcul rend possible cette aspiration.

Une nouvelle matière première

Pour les entreprises, le « big data » constitue une mine d'or, pour les chercheurs c'est un levier puissant de la recherche scientifique. De nombreux produits emblématiques sont ainsi nés des données dans les dernières décennies : les moteurs de recherche des pages constituant le web, les publicités en lignes de nos traces de navigation, la médecine personnalisée à partir des profils médicaux, l'optimisation dans les villes des réseaux de capteurs intelligents ou encore, en science, les thérapies géniques à partir des profils génomiques ou la mise en évidence du boson de Higgs à partir des mesures du Cern. Les données sont perçues comme une source potentielle de richesse permettant d'optimiser le développement et la fabrication de produits existants, d'en construire des nouveaux ou encore

de proposer des nouveaux usages. Dans le même temps, l'utilisation de données toujours plus personnelles de manière parfois assez peu contrôlée est ressentie comme un sujet d'inquiétude.

La Science des données

La Statistique est un domaine scientifique multiforme. Au contact direct de l'environnement socio-économique et des autres disciplines scientifiques via les « données », elle propose un corpus de méthodes d'analyse et d'interprétation fondées sur des modèles mathématiques. Ce statut particulier l'expose à des mutations parfois brutales, principalement liées à sa très grande porosité vis-à-vis de l'extérieur.

L'évolution drastique du concept même de « données » décrit plus haut place cette discipline face à l'une des mutations les plus importantes de son histoire au travers de l'émergence de ce qu'il convient d'appeler désormais la Science des données (*Data Science* dans le monde anglophone) qui constitue au fond une re-fondation de la Statistique actant la montée en puissance du rôle du numérique dans la gestion des données, en amont aussi bien qu'en aval. Positionnée à la frontière entre Informatique et Mathématique, la Science des Données veut penser l'exploitation des données comme un tout : de l'acquisition au produit, en passant par le stockage, le traitement, l'analyse ou encore la visualisation.

Data scientist : un métier aux multiples visages

Cette révolution dans la perception et l'usage des données engendre un besoin de disposer au sein de chaque entreprise de compétences dans le domaine de la Science des données. Le nouveau héros dépositaire de ce savoir serait le « *data scientist* ». Celui-ci maîtriserait les trois clés de la Science des données : il connaîtrait les méthodes avec leurs fondements mathématiques, il saurait les implémenter et il disposerait d'une connaissance approfondie du domaine d'application envisagé. En pratique, ce héros mythique n'existe pas et la maîtrise de toutes ces compétences n'est possible qu'à travers des équipes mélangeant des profils variés. Un « *data scientist* » est de façon plus réaliste un expert dans l'un de ces champs disposant de connaissances plus larges lui permettant d'être à l'interface entre plusieurs d'entre eux. On voit donc fleurir actuellement à divers endroits de par le monde des formations de niveau master dédiées à la Science des Données avec une inflexion plus ou moins forte vers un ancrage méthodologique ou vers la gestion des données. C'est vrai aussi en France évidemment où la très forte demande de recrutement de jeunes scientifiques dans ce secteur offre des opportunités d'emploi exceptionnelles aux futurs diplômés.

Et les mathématiques alors ?

Les thématiques statistiques liées à l'analyse des données de grande dimension se sont développées de façon très vivace durant ces dix der-

nières années. Classifier des données en grande dimension, analyser les données massives et possiblement hétérogènes du « *big data* », bâtir des prévisions à partir de données fonctionnelles, analyser des données structurées en grands réseaux : voici autant de défis auxquels les statisticiens sont désormais confrontés. Dans le même temps, l'enracinement mathématique de la statistique reste plus fructueux et plus varié que jamais. Ceci est non seulement vrai au travers du lien historique avec le calcul des probabilités, mais aussi via la théorie de l'approximation et l'optimisation, ces deux derniers domaines étant eux aussi exposés à la révolution de la grande dimension. Ainsi les méthodes dites de « *compressed sensing* » possèdent-elles une résonance à la fois en théorie de l'approximation en grande dimension et en théorie statistique du signal, tout en reposant fondamentalement sur des propriétés spectrales fines de grandes matrices aléatoires. Dans la même veine, les solutions efficaces pour sélectionner au sein d'un grand nombre de variables les plus influentes d'entre elles, reposent sur des critères d'optimisation dont le bon fonctionnement est intimement lié à des questions de géométrie convexe.

Que ce soit pour la conception, l'expérimentation ou l'application des méthodes statistiques, la réflexion mathématique est aujourd'hui indissociable de la réflexion sur les algorithmes permettant son expression et sa mise en application. Si l'analyse des données en grande dimension a grandement stimulé les recherches des mathématiciens pour faire progresser la méthodologie statistique durant ces dix dernières années, les mathématiques du « *big data* » vont continuer à s'écrire. La validité des informations extraites des données renvoie à la question cruciale de la reproductibilité des découvertes scientifiques effectuées à partir de l'analyse de données massives. La nécessité de préserver la vie privée tout en analysant des données de plus en plus personnelles pose des questions méthodologiques liées à la théorie de l'information. Ces questions constituent des exemples parmi d'autres de problématiques donnant lieu à une intense activité de recherche à l'heure actuelle, s'appuyant de manière indispensable sur la puissance inductive des mathématiques.

Une nouvelle ère s'est donc ouverte qui voit les données, de tout temps matière première de la réflexion du statisticien, devenir aujourd'hui une matière première tout court possédant à la fois une valeur économique et scientifique. Cette ère est celle de la Science des données qui stimule et stimulera (nous en sommes intimement convaincus) des développements mathématiques passionnants.

Petite bibliographie

- *Doing Data Science: Straight talk from the frontline*, R. Schutt and C. O'Neil - O'Reilly
- *Data science : fondamentaux et études de cas. Machine learning avec Python* et R, Éric Biernat / Michel Lutz - Eyrolles

Luis Gomez Nava



Originaire du Mexique, il est étudiant en thèse au Laboratoire Jean Alexandre Dieudonné (LJAD) de Nice. Depuis le début de sa thèse, il a étudié d'une façon théorique des systèmes biologiques qui montrent des phénomènes collectifs, comme par exemple les troupes de moutons ou les colonies de bactéries.

Richard Bon



Maître de conférences à l'université Toulouse III - Paul Sabatier, il travaille au Centre de Recherches sur la Cognition Animale. Il a obtenu une thèse en biologie du comportement et appartient à l'équipe Comportement collectif - CAB. Cette équipe étudie la complexité dans les sociétés animales, l'Homme inclus, avec une approche qui combine éthologie expérimentale et modélisation. R. Bon s'intéresse notamment aux déplacements collectifs avec le modèle mouton.

Fernando Peruani



Maître de conférences au Laboratoire Jean Alexandre Dieudonné (LJAD) de l'université Nice Sophia-Antipolis. Il a obtenu une thèse en physique théorique de l'Institut Max-Planck pour la Physique de systèmes complexes à Dresde et de l'Université technique de Berlin. F. Peruani travaille sur la théorie de systèmes complexes et de la matière active qu'il utilise pour comprendre plusieurs systèmes biologiques.

D'abord descriptive, l'étude du comportement animal est rapidement devenue une discipline quantitative. En effet, la modélisation mathématique permet de dévoiler certains mécanismes comportementaux cachés. Ici, nous montrons que le comportement collectif complexe d'un troupeau de moutons peut être dévoilé par une approche quantitative. En particulier, nous fournissons des preuves solides démontrant qu'un petit ensemble de règles simples, qui dépendent de comportements mimétiques, peut expliquer la plupart des observations expérimentales présentées.

Depuis toujours, l'humanité a montré une forte fascination pour le comportement des groupes d'animaux. On en trouve déjà la trace dans l'art rupestre, voir figure 1. Parmi les groupes d'animaux, les troupes de moutons occupent une position centrale dans de nombreuses cultures par son importance économique. En première définition du mot « mouton » dans le dictionnaire¹, nous trouvons « un animal avec un manteau laineux épais qui est souvent élevé pour la viande ou pour sa laine et sa peau », mais la liste des connotations associées à ce mot est remarquablement grande. Par exemple, le terme « mouton » est également utilisé pour faire référence à « une personne qui fait ce que les gens lui disent de faire », reflétant la réputation de l'animal comme une créature timide et sans défense, facilement influencée et dirigée. Cette connotation, typiquement invoquée pour fustiger l'esprit grégaire, est particulièrement forte dans l'expression « moutons de Panurge », depuis *Pantagruel*, de Rabelais, qui narre comment Panurge jette un mouton à la mer, le reste du troupeau s'y précipitant, les moutons se jetant à l'eau les uns après les autres. La représentation du mouton est aussi largement utilisée dans de nombreuses religions, mais cette fois avec une connotation plutôt positive dans son rapport à l'humanité. Des prophètes comme Abraham, Moïse et Mahomet sont décrits comme des bergers, tandis que les chrétiens (protestants) appellent leur prêtre « pasteur ». Dans un autre registre, les béliers, sont utilisés comme symboles de puissance, force et virilité.

Le concept de « moutons » - profondément enraciné dans notre culture - est donc en partie lié à la timidité, la fragilité et l'obéissance, mais également à la direction, la force et la divinité. Quelle part de vérité recouvrent

Mythe ou réalité : une étude quantitative du comportement du mouton

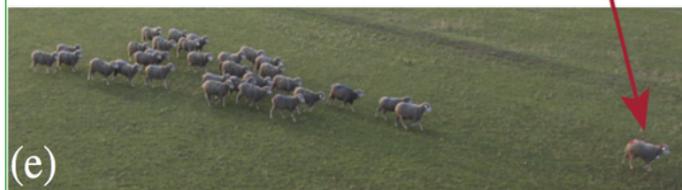
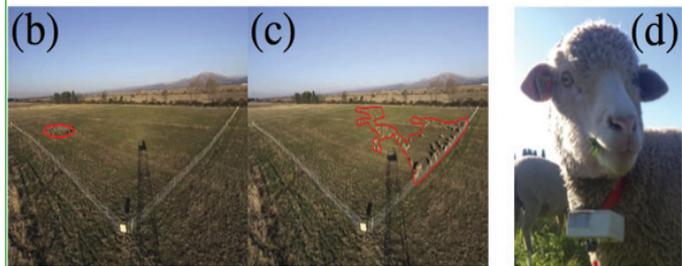
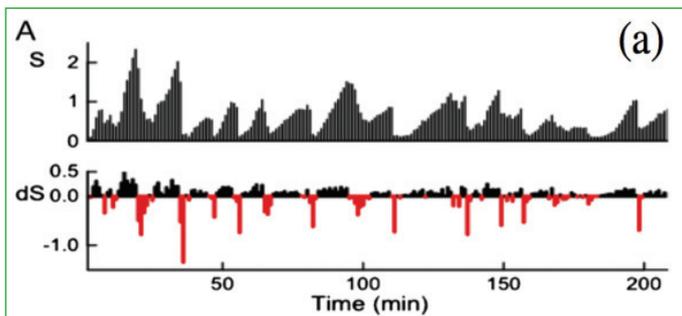
ces représentations ? Quel est le comportement réel des moutons ? Qu'est-ce que la science peut nous dire sur le comportement des moutons ?

D'un point de vue biologique, nous savons que les animaux grégaires comme les moutons ont tendance à se regrouper, probablement comme le fruit d'une adaptation, par l'avantage que procure

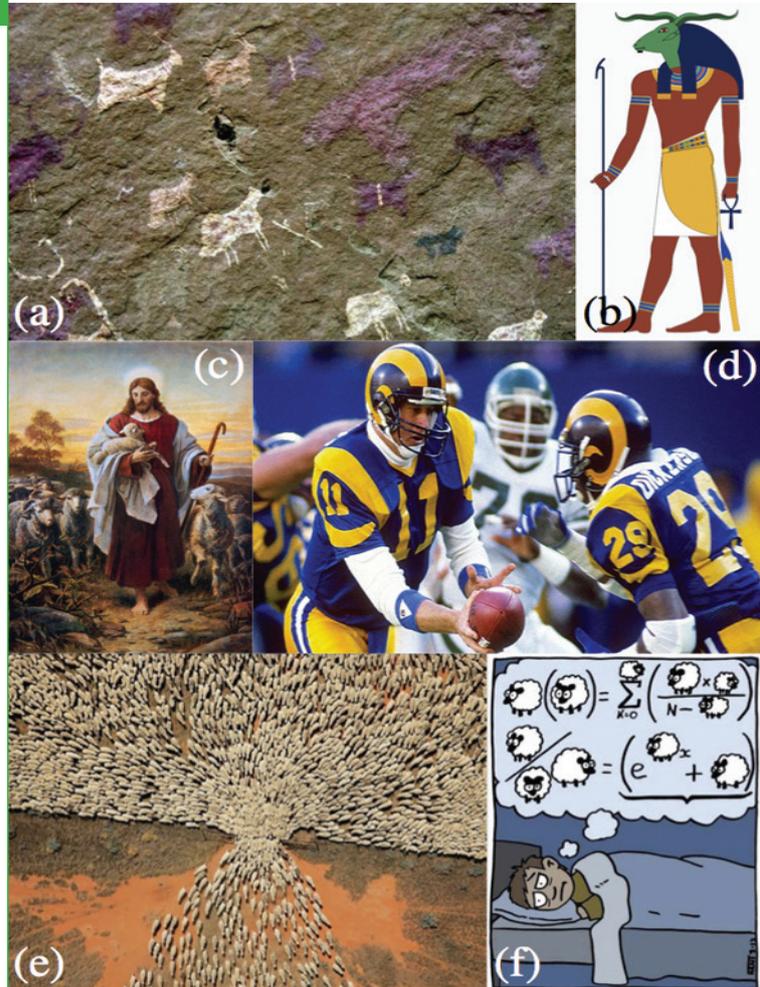
l'agrégation dans la protection contre les prédateurs. En contrepartie, la recherche de nourriture devient plus difficile si le nombre de congénères devient trop important, ce qui reflète de possibles désavantages de l'agrégation. La vie en groupe impliquant une combinaison « coût-bénéfice » pour chaque individu, influence leur prise de décision : rester avec le groupe ou s'en éloigner. Afin de comprendre ces phénomènes de manière qualitative et quantitative, une série d'expériences a été conçue et réalisée. La première série d'expériences que nous examinons ici vise à caractériser le comportement spontané des groupes de moutons. Les expériences ont consisté à placer un groupe de 100 brebis mérinos adultes dans une arène carrée couverte de façon homogène par du pâturage. L'activité spontanée du groupe de moutons a été enregistrée à partir d'une tour haute de 7 mètres. Il a été observé que le groupe passe d'une phase de propagation lente avec dispersion des individus, au cours de laquelle les moutons paissent, à une phase de regroupement spontané rapide². Ce comportement collectif intermittent peut être caractérisé par l'étude de l'évolution temporelle de la surface S couverte par le groupe, voir Fig. 2(a). Ces deux phases se distinguent par la vitesse des individus : lors de la phase de regroupement, les individus se déplacent rapidement, alors que pendant la phase de dispersion les moutons se déplacent lentement dans l'arène. Comment rendre compte de ce comportement collectif, sans influence d'un

berger, en absence de leader, avec des moutons qui ne perçoivent qu'une petite partie du groupe? L'observation suggère que le passage de la phase de dispersion à la phase de regroupement (et inversement) est lié à une cascade de changements de comportements individuels. En pensant les transitions entre les deux phases comme l'expression de cascades ou de chaînes de réaction, un changement de comportement spontané vécu par un individu déclenche un effet domino conduisant à une réponse collective au niveau du groupe. Pour que cela se produise, les individus doivent imiter leurs congénères. Pour évaluer la pertinence des mécanismes proposés, nous avons développé un modèle faisant intervenir des individus dont les changements de comportement ont été modélisés comme des réactions chimiques, dont la vitesse de réaction est une fonction non-linéaire du nombre d'individus dans chaque état comportemental. La similitude remarquable entre les expériences et les résultats du modèle indique que l'hypothèse proposée est effectivement compatible avec les observations expérimentales. De plus, les résultats obtenus nous permettent de supposer que le comportement observé découle de la nécessité d'un équilibre entre deux impératifs contradictoires au niveau individuel : (i) l'exploration de l'espace lors de la recherche de nourriture et (ii) le maintien de la proximité avec les congénères. La dispersion résultant de l'exploration permet l'acquisition de ressources alimentaires mais réduit la protection contre les prédateurs, qui s'accroît lorsque le groupe devient plus compact.

Si les cascades comportementales observées sont déclenchées par le changement spontané d'état d'un individu, nous pouvons obtenir et quantifier les réponses collectives de groupes par l'introduction d'un individu



(a) Experimental times series of the group area $S(t)$ [2]. (b), (c) Group area of sheep highlighted by red curve. The group is extremely localized in (b) and widely spread in (c) [2]. (d), (e) Collective motion triggered by trained sheep [3]



(a) 5000 year old Somali cave paintings [4]. (b) Egyptian god Khnum [5]. (c) Jesus depicted as Shepherd of the herd of sheep [6]. (d) NFL St. Louis Rams during a match. (e) Collective motion of a herd of sheep passing through a door. (f) Comic [7].

contrôlé à distance. La deuxième série d'expériences a consisté à placer dans un groupe de moutons naïfs, un individu entraîné à se déplacer vers une position prédéfinie dans l'arène suite à la vibration d'un collier³. Le collier vibrant est activé par une commande à distance. Des expériences ont été menées avec des groupes de 4, 8, 16 et 32 moutons. Étonnamment, alors que les groupes de 4, 8, et 16 individus ont été facilement manipulés par l'individu entraîné, une réponse en « tout ou rien » a été observée pour les groupes de 32 : soit l'ensemble du groupe d'individus naïfs suit l'individu entraîné ou aucun ne bouge. Afin de comprendre ce processus décisionnel collectif complexe, nous avons fait à nouveau usage des mathématiques. Comme précédemment, nous avons représenté les changements de comportement comme des réactions chimiques. Nous avons montré qu'un double jeu d'imitation était à l'œuvre, avec une stimulation à suivre qui croît avec le nombre de marcheurs et une incitation à rester immobile stimulée par le nombre d'individus immobiles. Mais un paramètre important supplémentaire s'impose: la vitesse de réaction des potentiels suiveurs qui dépend de la taille du groupe. Selon le modèle mathématique, si l'individu entraîné en marche ne parvient pas à induire un changement de comportement chez l'un des individus naïfs avant de s'arrêter à la position prédéfinie dans l'arène, aucune réponse collective ne se produit. Comme précédemment, les résultats obtenus avec le modèle mathématique correspondent à ceux obtenus expérimentalement ce qui nous a permis de conclure que l'imitation combinée avec la durée du stimulus peut se traduire par un processus de prise de décision collective robuste.

En conclusion, les résultats recueillis confirment la réputation du mouton, même si les résultats expérimentaux suggèrent que le processus d'imitation est plus complexe que ne le laisse présager Rabelais. Ils indiquent que manipuler un ou quelques individus permet finalement de contrôler l'ensemble du troupeau. Les humains en ont probablement profité empiriquement pour domestiquer les troupeaux de moutons sauvages. Remarquons que les règles comportementales simples, qui rendent les troupeaux de moutons faciles à contrôler, sont les mêmes qui permettent aux moutons de développer des comportements collectifs auto-organisés complexes, comme le comportement intermittent commenté ci-dessus qui permet aux moutons de s'auto-organiser (en utilisant l'imitation) pour maximiser les chances de manger sans être mangé. Au-delà de nos études sur les moutons, le message important pour les personnes intéressées par la modélisation mathématique est que l'étude du comportement animal s'est enrichie ces dernières années d'une approche quantitative. La modélisation mathématique peut aider à tester des hypothèses et dévoiler les règles de comportement des groupes d'animaux.

Bibliographie,

- [1] Merriam-Webster on-line dictionary: [«http://www.merriam-webster.com/dictionary/sheep»](http://www.merriam-webster.com/dictionary/sheep)
- [2] F. Ginelli, F. Peruani, M-H. Pillot, H. Chate, G. Theraulaz, R. Bon, "Intermittent collective dynamics emerge from conflicting imperatives in sheep herds", *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112, 12729-12734 (2015).
- [3] S. Toulet, J. Gautrais, R. Bon, F. Peruani, "Imitation combined with a characteristic stimulus duration results in a robust collective decision-making in sheep", *PLoS ONE* 10(10): e0140188 (2015).
- [4] CNN online, <http://edition.cnn.com/2011/WORLD/africa/02/05/protecting.somali.cave.art/>, part of the "World's Treasures" issue, February 5th 2011.
- [5] God Khnum, <https://en.wikipedia.org/wiki/Khnum>.
- [6] Bernhard Plockhorst's (1825-1907) "Good Shepherd", https://en.wikipedia.org/wiki/File:Bernhard_Plockhorst_-_Good_Shepherd.jpg
- [7] *Comic designed* by Brian Kent, online available at: <http://www.mensocomic.com>



Laurent Oudre

Maître de conférences au L2TI (Université Paris 13) et chercheur associé au CMLA (ENS Cachan - CNRS) et à COGNAC G (Université Paris Descartes - CNRS - SSA). Il est diplômé de Supélec et de l'Imperial College London et a soutenu sa thèse en traitement du signal

audio en 2010 à Telecom ParisTech. Ses thématiques de recherche portent sur le traitement du signal, la reconnaissance de formes, la segmentation, la classification et l'apprentissage, dans divers contextes applicatifs (son, signaux physiologiques, vidéo...).

Nicolas Vayatis

Directeur du CMLA et professeur des universités au département de mathématiques de l'ENS Cachan. Il y anime un groupe de recherche dans le domaine de l'apprentissage statistique et du traitement de données massives qui s'implique dans des projets

*interdisciplinaires aux interfaces. Ses principaux thèmes de recherche sont la théorie de l'apprentissage, la modélisation prédictive et l'inférence à partir des données issues de graphes réels. Nicolas Vayatis est co-auteur d'environ 80 publications dans des revues et des conférences internationales et Action Editor pour la revue *Journal of Machine Learning Research*. Il est également responsable de la formation de master M2 MVA (MAthématiques-Vision-Apprentissage).*



Quantifier le comportement humain : Nouveaux challenges en mathématiques et en traitement du signal

Pendant des décennies, une partie importante de la recherche en bio-ingénierie s'est concentrée sur le développement de capteurs toujours plus performants, plus précis et plus robustes. La qualité toujours croissante des mesures réalisées a permis de nombreuses découvertes médicales, à la fois en recherche clinique et appliquée (notamment en biomécanique ou en posturographie). La mesure du comportement humain était alors réservée à un contexte clinique et à un public d'experts utilisant des systèmes de mesure hautement spécialisés, parfois encombrants et souvent onéreux.

Mais en parallèle, la société civile s'est emparée d'une nouvelle génération de capteurs, peu encombrants et produits à bas coût dans les pays émergents. En particulier, l'apparition des téléphones intelligents, puis des montres et autres objets connectés a donné à chacun la possibilité de mesurer chacune de ses activités physiques. Ce marché est en pleine expansion et on peut désormais pour quelques centaines d'euros mesurer son sommeil, sa course, sa dépense énergétique... Ce phénomène de « quantification du soi » a des répercussions sociologiques, mais également scientifiques.

En effet, on est passé en quelques années d'une quantification experte nécessairement limitée à quelques sujets, à des possibilités presque illimitées de quantification à bas coût d'un grand nombre d'individus. Cette évolution rapide et spectaculaire ouvre la porte sur de nouveaux défis en mathématiques, en traitement du signal et en bio-ingénierie. Néanmoins, l'utilisation de ces nouvelles technologies dans un contexte clinique est encore décriée et contestée dans la communauté médicale. La première des objections concerne la qualité et la finition des capteurs utilisés dans les appareils connectés, qui ne satisfont pas les spécifications des systèmes actuellement utilisés en recherche clinique. Se pose alors non seulement la question de la qualité des données collectées, mais aussi de la fiabilité des appareils dans une utilisation clinique sécurisée et répétée. La deuxième crainte est liée au fait que, bien souvent, les données fournies à l'utilisateur ont été traitées par des algorithmes brevetés dont le contenu n'est pas disponible. Ces modules « boîte noire » ont tendance à inspirer la méfiance des médecins car ils ne bénéficient que rarement d'une validation dans des revues médicales. La troisième objection a pour objet les conditions de mesure dans un contexte clinique. Bien souvent, un médecin rencontre chaque jour de nombreux patients ayant tous des pathologies très variées. Et alors que les systèmes grand public sont adaptés pour une utilisation par des sujets sains, il est peu probable qu'ils soient adaptés à toutes les pathologies que rencontre un professionnel de santé. De la même façon, la robustesse et la précision attendues pour un système utilisé en clinique dépassent largement celles attendues par des utilisateurs amateurs.

Répondre à ces objections n'est pas chose facile : il s'agit à chaque fois d'apporter une réponse scientifique concrète à une interrogation justifiée, en introduisant à la fois de bonnes pratiques dans la collection des données, et en proposant des algorithmes robustes et documentés, accessibles et compréhensibles à la fois pour des mathématiciens ou traiteurs du signal, mais aussi pour les utilisateurs du système. Notre démarche s'inscrit dans le cadre d'un projet de rapprochement de deux unités mixtes de recherche du CNRS qui sont le *Cognition and Action Group* (Cognac G - CNRS INSB, Irba et université Paris-Descartes) d'une part et le Centre de mathématiques et de leurs applications (CMLA - CNRS Insmi et ENS Cachan) d'autre part. Nos deux unités travaillent conjointement avec des équipes de cliniciens du Service de santé des armées pour élaborer des méthodologies et des outils de quantification objective des aptitudes du sujet en contexte clinique. Les trois axes fondamentaux qui illustrent notre démarche sont décrits dans la suite.

Améliorer la qualité des données

Il est évident que la qualité des données obtenues avec des capteurs valant quelques euros ou avec des systèmes professionnels n'est pas comparable. Néanmoins, il existe plusieurs façons de limiter ce phénomène.

La **première façon** nous ramène aux débuts de la science expérimentale, par la définition de protocoles standards permettant de diminuer les effets parasites et de se focaliser sur le ou les phénomènes que l'on veut observer. Si par exemple, on décide de mesurer l'activité de course non pas sur une journée, mais sur un exercice bien déterminé, sur un tapis de course et durant quelques minutes, on s'affranchit de nombreux paramètres (le terrain, les conditions météo, les virages, etc.) qui permettent de se concentrer

sur l'activité motrice du sujet. La définition d'un protocole permet également d'introduire la comparabilité et la reproductibilité dans la prise de mesure. On peut par exemple compenser l'effet de capteurs de qualité médiocre, en demandant au sujet de réaliser un protocole plusieurs fois et en fusionnant les résultats obtenus. Le protocole permet également d'intégrer l'expertise du médecin dans la prise de mesure, en choisissant avec précision les mouvements ou les exercices que le sujet effectue en fonction des symptômes ou caractéristiques que l'on veut observer. Il est à noter que cette vision des choses est en opposition avec l'usage actuel des outils de quantification du soi, où l'idée est justement souvent de « tout enregistrer ». La qualité parfois médiocre des données obtenues par ce genre de systèmes est au moins autant due aux capteurs utilisés qu'au fait que l'on enregistre au cours de la journée différentes activités mal définies et qui ne sont pas toutes pertinentes pour l'analyse. En se recentrant sur une activité, dans des conditions maîtrisées, on augmente largement la pertinence des données récoltées.

La **deuxième façon** d'améliorer la qualité des données est de revenir à la source, c'est-à-dire aux données brutes fournies par les capteurs. Il est en effet illusoire d'utiliser des données déjà pré-traitées pour une analyse fine du comportement humain. En effet, les différents modules et algorithmes fournis avec les appareils « grand public » ont souvent pour but de résumer les données de la façon la plus concise possible. On n'a donc accès qu'à un nombre limité d'informations, qui ont bien souvent subi des filtrages et/ou des agrégations. Afin d'obtenir des signaux physiologiques de meilleure qualité, il convient d'accéder aux données avant pré-traitement, afin de contrôler toute la chaîne de mesure. En effet, un choix rigoureux d'algorithmes évolués de traitement du signal pour le ré-échantillonnage, l'interpolation d'échantillons manquants ou le débruitage de signaux peut parfois compenser les effets néfastes liés à l'utilisation de capteurs premier prix. De plus, le choix des paramètres de pré-traitement (fréquence d'échantillonnage, filtrage, ...) doit être guidé par le protocole et le phénomène à étudier. Ainsi, certains capteurs bas de gamme peuvent être inadéquats pour certaines applications, mais parfaitement suffisants pour d'autres, moyennant un pré-traitement adapté. Là encore, c'est la définition d'un protocole qui permet d'adapter le capteur à une tâche donnée, et donc d'améliorer la qualité de la mesure.

Des algorithmes pour les médecins, avec les médecins et l'enjeu de la reproductibilité

Le morcellement des compétences résultant de l'émergence de technologies et d'interfaces numériques dans le domaine médical a des conséquences néfastes sur la validité de l'observation empirique et de là sur la validation de protocoles médicaux et de voies thérapeutiques. D'une part, l'expert-clinicien n'est pas à même d'évaluer la justesse des mesures et des indicateurs proposés dans les logiciels qu'ils utilisent, d'autre part, la taille réduite des cohortes impliquées dans les essais cliniques ne permet pas de garantir suffisamment de validité statistique pour les corrélations observées. Par ailleurs, la dimension « boîte noire » des logiciels intégrés dans les appareils médicaux traduit une opacité de systèmes d'aide à la décision qui serait inacceptable dans la plupart des contextes industriels présentant des enjeux de sécurité et de monitoring de systèmes. La démarche promue par notre groupe de recherche est de contribuer à l'éveil des utilisateurs finaux quant au traitement et la valorisation des données en co-développant avec

eux les protocoles de collecte, de quantification des examens cliniques, ainsi que le prototypage d'algorithmes. Notre méthodologie implique une documentation exhaustive des développements proposés, la réalisation de plates-formes et d'outils en ligne permettant de réaliser des bancs d'essais à la fois des capteurs et des algorithmes assurant la reproductibilité des traitements de données. La démarche proposée repose largement sur le savoir-faire et les réalisations existantes dans le cadre du projet IPOL (*Image Processing OnLine* <<http://www.ipol.im>>) dont le leader scientifique est Jean-Michel Morel (Grand prix INRIA-Académie des sciences 2013, Médaille de l'innovation du CNRS 2015). IPOL est une plate-forme offrant la possibilité d'expérimentation numérique en-ligne d'algorithmes de traitement d'images. Elle recense actuellement plus d'une centaine d'algorithmes et a donné lieu à plus de 18 000 expériences. Le principe est à présent décliné pour l'analyse de signaux physiologiques.

L'enrichissement des bases de données et les retours d'expériences sur les algorithmes : collecter l'expertise du médecin

Après s'être assuré de disposer de données de qualité et d'outils de traitement transparents, l'enjeu suivant est celui de la valorisation effective des données. Il existe aujourd'hui pléthore de concepts, d'outils, d'algorithmes et d'implémentations issus des domaines de la statistique en grande dimension et de l'apprentissage (machine learning) qui rendent possibles la prise en compte de données présentant un certain degré de complexité et d'hétérogénéité. Or, rappelons-le les données ne savent pas ce qu'elles sont ! et le mathématicien, quel que soit son talent ou son niveau d'expertise, ne pourra pas à lui seul proposer des modélisations et des interprétations pertinentes. Tout traitement statistique doit d'emblée considérer des a priori qui vont conditionner la façon de

résumer et d'agréger des données, de déterminer les échelles d'analyse appropriées aux phénomènes qu'on souhaite appréhender. Un point clé est le recueil d'annotations par le médecin au cours de l'acquisition de données par les capteurs (ces annotations constituent des 'métadonnées'). En effet, l'étude empirique de la physiopathologie révèle une diversité des troubles et des atteintes possibles si bien que de nombreux cas révèlent en réalité une forme de pluripathologies, notamment chez le sujet âgé qui cache de nombreux pièges en cas de traitement statistique superficiel. A l'autre bout de la chaîne, le mathématicien peut largement bénéficier de l'expérience et l'expertise du médecin au moment de la confrontation des résultats des analyses statistiques ou prédictives. Cette étape est également clé puisqu'elle structure les échanges au travers de la validation de la chaîne de traitement des données depuis le capteur jusqu'à la « décision » et elle constitue parfois le moment de la découverte scientifique lorsqu'elle révèle des effets inattendus ou propose des vues nouvelles sur la pratique clinique.

Voici en résumé, les grandes lignes de notre action aux interfaces des mathématiques et de la neurophysiologie à travers le projet COGNAC G-CMLA. Par les problématiques d'ingénierie, de plates-formes logicielles, de médecine translationnelle, elle peut paraître éloignée du cœur scientifique de la recherche en mathématique. Or, elle se veut poser les bases pour rendre accessible à la communauté de recherche en traitement du signal et mathématiques appliquées des données de qualité qui stimuleront les questionnements scientifiques futurs. Les outils méthodologiques et informatiques développés dans le cadre du projet constituent des vecteurs importants pour la pérennisation et la consolidation des contributions scientifiques en rendant possible leur validation via la reproductibilité et la confrontation au réel. N'est-ce pas ce que tout scientifique se doit de rechercher ?



Michel Blay

Michel Blay est Directeur de recherche émérite au CNRS et Président du Comité pour l'histoire du CNRS. Il est spécialiste d'histoire et de philosophie des sciences. Ses travaux portent principalement sur la science classique et sur les implications sociales et techniques des sciences.

La démonstration joue un rôle essentiel dans le champ des mathématiques comme dans celui des sciences physico-mathématiques. Elle en est le cœur, mais d'où vient-elle ?

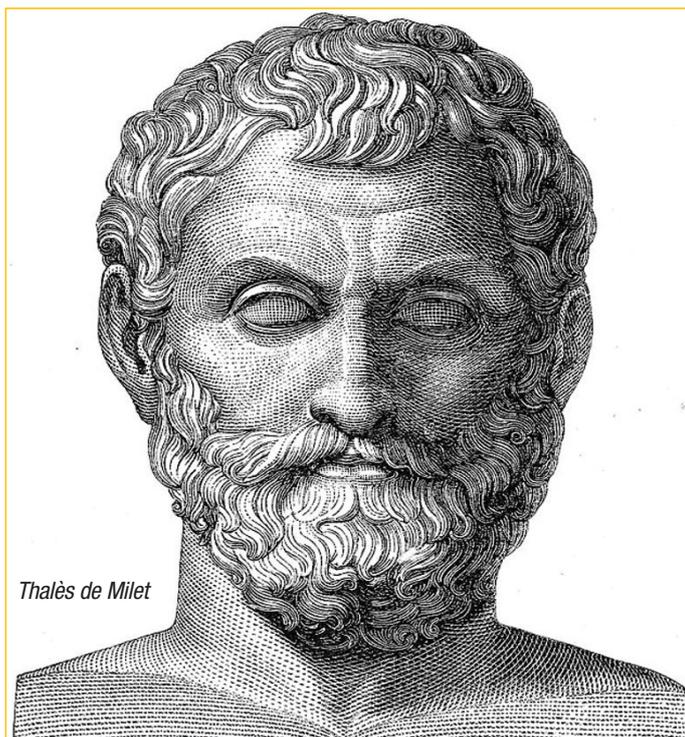
Le domaine des mathématiques prend son origine et construit ses premiers objets avec le langage, les gestes quotidiens, l'abstraction des opérations techniques et les nécessités comptables, agraires ou astronomiques des premières communautés humaines. Dans ce cadre complexe, les chiffres, les calculs, la numération et les figures surgissent comme autant de procédures maîtrisées mais gardées par certains. C'est le temps des prêtres et du mystère des calculs, des calculs intimidants parce que servant à des prédictions, voire à des sacrifices et dont tout un chacun ignore les simples raisons et les modalités opératoires ; des secrets bien gardés au fond des temples, des secrets pour construire et nourrir, de par le monde, des cultes et établir des pouvoirs. Ce ne sont là cependant que les commencements de l'histoire... De ces multiples calculs, procédures et règles mystérieuses associés aux jeux des pouvoirs et aux règles des cultes, ne peut-on faire un tout, un enche-

Naissance de la démonstration

vêtement ordonné de raisons partagées ? Ne peut-on faire de ce qui est dit et proclamé un corps de savoir où le dit et le proclamé doivent être démontrés, c'est-à-dire que soient exhibés en toute clarté les concepts, les notions, les principes (axiomes, postulats, demandes) et les

procédures logiques afin que chacun, par lui-même, puisse comprendre et s'approprier le savoir ? Question éminemment philosophique par laquelle les mathématiques, en tant que réponse, vont s'instituer en instituant une liberté et une autonomie pour la pensée, c'est-à-dire une liberté et une autonomie pour chacun et corrélativement un nouvel horizon de liberté pour l'humanité.

Principalement euclidien (III^e siècle av.J.C.) ce moment ne prend son sens qu'en s'inscrivant dans une généalogie, dans un mouvement de pensée où, à travers la Méditerranée, l'intelligible s'est constitué. Comment s'est dévoilé l'exacte nature des objets mathématiques et comment leur idéalité dès qu'elle a été reconnue a rendu possible et nécessaire l'édification exclusivement logique d'un système de vérité et par là même le développement d'une forme pure de rationalité qui se trouvera précisément incarnée dans les *Eléments* d'Euclide ? Dans cette perspective le cadre de la géométrie n'est plus celui de la manipulation de figures dans des constructions sensibles, mais la compréhension et la saisie de leurs propriétés, par la démonstration. C'est le temps des milésiens, trois citoyens de Milet du VI^e siècle avant J.C., Anaximandre, Anaximène et surtout Thalès. C'est aussi, probablement avec lui, que commence la tradition des Ecoles philosophiques dans la Grèce et donc celle de la transmission et de l'enseignement. L'œuvre d'Hippocrate de Chio (vers 435 av. J.C.) joue alors dans la construction de l'objet géométrique, devenant autonome, un rôle tout à fait décisif. Il engage à proprement parler le chemin vers les *Eléments*. Se trouve alors déployé un ensemble de procédures conduisant à la mise en ordre des propositions, à l'introduction des définitions, au souci d'établir l'existence géométrique de l'objet d'étude. Ainsi, l'objet géométrique, comme à son insu, s'installe sur un nouveau terrain où le caractère « théorique » de la géométrie peut désormais se déployer librement comme science des possibles assurée, une fois posés les principes et la norme logique du discours, de la certitude de ses résultats.



Thalès de Milet

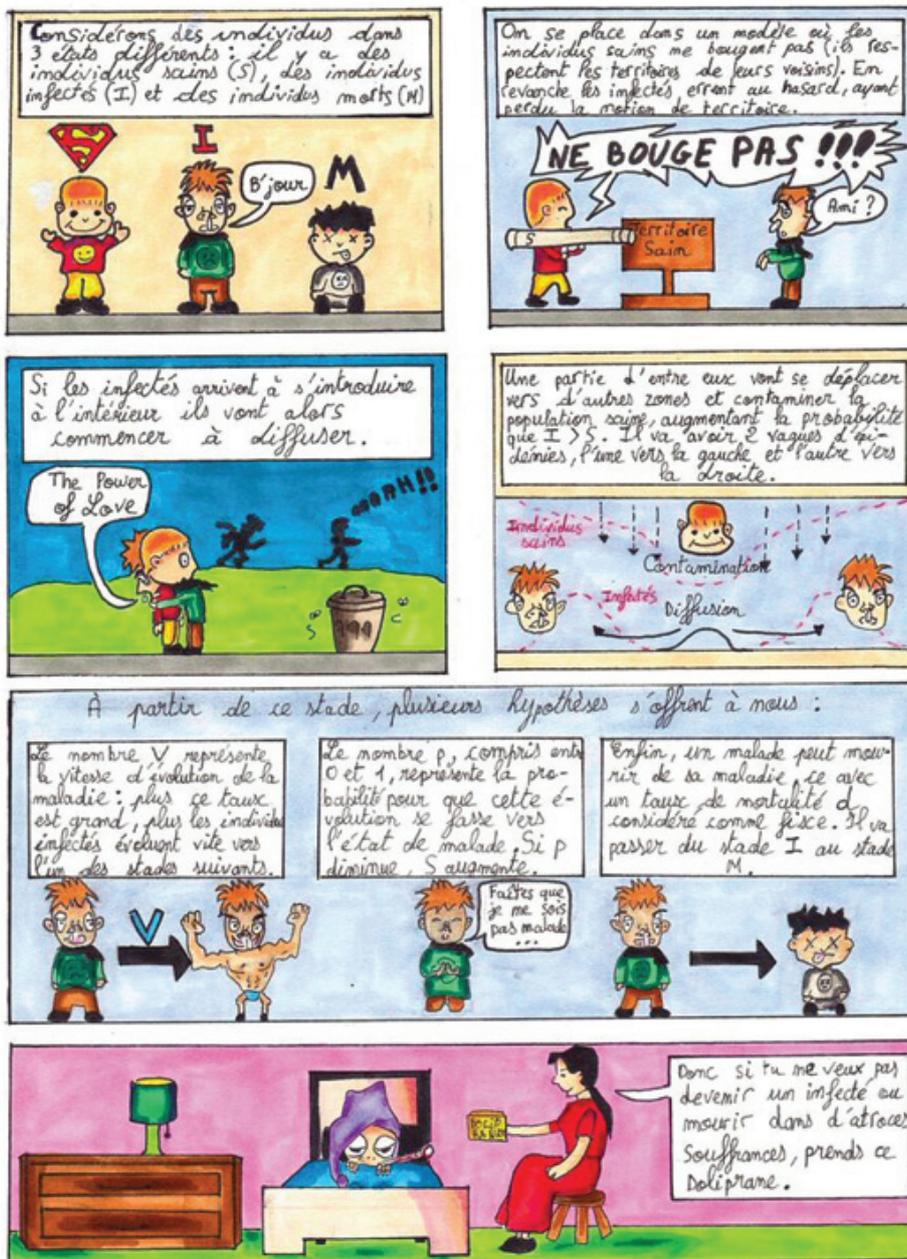
Le mouvement est lancé. Il sera prolongé en terre d'islam et renforcé à partir du XVI^e siècle en Occident, où les mathématiques naissent vraiment en affirmant que chacun peut les comprendre autant qu'il fera les efforts requis et nécessaires. Il n'y a plus de mystère. La démonstration règne et par elle s'accomplit la visée de vérité, l'exigence intellectuelle, la satisfaction de la raison et finalement l'obligation pour chacun de prouver et de démontrer ce qu'il avance. Les mathématiques par cette exigence, deviennent une école de la pensée par laquelle la pensée apprend à conquérir son autonomie et sa liberté ; un fondement pour une éthique.

Ainsi mathématiques et philosophie ont marché d'un même pas, en instituant une démarche ignorant la soumission au mythe pour interroger

un monde alors présumé intelligible. L'ordre démonstratif introduit par Euclide et la pensée grecque devient l'ordre par lequel la science en tant que science s'est constituée.

Petite bibliographie:

- *La mathématique. Les lieux et les temps*, sous la direction de Claudio Bartocci et Piergiorgio Oldifreddi, avant propos de Michel Blay, Paris, CNRS éditions, 2009.
- *Les mathématiques. Les plus grands textes d'Euclide à Gödel et Bourbaki*, préface de Michel Blay, L'Anthologie du savoir, Le Nouvel Observateur/CNRS éditions, 2011.



Bulle au carré - concours 2016 - BD 59 : Jérémie Wenzel (St Hilaire-des Landes) - 3^e prix du jury.
https://www.dropbox.com/s/1kacvg9q021pnjh/59_Wenzel-J%C3%A9r%C3%A9mie.jpg?dl=0

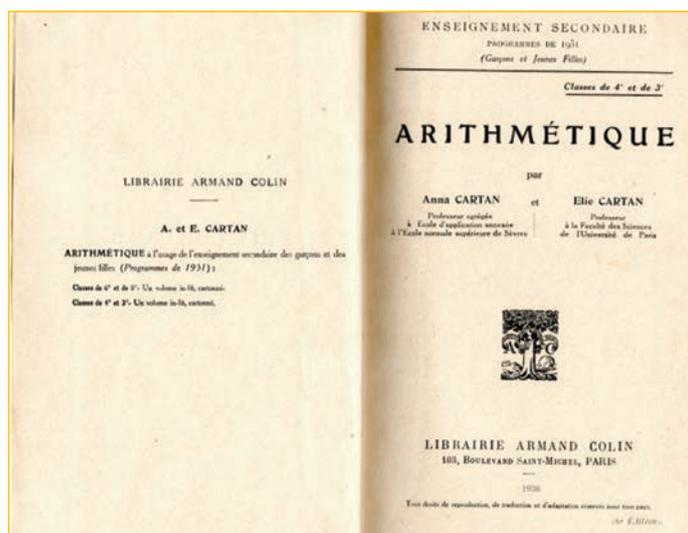
Paul, Monique, Jean-Patrick, Marie-Françoise et quelques autres...

Paul Gille est éditeur d'A3 Magazine et co-représentant régional en Val de Loire. Monique Pontier est orléanaise et professeure émérite à l'Institut mathématique de Toulouse. Jean-Patrick Connerade, alias Chaunes, est notre poète attitré et réside à Londres. Marie-Françoise Lafon est médecin, fidèle de notre Comité de rédaction, nantaise et inconditionnelle de Buffon.

René Descartes (1596-1650) affirmait que «La géométrie est l'art de raisonner juste sur des figures fausses», mais les actrices et acteurs de cette discipline présentent eux-mêmes des « figures » très inattendues. En toute liberté d'expression, les amis de notre rédaction ont rassemblé ici quelques anecdotes insolites ou comportements en diverses circonstances de la vie, de la société ou de l'histoire, en rapport ou non avec l'activité scientifique. Il est parfois difficile d'authentifier les événements par rapport aux légendes dorées ou aux rumeurs, de la mort d'Archimède au duel d'Évariste Galois ou, plus récemment, l'éventuel rival mathématicien d'Alfred Nobel. Les concepts mathématiques attachés à ces savants sont parfois surprenants et vont du plus théorique au plus appliqué ou ludique.

La famille Cartan et les manuels scolaires

Elie Cartan (1869-1951) avec son fils Henri Cartan (1904-2008), mais aussi avec d'autres membres de la famille (Anna, Louis, Hélène) sont parmi les plus brillants représentants de l'école française de mathématique et physique du début du XX^e siècle. Elie est bien connu des spécialistes de la théorie des groupes et de la relativité. Henri est l'un des fondateurs du groupe Bourbaki.



Il faut mettre également à leur gloire leur action pédagogique élémentaire auprès des jeunes élèves entre les deux guerres, par la rédaction de manuels d'arithmétique et de géométrie pour l'enseignement secondaire.

Figures de mathématicien(ne)s

Emmy Noether, une mathématicienne exceptionnelle à Göttingen

Comme souvent jusqu'au début du 20^e siècle Emmy Noether (1882-1935) était à la fois mathématicienne et physicienne. Fille du mathématicien Max Noether, elle a fait ses études à l'université d'Erlangen (où il n'y avait que deux femmes sur 986 étudiants) et y a soutenu sa thèse en 1907 sous la direction de Paul Gordon. En 1915, il lui est proposé un poste de professeur à l'université de Göttingen, mais le conseil de l'université s'y oppose en raison du grotesque argument suivant : « comment accepter que de jeunes soldats se trouvent aux pieds d'une femme », en dépit du soutien de Hilbert qui rétorqua : « mais enfin, nous sommes une université, pas un établissement de bains public ! ». Elle put passer outre en enseignant sous le nom de Hilbert. Sa contribution est majeure dans plusieurs domaines, particulièrement en algèbre. On lui doit ce qu'on appelle les structures algébriques noethériennes (groupes, anneaux, corps...) En 1933, comme elle était juive, elle fut obligée de s'exiler aux Etats-Unis. Elle décéda brusquement en 1935 suite à une opération pourtant a priori bénigne.

Wendelin Werner, le violon « sans souci »

Bien connu comme lauréat français de la médaille Fields en 2006, membre de l'Académie des sciences (entre autres), spécialiste des probabilités, Wendelin Werner est actuellement professeur à l'École polytechnique fédérale de Zurich. On se souvient peut-être moins de son rôle d'acteur à 12 ans dans le film « La Passante du Sans-Souci » avec Romy Schneider, Michel Piccoli et Jacques Martin (1982). Orphelin recueilli et invalide après les persécutions des nazis, il émerveille par sa fraîcheur... et son talent de jeune violoniste.

Sophie Germain, la double vie



L'Institut Henri Poincaré et la Poste ont organisé le 18 mars 2016 une journée spéciale en l'honneur de Sophie Germain (1776-1831) à l'occasion de l'émission du timbre à son effigie. Comme le rapporte le Journal du CNRS, cette mathématicienne et philosophe a apporté la première contribution non triviale au dernier théorème de Fermat et travaillé sur la mécanique des solides. Autodidacte dans un temps où la science était réservée aux hommes, elle publie d'abord ses résultats sous le pseudonyme d'Antoine Auguste Le Blanc avant d'obtenir la reconnaissance de l'Institut. Son nom est maintenant attaché à différents édifices comme celui de l'Université Paris 7 - Diderot, en compagnie de Voltaire, Condorcet, ou Olympe de Gouges.

Les mains de Solomon Lefschetz

Russe d'origine, ingénieur de l'Ecole centrale à Paris, Solomon Lefschetz (1884-1972) émigre aux Etats-Unis au moment de la seconde guerre mondiale et devient professeur à Princeton. Il avait perdu ses deux mains à 23 ans, lors d'un accident. Pendant sa convalescence, il se remet aux maths... ses travaux fondent une école de géométrie algébrique. Il a été de 1928 à 1958 l'éditeur du journal *Annals of Mathematics*.

Halley, des plans d'assurance sur la comète



Comme toutes les célébrités anglaises Sir Edmond Halley (1656-1742), mathématicien et astronome, est inhumé à l'abbaye de Westminster, où une plaque récente symbolise la comète qui l'a immortalisé, avec une

inscription en lettres rouges : « *This memorial marks the comet's return in 1986 intercepted by the European spacecraft Giotto built by British Aerospace* ».

Plus surprenant encore, l'inscription dans la queue de la comète rappelle tous ses titres scientifiques, y compris celui, inattendu, de fondateur des statistiques de l'assurance-vie:

«*First to predict the return of the comet named after him*
Second Astronomer Royal
Fellow and Secretary of the Royal Society
Sponsor of Sir Isaac Newton's Principia
Editor of Philosophical Transactions
Savilian Profess of Geometry Oxford
Oceanographer Meteorologist Geophysicist
Inventor Navigator and famed for
his researches in determining longitude
He laid the actuarial foundations of life assurance»

Autre intéressant mathématicien britannique, mais écossais : **Colin Mac Laurin** (1698-1746), qui a reçu (avec Euler et Daniel Bernoulli) un prix de l'Académie des sciences de Paris, pour un mémoire sur le flux et le reflux des mers. On y trouve les fameuses formules Euler-Mac Laurin et les séries Taylor-Mac Laurin. Il est mort, semble-t-il, les armes à la main en combattant les stuartistes à Edimbourg.

Buffon, π et le jeu de l'aiguille

Georges-Louis Leclerc, comte de Buffon (1707-1788) est connu comme naturaliste, mathématicien, biologiste, cosmologiste, philosophe et écrivain français. Né à Montbard il entreprend des études de droit (licence en 1724) mais, contre l'avis de son père, ne poursuit pas dans la magistrature et se tourne vers les mathématiques qui le passionnent de longue date. En 1728 il suit les cours du père oratorien de Landreville à Angers, il lit Newton et correspond avec le mathématicien genevois Gabriel Cramer. Toujours à Angers il suit des cours de médecine mais doit quitter la ville deux ans après à la suite d'un duel (sentimental ?) au cours duquel, plus chanceux qu'Évariste Galois, il tue son adversaire, un officier du régiment Royal-Croate. De 1730 à 1732 il accompagne un jeune aristocrate, le duc de Kingston et son mentor en Italie et dans le sud de la France, tout en poursuivant sa correspondance avec Gabriel Cramer. En juillet 1732 il s'installe à Paris.

Au printemps de 1733 il présente à l'Académie des sciences un mémoire sur le calcul des probabilités et le calcul intégral : les problèmes du « franc carreau » et de « l'aiguille ». Le 9 janvier 1734 il est admis à l'Académie (section mécanique). A partir de 1739 il est nommé Intendant du jardin du Roi et du Cabinet d'histoire naturelle. En 1739 il traduira la « Méthode des fluxions » de Newton mais délaissera les mathématiques pour l'étude de la nature.

Le jeu du franc-carreau consiste à jeter un écu sur un carrelage et à parier sur sa position finale : soit à cheval sur un bord d'un carreau, soit entièrement à l'intérieur (c'est le « franc-carreau »). Le jeu de l'aiguille

consiste à jeter celle-ci, de longueur A , sur un parquet formé de lames de largeur L . La probabilité pour que l'aiguille coupe l'une des raies séparant deux lames est égale à $2A/\pi L$. La vérification précise suppose un grand nombre d'essais et permet donc, avec une grosse boîte d'allumettes, soit de calculer π (la méthode de Buffon), soit, si π est connu, de parier sur la proportion des allumettes qui couperont une raie !

Fermat, Goldbach, les mots pour le dire

Magistrat de profession mais mathématicien plus qu'amateur, Pierre de Fermat (1601-1665), a laissé des traces de son passage à Orléans ou à Toulouse, mais son nom est particulièrement attaché à une célèbre « conjecture » qui peut s'exprimer en français élémentaire et être comprise par le commun des mortels. Elle part du « pont aux ânes » de Pythagore, qui est une passerelle entre arithmétique et géométrie : le carré de l'hypoténuse est égal (si je ne m'abuse) à la somme des carrés des deux autres côtés, par exemple $5^2=3^2+4^2$. Fermat affirme que cette égalité possible pour la puissance 2 (ou carré) est impossible pour 3 (cube) et tout autre puissance. Un cube ne peut pas être la somme de deux cubes ! Il faudra attendre 358 ans et l'anglais Andrew Wiles pour transformer en 1993 la conjecture en « dernier théorème de Fermat ».

L'allemand Christian Goldbach (1690-1764) a lui aussi laissé son nom à une conjecture, qui se conçoit bien et s'énonce clairement : tout nombre pair est la somme de deux nombres premiers, par exemple : $8=7+1$, $50=31+19$. Contrairement à Fermat, tous les espoirs sont encore permis aux amateurs de défis pour la prouver !

Wolfgang Döblin et le pli cacheté 11-668

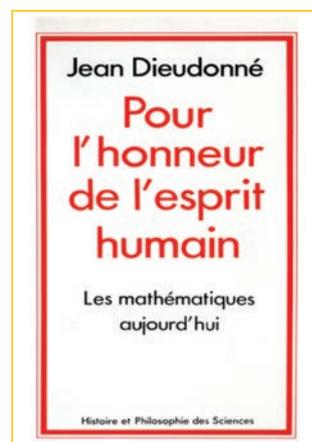
Né à Berlin mais « mort pour la France » sous le nom de Vincent Doblin (1915-1940), il a fui le régime nazi en 1933. Combattant héroïque et disciple de l'école probabiliste russe, il poursuit son activité scientifique tout en

étant affecté comme téléphoniste dans les Ardennes. En cantonnement en Lorraine, il met par écrit un mémoire « Sur l'équation de Kolmogoroff » qu'il transmet à l'Académie des sciences sous un pli cacheté n°11-668, mais il meurt en février 1940. Ce pli n'a été ouvert qu'en 2000. Il avait montré des résultats essentiels sur la théorie des probabilités en même temps que Kolmogorov, mais qui n'ont été connus que 60 ans après.

Jean Dieudonné, Apostrophes et l'esprit humain

En juin 1987, Bernard Pivot avait convié, pour la première fois, un éminent mathématicien, Jean Dieudonné, ancien condisciple à l'ENS de J.-P. Sartre, R. Aron et L. Néel, mais surtout co-fondateur du groupe rédacteur des « Éléments de mathématiques de Nicolas Bourbaki ». Il n'était pas facile de « communiquer » sur la base du livre de l'invité « Pour l'honneur de l'esprit humain, les mathématiques aujourd'hui », mais celui-ci s'en

était tiré brillamment. Le livre commence par une citation mémorable d'une correspondance entre mathématiciens du XIX^e siècle, adressée en français par l'allemand Karl Jacobi à Adrien-Marie Legendre, à propos d'une opinion de Joseph Fourier : « Un philosophe comme lui aurait dû savoir que le but unique de la science, c'est l'honneur de l'esprit humain ».



Pour en savoir plus sur la biographie de nombreux mathématiciens, voir les sites :

- Mathematics Genealogy Project : <http://genealogy.math.uni-bielefeld.de/>
- INSMI-Direction de la communication du CNRS : <https://lejournel.cnr.fr/infographies/france-terre-de-mathematiques>

MATHEMATIQUES

Multiples facettes au fil des siècles,
Architecture des civilisations où presque tout se met en équation.
Temps qui passe mais rien ne casse.
Hier, aujourd'hui, demain.
Étonnant et magique,
Mystère du nombre d'or, la divine proportion,
Apanage de la beauté et de la perfection.
T racés géométriques mêlant Phi, l'harmonie et l'esthétique.
Ici et là, il est partout.
Quantum invraisemblable de séquences subtiles,
Utopie ou bien réalité ?
Évidence ou coïncidence ?
Spirale d'or ou l'origine du temps.

Pascale Zanéboni



Karine Chemla

Mathématicienne de formation, K. Chemla s'est tournée vers l'histoire des mathématiques et la sinologie. Chercheure au CNRS depuis 1982 (UMR SPHERE, CNRS-Université Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité), elle travaille sur la diversité des pratiques mathématiques, en particulier en Chine ancienne, et sur la circulation des savoirs. Elle anime aujourd'hui, avec Agathe Keller et Christine Proust, le projet d'études avancées financé par l'European Research Council « Sciences mathématiques du monde ancien » (SAW). K. Chemla est l'auteur, avec Guo Shuchun, de l'ouvrage *Les Neuf Chapitres*, Dunod 2004. Elle a coordonné *The History of mathematical proof in ancient traditions*, Cambridge University Press, 2012 ; avec J. Virbel, *Texts, Textual Acts and the History of science*, Springer, 2015 ; et, avec E. Fox Keller, *Cultures without culturalism in the making of scientific knowledge*, Duke University Press, sous presse

Quels rapports entretiennent écriture et pensée ? Faut-il souscrire à la thèse, par trop répandue, selon laquelle une écriture autre imposerait un cours autre aux réflexions ? Des remarques inspirées par l'examen de textes mathématiques européens ainsi que d'écrits scientifiques de l'Asie de l'Est m'amèneront, en conclusion, à m'inscrire en faux contre cette opinion. Ce cheminement nous fournira l'occasion d'examiner diverses formes d'écriture mises en œuvre par le travail mathématique au cours des siècles.

Circulations

Jetons, en guise d'introduction, un coup d'œil à la formule encadrée de la planche I.

D'aucuns murmurent peut-être déjà en leur for intérieur : « c'est du chinois ». Ils n'ont pas tort.

En effet : si je montre cette formule à un mathématicien, qu'il soit français, russe ou japonais, il y lira la même relation, tout comme un Chinois ou un Japonais pourront comprendre à l'identique un caractère chinois qu'on leur présenterait. Certes ils le prononceront de manière différente, de même que les mathématiciens énonceront la formule diversement, selon la langue dans laquelle ils la lisent. Mais cela n'affectera pas la compréhension que les uns comme les autres en auront.

Second point : la formule, publiée par le Suisse Euler à Pétersbourg, date du XVIII^e siècle. Tout mathématicien d'aujourd'hui la saisit. De la même manière, si j'avais pu montrer un texte mathématique chinois du XIII^e siècle à un mandarin du XVIII^e siècle, il est certain qu'aucun caractère ne lui aurait posé le moindre problème.

Ainsi, que l'on y pense en termes de circulation dans le temps ou dans l'espace, formules mathématiques et caractères chinois présentent de fortes similarités. A l'instar des tracés des chiffres, ils ne s'arrêtent pas aux frontières nationales, au rebours de leurs prononciations. Les écrits circulent autrement que les paroles, et si j'y inscris formules ou caractères, j'exploiterai cette potentialité de manière différente que si j'y couche du français.

Ces simples faits ont eu des conséquences remarquables sur l'histoire des sciences en Asie de l'Est où nombre de langues - je m'en tiendrai ici au

Sciences en texte, ou : Des rapports entre écriture et pensée

japonais et au chinois - ont été retranscrites en caractères chinois.

Du point de vue de la durée, la poursuite de l'activité scientifique en Chine n'a pas nécessité, jusqu'il y a peu, de traduction. Les scientifiques chinois du Moyen-Âge renvoient directement aux

classiques de l'Antiquité. La situation se présente en revanche sous un jour radicalement différent autour du Bassin méditerranéen puisque, sur la même période, les sciences se sont pratiquées plus ou moins continûment

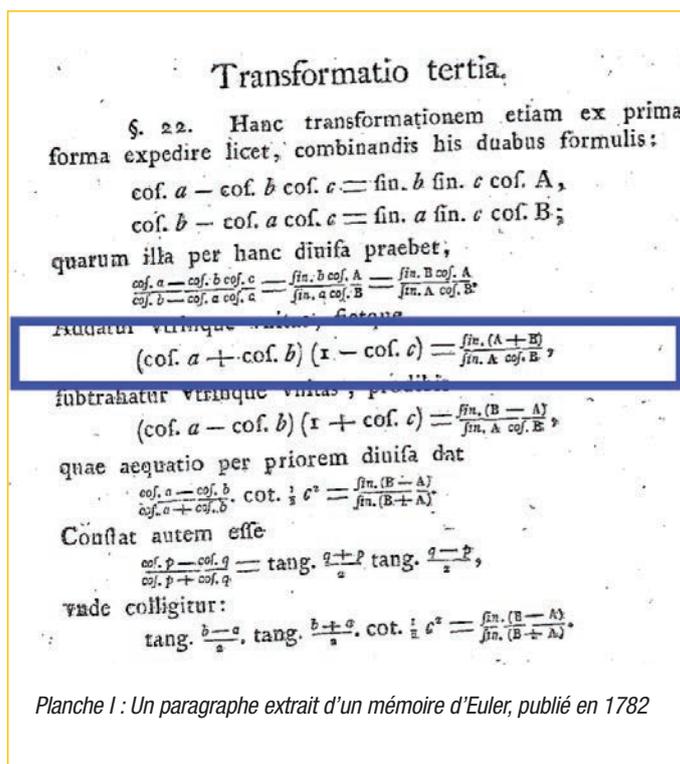


Planche I : Un paragraphe extrait d'un mémoire d'Euler, publié en 1782

grâce à des traductions de grec en syriaque, de syriaque en arabe, de grec en arabe, d'arabe en hébreu, d'arabe en latin, d'hébreu en latin, de grec en latin, etc... Par ailleurs, du point de vue de l'espace, les livres chinois de mathématiques, de botanique, de médecine étaient accessibles sans traduction aux érudits japonais qui le désiraient. C'est ainsi que la lecture d'ouvrages chinois du XIII^e siècle a donné aux mathématiciens japonais du XVIII^e siècle les moyens de développements remarquables. De même la pharmacopée que publie en 1578 l'érudite chinois Li Shizhen, le *Bencao gangmu* ou *Matière médicale systématique*, et qui constituera une référence en Chine en matière de description du monde naturel jusqu'au XIX^e siècle, inspire, dans ses principes et son contenu, le naturaliste japonais du XVII^e siècle Kaibara Ekiken (voir les travaux d'A. Horiuchi, 1994).

De ce dernier cas de transfert de Chine au Japon, je retiendrai deux points. Le premier concerne la terminologie. Les noms en caractères tels que Kaibara peut les lire chez Li Shizhen ne renvoient pas d'office aux plantes et aux animaux qu'ils désignent. L'observation et sa transcription joueront un rôle clef dans l'identification. De ces noms chinois, il reste à établir la prononciation japonaise correcte, de même qu'entre les différents noms en cours dans les diverses régions du Japon, il faut identifier les synonymes. L'écrit permettra la normalisation. Toujours en matière de terminologie, le courant s'inversera au XIX^e siècle : le Japon s'étant mis avant la Chine à l'heure de la botanique moderne, la terminologie japonaise, en caractères, viendra remplacer dans l'Empire du Milieu les appellations traditionnelles (voir G. Métailié, 1988). La communauté partielle d'écriture qu'incarnent

les caractères chinois a permis jusqu'à l'époque moderne la circulation en Asie des écrits et des termes. En tous ces sens, l'écrit en caractères, du fait de perdurer, du fait d'être largement partagé, a marqué le développement et la circulation du savoir.

La seconde remarque que suscite l'exemple de Kaibara concerne la langue dans laquelle il choisit d'écrire : par contraste avec ses pairs, il opte pour le japonais, afin de toucher un public plus large au Japon, mais un public qui restera en conséquence géographiquement plus localisé. Le fait nous rappelle que l'accès à tout écrit, quel qu'il soit, requiert des compétences et renvoie en général à des institutions qui les délivrent, à des milieux sociaux où elles sont disponibles. C'est vrai de l'écriture - des écritures, devrions-nous dire pour le Japon. C'est également vrai des formules, et cet exemple montre à l'évidence que les communautés de travail à même de lui donner un sens sont transversales à toute communauté linguistique ou, a fortiori, nationale. Il en va de même des livres mathématiques chinois du XIII^e siècle que j'évoquais plus haut : on a pu en faire sens au Japon comme en Chine, quoique l'ensemble de leurs lecteurs ici ou là n'a pu qu'être des plus restreints.

Mais, dans le cadre de ce dernier exemple, on peut aller beaucoup plus loin. En effet, si des mathématiciens japonais du XVII^e siècle étaient à même de lire des textes chinois du XIII^e siècle et de mener plus loin les recherches nouvelles qui s'y trouvaient présentées, leurs homologues chinois, à la même époque, ne parvenaient plus à les comprendre. Ainsi, des témoi-

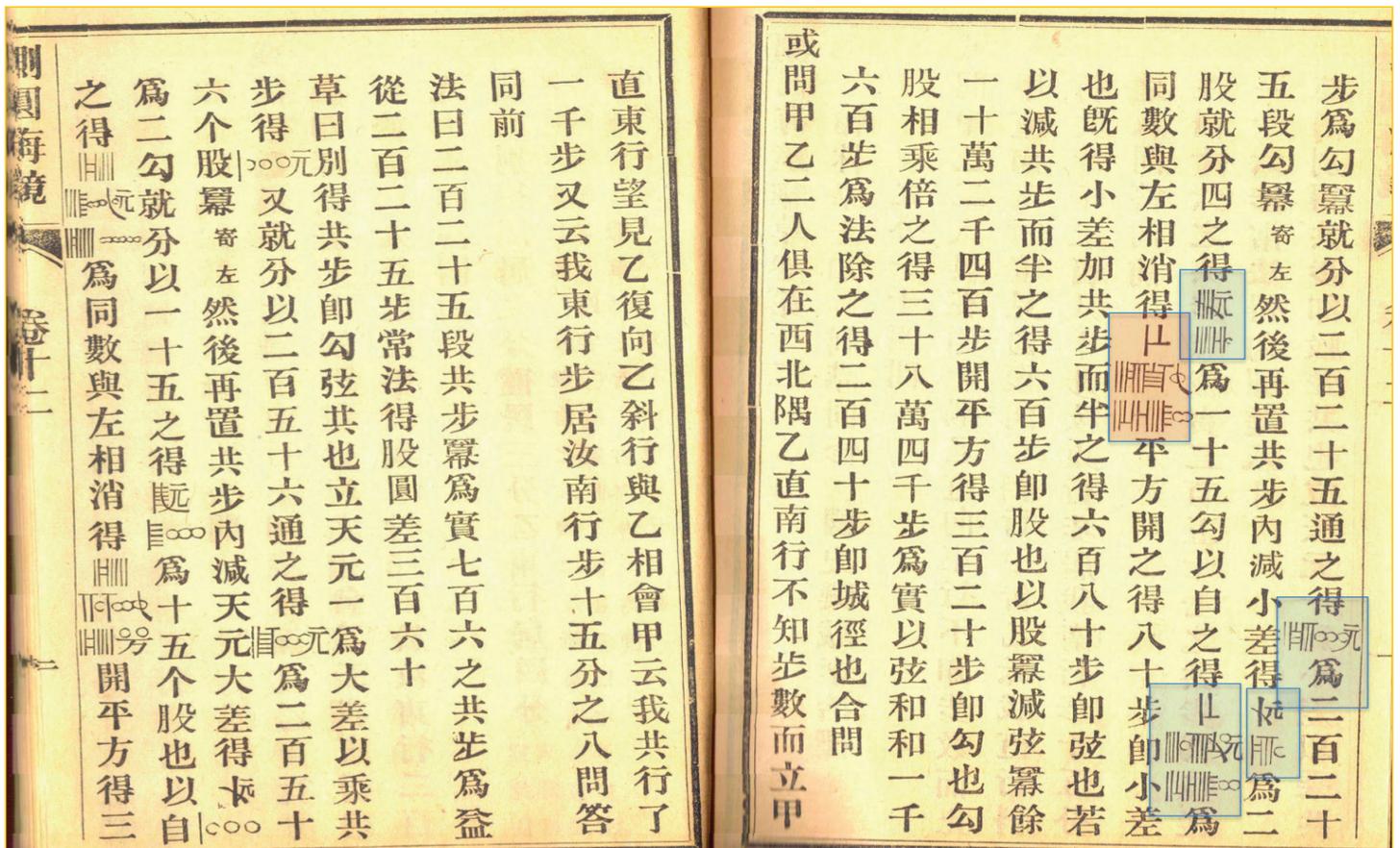


Planche II, Une page de Reflets des mesures du cercle sur la mer (Ceyuan haijing) de Li Ye, 1248.

gnages attestent que ces ouvrages, toujours disponibles, étaient devenus, depuis le XV^e siècle, lettre morte en Chine. On serait tenté de s'étonner : ne sont-ils pas écrits en chinois ? De fait, ils sont sans doute autant en chinois que ma formule initiale est en latin. Ils sont artificiels par plus d'un biais, et l'examen de ce point nous munira de quelques matériaux à l'aide desquels on pourra discuter des rapports entre écriture et pensée, entre écriture et processus de connaissance.

La planche II montre l'une des pages, devenues incompréhensibles en Chine, qui se frayent un chemin jusqu'au Japon du XVII^e siècle. Elle provient de l'ouvrage que Li Ye achève en 1248 sous le titre « Reflets des mesures du cercle sur la mer ». Nous y trouvons plusieurs faits d'écriture singuliers, qui, pour partie, expliquent comment le sens de ces textes s'estompa progressivement en Chine. Tout d'abord, l'ouvrage emploie des expressions techniques du genre : « poser x égal à ... », expressions désormais impénétrables en Chine, mais dont les mathématiciens japonais retrouveront le sens. Je ne m'attarderai pas sur ces questions de terminologie. La page est de surcroît parsemée de signes énigmatiques et de formules sur lesquels en revanche je m'arrêterai.

Le travail scientifique et ses diverses écritures

Commençons par les signes énigmatiques, semblables à ceux que j'ai entourés dans les quatre premières colonnes de la page de droite - n'oublions pas, puisqu'on lit de droite à gauche, que ces colonnes se trouvent à droite. Il s'agit en fait de piles de nombres. Chacune d'entre elles se trouve - à peu de choses près - retranscrite de la manière dont elle était représentée sur la table à calculer sur laquelle les mathématiciens opéraient. La pile de la quatrième colonne à partir de la droite, par exemple, symbolise une équation, tandis que les autres représentent des polynômes.

De fait, la pratique mathématique était organisée en Chine ancienne de telle sorte qu'à côté du livre, nous trouvons un instrument de calcul : une simple surface sur laquelle se mènent les opérations. Les nombres y sont inscrits à l'aide de baguettes, voici donc une autre forme d'écriture à laquelle le travail scientifique recourt : les baguettes sont déplaçables, les nombres auxquelles elles donnent corps sont modifiables, les signes mathématiques ont, sur ce support, des caractéristiques différentes de celles qu'ils présentent sur le papier.

On pourrait être tenté de comparer cette table à calculer à une feuille de brouillon où l'on griffonnerait, sans ordre aucun, des opérations. Il semble qu'il n'en soit rien. Au contraire, la manière d'y gérer les calculs paraît avoir répondu à des règles strictes. C'est dans cet espace que l'on opère, non pas seulement sur des nombres, mais également sur des équations et des polynômes, qui y apparaissent et y sont traitées sous la forme de colonnes de nombres.

Pratiqués sur la table, les calculs eux-mêmes ne sont pas retranscrits sur le papier. Seuls leurs résultats, intermédiaires ou finaux, sont insérés dans la page du livre, tels des mots, faisant suite dans la colonne au discours, et même pris dans la syntaxe de la phrase. Relevons que ce phénomène est propre au XIII^e siècle : les ouvrages antérieurs conservés témoignent d'une

forme d'étanchéité entre les états éphémères de la table à calculer et les écrits transmis. La figure du texte mathématique semble en revanche avoir muté à cette époque. C'est en effet peut-être la marque d'une innovation récente, induite par de nouveaux développements techniques dans l'édition : différentes solutions, géographiquement localisées, se manifestent pour ce qui est d'articuler, sur la même page, du discours et les états, désormais retranscrits, de la table à calculer. Si, au nord de la Chine, les équations sont traitées comme des mots - c'est le cas de la page reproduite à la planche II -, au sud, elles font figure d'illustrations, auxquelles le texte renvoie (voir K. Chemla, 1996). Quoi qu'il en soit cependant, nous ne trouvons donc pas, en cette Chine du XIII^e siècle, de calcul écrit semblable à ceux que nous effectuons lorsque nous posons sur le papier une multiplication, pas plus que nous n'avons de retranscription d'un calcul comparable à celui que nous pratiquons sur les formules. Revenons à notre planche I : la formule encadrée est prélevée sur un texte qui consigne l'ensemble des réécritures de formules qui l'ont produite, l'ensemble des réécritures qui viendront à leur tour la transformer.

Voici donc esquissés autant de rapports, différents selon le temps et l'espace, entre opérations mathématiques et écrit : notre multiplication au brouillon, le calcul sur formules intégralement repris par le livre, la table à calculer où se pratiquent les opérations dont seuls les résultats seront consignés. Les activités scientifiques auxquelles elles renvoient s'organisent de manières diverses entre différents modes, différents supports d'écriture. On le voit par ailleurs, cette variété n'est pas de l'ordre de la langue que l'on dit naturelle. Le travail scientifique crée d'autres espaces, d'autres signes.

Notons - c'est intéressant pour les questions qui nous occupent - que là où Euler utilise, pour l'écriture de ses formules, les lettres de l'alphabet, notre auteur chinois recourt à des positions. Pour une même fonction, ici un élément de la langue - les lettres -, là un élément graphique. L'équation du texte chinois représente en effet les inconnues par des positions. Les mathématiciens japonais utiliseront plus tard la série classique dite des troncs célestes - Jia, Yi, Bing... -, à défaut de recourir au syllabaire, pour représenter des coefficients que l'on persiste à nommer littéraux. L'écriture de la langue peut donc certes fournir des matériaux que le travail scientifique exploite, comme ici les lettres. Mais ce travail peut aussi bien, en vue des mêmes fins, recourir à d'autres artefacts culturels : certains sont propres au travail mathématique, comme ces positions sur la table à calculer ; d'autres sont utilisés plus largement, telles des séries traditionnelles de caractères. La langue fait partie d'un vaste ensemble d'artefacts, de pratiques où puiser les éléments qui composeront le texte scientifique.

Tel est donc le premier type de formules graphiques, artificielles, auquel la composition des *Reflets des mesures du cercle sur la mer* recourt. Et si des mathématiciens japonais le déchiffrent, c'est qu'ils ont reconstitué la pratique de calcul sur la table qui a donné naissance à ces représentations.

Langues artificielles, pratiques naturelles

Notre texte chinois recèle un second type d'énoncés où nous reconnaissons des formules, puisqu'y sont données, en tous caractères cette fois,

des relations géométriques. Aucun signe énigmatique ne vient nous avertir ici de ce que nous n'avons pas affaire à du « vrai » chinois. Pourtant Alain Peyraube et moi-même avons pu montrer que la syntaxe de ces énoncés se démarque, par certains aspects, de la grammaire du chinois qui leur est contemporain. Des restrictions sont imposées à l'emploi de certains termes de coordination, et l'effet doit intéresser le mathématicien puisqu'en conséquence, les quelque 700 formules de la sorte que son ouvrage contient se comprennent sans l'ombre d'une ambiguïté. La langue en est cependant artificielle. On peut de plus montrer qu'il s'agit là d'une innovation, géographiquement localisée, de l'expression mathématique de l'époque. La pratique scientifique forge donc des syntaxes particulières pour les besoins spécifiques qui sont les siens : peut-on encore s'en tenir à la thèse d'un déterminisme exercé par la langue sur les activités intellectuelles ?

La lecture de la formule d'Euler en français contemporain nous convaincra de ce que les mathématiciens ont su de manière récurrente stabiliser, pour leur pratique, des syntaxes qui poussent au plus loin les ressources de la grammaire : « $\cosinus a$ plus $\cosinus b$ que multiplie un moins $\cosinus c$ égale $\sinus A$ plus B sur $\sinus A \cosinus B$ ».

Mais revenons à notre ouvrage chinois : deux formes artificielles interviennent donc dans la composition du texte - forme graphique de l'équation, syntaxe singulière des formules - renvoyant toutes deux au type d'activité mathématique en jeu. Une remarque supplémentaire, relative aux énoncés de formules géométriques, nous munira du dernier ingrédient qui nous sera nécessaire pour proposer des conclusions provisoires aux questions autour desquelles tourne cet article.

Nous y avons fait allusion, notre ouvrage recèle environ 700 formules énonçant des relations géométriques, et l'auteur les rassemble dans un formulaire. Il est des raisons de penser que, s'il multiplie ainsi les formules, c'est qu'il s'intéresse aux transformations systématiques qui permettent de passer de l'une à d'autres. Or que des formules soient transformées l'une de l'autre s'exprime régulièrement, dans son texte, par le fait que leurs énoncés sont parallèles l'un à l'autre. Il s'agit là d'un fait d'écriture omniprésent dans les sources chinoises, et je donnerai un exemple de semblables énoncés parallèles en les empruntant à un poème de Wang Wei (699-761, voir l'article de F. Martin dans *Parallélisme et appariement des choses*) :

La lune claire brille parmi les pins
La source limpide coule sur les rocs.

Les énoncés font écho terme à terme l'un à l'autre, jusque dans leur structure grammaticale. Et leur ensemble, en construisant et en donnant à voir une relation entre les deux faits, dit plus que les deux vers pris séparément. Or des formules mathématiques transformées l'une de l'autre sont également exprimées dans notre texte au moyen de tels énoncés parallèles, lesquels mettent en évidence la transformation.

L'auteur recourt donc à un mode d'expression traditionnel pour donner à lire une partie du sens de son texte. Soulignons que ce qu'il reprend là est un usage de la langue, et non pas une caractéristique essentielle de

§. I.

Notions préliminaires.

1. Deux points, distincts l'un de l'autre, donnés dans l'espace, déterminent une droite indéfinie qui, lorsque ces deux points sont désignés par A et B, peut être elle-même désignée par AB.

2. Trois points donnés dans l'espace, ne se confondant pas deux à deux et n'appartenant pas à une même ligne droite, déterminent un plan indéfini qui, lorsque ces trois points sont respectivement désignés par A, B, C, peut être lui-même désigné par ABC.

3. Un plan peut aussi être déterminé dans l'espace par une droite et par un point qui ne

1. Deux plans, non parallèles, donnés dans l'espace, déterminent une droite indéfinie qui, lorsque ces deux plans sont désignés par A et B, peut être elle-même désignée par AB.

2. Trois plans, non parallèles deux à deux dans l'espace, et ne passant pas par une même ligne droite, déterminent un point qui, lorsque ces trois plans sont respectivement désignés par A, B, C, peut être lui-même désigné par ABC.

3. Un point peut aussi être déterminé dans l'espace par une droite et par un plan dans le-

Planche III : une page de Gergonne, « Considérations philosophiques sur les éléments de la science de l'étendue », Annales de Mathématiques Pures et Appliquées, volume XVI, (1826), pp. 209-231.

l'écriture. De fait, on peut montrer qu'il a appliqué une traduction caractère à caractère au texte d'une formule pour produire le texte de la formule transformée. Et ces relations entre formules lui fourniront par la suite l'un des outils à l'aide desquels il les classera. Mais je ne m'arrêterai pas sur ces deux activités, aussi typiques de l'écrit soient-elles.

Ce qui me paraît plus significatif pour notre propos, c'est que l'auteur recourt pour écrire les mathématiques à une technique littéraire traditionnelle (voir Chemla, 1990). On peut faire l'hypothèse que pareille technique s'est développée dans la mesure où elle a permis à un intérêt général pour les relations entre divers ordres de phénomènes de s'exprimer, qu'elle lui a fourni des outils d'exploration. Et lorsqu'un intérêt de même nature vient à se manifester dans le cadre des mathématiques, l'auteur trouve, avec les énoncés parallèles disponibles dans sa culture textuelle, un outil de travail et d'expression. Est-ce à dire que des mathématiciens travaillant dans une culture textuelle autre seraient inhibés dans leur exploration de phénomènes de cet ordre dans la mesure où ils ne disposeraient pas de semblable technique. Pas du tout. J'en veux pour preuve le fait que lorsque des scientifiques européens se sont intéressés à des questions de même nature, en explorant ce que l'on appelle aujourd'hui en mathématiques la « dualité », ils n'ont pas hésité à créer une forme de texte spécifique avec laquelle ils les ont travaillées : la planche III montre l'exemple du type de texte élaboré par Gergonne à cette fin, au début du XIX^e siècle, et repris jusqu'à aujourd'hui (voir K. Chemla et S. Pahaut, 1988). Si l'intérêt pour la dualité s'était d'abord manifesté en Chine avant d'être transmis à l'ouest, aurions-nous conclu que les mathématiciens européens s'étaient trouvés inhibés de par leur langue dans l'exploration de ces phénomènes ?

Conclusion

Il est temps de rattraper nos fils et de conclure. Notre première partie l'a montré, l'écriture en caractères a certainement influencé matériellement la circulation et la poursuite de l'activité scientifique en Asie de l'Est. Mais qu'en est-il du rapport concret entre écriture et travail mathématique à proprement parler, tel qu'on peut l'appréhender au travers des textes qui sont parvenus jusqu'à nous ?

Le survol d'un unique texte qui semblait écrit en chinois, en caractères en tout cas, a révélé un ensemble de faits intéressants pour notre propos. Cet ouvrage, nous l'avons vu, du fait qu'il opère des restrictions sur la syntaxe, énonce plus de 700 formules sans ambiguïté. Par ailleurs, notre texte étend la langue puisqu'il lui ajoute des signes énigmatiques qui correspondent à des équations ou à des polynômes. Là où en Europe la notation de ces équations a recouru à des lettres prélevées sur l'écriture de la langue, là où donc l'on pourrait croire déceler une influence de l'écriture, les auteurs chinois recourent à des positions - la superposition des nombres - et les auteurs japonais, développant la notion, étendent la notation en mettant en œuvre des caractères prélevés dans la série traditionnelle dite des troncs célestes. Ils se tournent donc vers d'autres artefacts : lorsque l'écriture diffère, l'on recourt à d'autres ressources. Ceci nous rappelle que le travail scientifique n'opère pas seulement dans la langue, mais qu'il élabore d'autres supports et d'autres formes d'écriture. C'est donc dans ce cadre élargi qu'il nous faut, me semble-t-il, poser la question des relations entre écriture et pensée.

Notre texte témoigne de restrictions, d'élargissements par rapport à la syntaxe et au lexique d'autres écrits. Notons cependant que ce jugement est relatif à une culture textuelle : là où un auteur chinois peut utiliser des énoncés parallèles prélevés au sein des techniques usuelles d'écriture, Gergonne doit créer une forme textuelle nouvelle, dont il trouve l'inspiration en comptabilité. Lui pratique donc un élargissement. A nouveau, ce qui, ici, est de l'ordre des pratiques d'écriture communes, se crée, là, par référence à d'autres techniques de l'écrit. J'abuserai de ces maigres exemples et poserai l'hypothèse que partout et toujours, les activités scientifiques se sont pratiquées sur des textes artificiels, élaborés en puisant dans l'ensemble des artefacts culturels disponibles, au nombre desquels l'écriture, la langue. Le travail concret s'est effectué dans et hors de la langue, sur des dispositifs sans cesse remodelés en fonction des questions posées. Ce qui en un lieu s'est appuyé sur l'écriture de la langue a pu, en un autre lieu, en un autre temps, s'inspirer d'autres artefacts.

Une écriture autre impose-t-elle un cours autre aux réflexions ? Les matériaux proposés ici conduisent plutôt à poser, à l'inverse, que des questions, des réflexions autres conduisent à mettre au point des écritures autres, en entendant écriture au sens le plus large que nous ayons rencontré. Il n'y aurait donc pas de déterminisme essentiel exercé par l'écriture de la langue sur la pensée. Quant au questionnement inverse : en quoi les problèmes étudiés déterminent-ils les écritures qu'on élabore pour y travailler ?, il nous reste à l'explorer ensemble.

Note : Ce texte dérive d'une conférence prononcée dans une manifestation en l'honneur de l'anthropologue Jack Goody (1919-2015) le 11 mars 1997. Il est dédié à sa mémoire, lui qui en 1980 fut indirectement l'artisan de mon premier voyage en Chine et qui inspira en revanche directement les réflexions que je propose ici.

Bibliographie

- K. Chemla, S. Pahaut, « *Préhistoires de la dualité : explorations algébriques en trigonométrie sphérique (1753-1825)* » in R. Rashed (éd.), *Sciences à l'époque de la Révolution Française*, Blanchard, 1988, pp. 151-200.
- K. Chemla, « *Du parallélisme entre énoncés mathématiques ; analyse d'un formulaire rédigé en Chine au 13^e siècle* », *Revue d'histoire des sciences*, XLIII/1, 1990, pp. 57-80.
- K. Chemla, « *Positions et changements en mathématiques à partir de textes chinois des dynasties Han à Song-Yuan. Quelques remarques* », *Extrême-Orient, Extrême-Occident*, 18, 1996, pp. 115-47.
- Leonhard Euler, « *Trigonometria sphaerica universa ex primis principiis breviter et dilucide derivata* », *Acta Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae* 3, I (1779), 1782, pp. 72-86.
- Annick Horiuchi, *Les mathématiques japonaises à l'époque d'Edo*, Collection Mathesis, Vrin 1994.
- Annick Horiuchi, « *Les savants japonais du XVII^e siècle face à l'héritage scientifique chinois. Le cas de Kaibara Ekiken* », in I. Ang & P.E. Will (éds), *Nombres, astres, plantes et viscères*, Collège de France, Mémoires de l'Institut des hautes études chinoises, 1994, pp. 113-33
- François Jullien (éd.), *Parallélisme et appariement des choses*, *Extrême-Orient, Extrême-Occident*, 11, 1989, Presses Universitaires de Vincennes.
- Georges Métaillé, « *Aperçu de l'histoire du vocabulaire de la botanique au Japon : assimilation et dispersion* », in P. Louis & J. Roger (éds.), *Transfert de vocabulaire dans les sciences*, CNRS, 1988, pp. 317-25.

FIL ROUGE

F il rouge, conducteur du destin.
I mmense trame de couleur arlequin,
L e tissu de la vie, l'identité.

R ouler comme une vague dans le tourbillon du temps.
O pportunités, vicissitudes ou parcours hasardeux,
U tile compétition, lutte de chaque instant.
G agner les étapes qui jalonnent le chemin,
E n quête sans fin de prospérité au fil des jours.

Pascale Zanéboni



Victor Scardigli

Victor est le précédent rédacteur en chef du Bulletin A3. Directeur de recherche honoraire au CNRS, il a développé une socio-anthropologie des acteurs de l'innovation scientifique et technique. Il y confronte les comportements et les systèmes de pensée, à la recherche d'invariants culturels. Il a notamment publié *La société digitale*, *Le Seuil*, 1984 ; *Les sens de la technique*, PUF, 1992 ; *Un anthropologue chez les automates. De l'avion informatisé à la société numérisée*, P.U.F, 2001 ; *Imaginaire de chercheurs et innovation technique*, Ed. Manucius, 2013.

Je propose une analyse anthropologique du livre de C Villani « Théorème vivant » comme un ethnologue qui chercherait la représentation du monde d'un Amérindien. Les mathématiques construisent un monde parallèle au monde sensible, comme l'Au-delà de nombreuses sociétés traditionnelles. Le cheminement vers la découverte évoque les épreuves d'un rituel initiatique. L'effort de vulgarisation rejoint l'imaginaire collectif du scientifique magicien ou demiurge.

Quel est le soubassement culturel de l'imaginaire créatrice, dans un travail de recherche au quotidien ? Un socio-anthropologue peut tenter d'apporter quelques éléments de réponse à partir d'un écrit autobiographique : *Théorème vivant*, Grasset - Livre de poche, 2014

Théorème vivant est un roman, nous dit Cédric Villani. Un roman, certes : le lecteur se laisse captiver par une aventure intellectuelle qui progresse jusqu'à son heureux dénouement, même s'il ignore tout de l'amortissement Landau en physique de plasmas, ou de « l'équation de Boltzmann, la plus belle du monde ». Mais un roman bien particulier, puisque le mathématicien y raconte, pêle-mêle sur près de deux années, sa vie familiale ou ses goûts musicaux aussi bien que les émotions qui ont accompagné l'élaboration d'un objet mathématique nouveau : le théorème de Mouhot et Villani.

La découverte, un long chemin initiatique

Les sociétés traditionnelles, pour la plupart, pratiquent un rituel initiatique soit pour marquer le passage de l'enfance à l'âge adulte, soit pour constituer un groupe d'individus à part, souvent les chamanes destinés à négocier avec les esprits.

De même, le chercheur va traverser de multiples épreuves avant d'obtenir le statut auquel il aspire : c'est tout le déroulement du livre. Succession de fausses pistes, stress de l'échéance fatidique (avoir moins de quarante ans pour candidater à la médaille Fields, or le jury ne se réunit que tous les quatre ans), attente anxieuse du verdict d'un comité de lecture, premier refus, nouvel effort, enfin récompensé. On est bien dans une succession de mises à l'épreuve, et ensuite le processus initiatique va durer tout au long de la vie professionnelle. La recherche quotidienne s'appuie en même temps sur un énorme travail préalable : « Le développement de (cette) idée aboutit à des

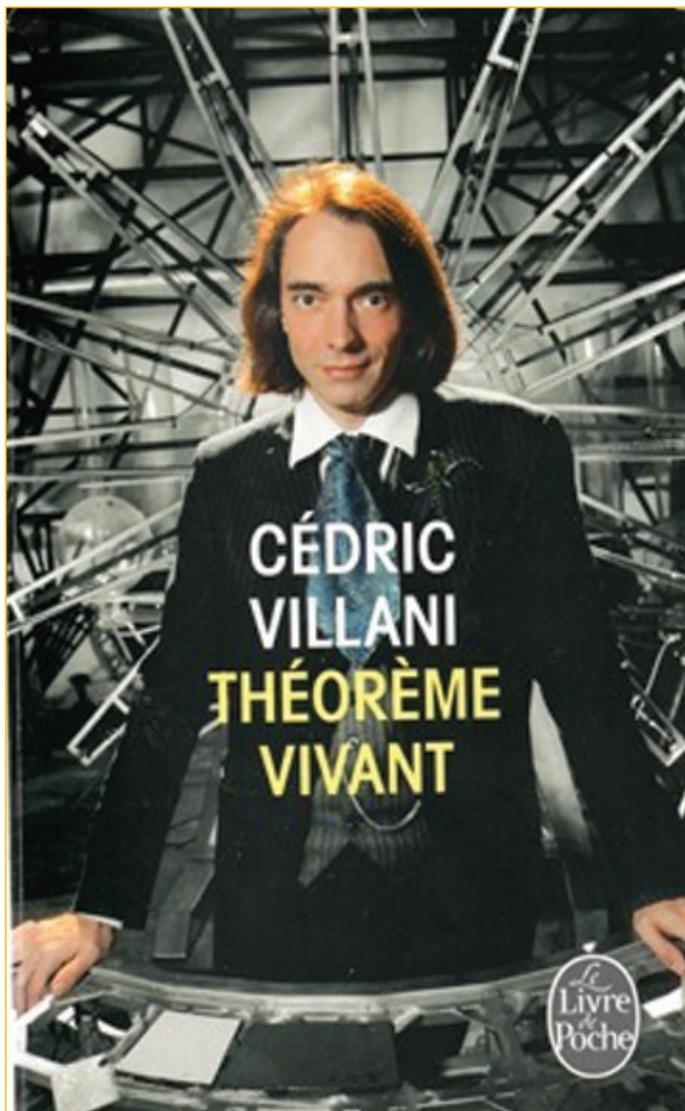
Un imaginaire de mathématicien : Cédric Villani

schémas que je reconnais. J'écris les détails, longuement. C'est le moment de faire jouer mes dix-huit ans de pratique mathématique ! (...) Je passe en mode semi-automatique ». Encore une continuité avec les professions classiques : on croit entendre Richard Sennett (*Ce que sait la main, la culture de l'artisanat*, Albin Michel, 2010) qui démontrait à quel point l'excellence d'un violoniste ou l'expertise d'un ouvrier qualifié reposait sur un très long processus d'apprentissage de gestes automatiques.

Le cercle des initiés

Comme dans les sociétés traditionnelles, la sélection pratiquée par ces épreuves initiatiques débouche sur la création d'un groupe social à part, dont la raison d'être est le grand oeuvre de la science. A l'instar des élites dirigeantes mondiales, des grandes vedettes du *show bizz* et de la *jet set*, l'élite mathématique décrite par l'auteur est sans cesse en déplacement à travers le monde, planant au-dessus des conditions de vie banales de la majorité des populations, communicant par internet et se retrouvant dans les mêmes lieux : colloques et séminaires, académies prestigieuses et cérémonies. Chacun côtoie ses illustres prédécesseurs, aussi bien que ses pairs. L'élite mathématicienne forme une société d'inter-connaissance, à la fois ouverte - rien à voir avec une société secrète- et resserrée autour de quelques traits distinctifs.

Parmi ces traits, le compagnonnage. Le futur médaillé Fields revendique la filiation intellectuelle d'un maître déjà médaillé, et à son tour il fait d'un thésard son futur compagnon. De même, entre compagnons, la norme est la solidarité : les échanges avec les pairs ont été décisifs pour faire progresser cette recherche. Comment cela peut-il coexister avec un climat d'intense compétition ? Grâce à un impératif moral, l'honnêteté intellec-



tuelle : « Avoir annoncé des résultats qui ne sont pas encore démontrés est une faute grave, une rupture dans le contrat de confiance qui lie l'orateur à son auditoire ».

Sous ces normes sociales, quelle est la motivation qui soude les mathématiciens ? A suivre notre chercheur, l'objectif à long terme de sa vie est, non pas le pouvoir, mais la gloire. Cette élite ne valorise pas la richesse mais la notoriété, contrairement à la norme dominante des sociétés modernes contemporaines. Et, au quotidien, une autre motivation réside dans l'excitation de la découverte : elle apporte une jouissance plus forte car plus durable que le sexe, plaisante-t-il.

L'impossible est sa raison d'être

Si chaque science produit une part importante de noms et de concepts qui lui sont propres, la mathématique est l'une de celles qui ont le langage le plus hermétique au commun des mortels. Cette incommunicabilité accentue l'aspect « société à part » de ses membres. Le livre nous montre un auteur qui multiplie les métaphores pour illustrer sa démarche, mais se résout à intercaler des pages entières d'équations pour ne pas se trahir.

Cette société vit dans un monde parallèle au monde sensible, elle se construit un univers de l'impossible, de l'illogique. « J'avais montré qu'il existe des objets impossibles, des choses qui ne devraient pas exister dans notre monde. Voici la méthode [en mathématique] ! » lui dit un de ses interlocuteurs, Vladimir Scheffer. Et Villani de confirmer : « Nash introduit les plongements non lisses, des monstruosités qui permettent de faire des choses impossibles, comme froisser une balle de ping-pong sans la déformer, ou construire un anneau parfaitement plat. Cela ne pouvait être vrai et c'était vrai ».

Cet univers des idées fascine. Mais sa clôture sur lui-même peut aussi être ressentie comme une prison, ou un danger psychique. Evoquant un poème d'Alfred Tennyson, le mathématicien s'identifie à « la pauvre dame de Shalott », condamnée à ne voir la réalité que dans un miroir, comme les prisonniers de la caverne platonicienne : la prisonnière mourra d'avoir regardé par la fenêtre. « Le mathématicien [comme dans cette légende arthurienne] ne peut regarder le monde directement, mais seulement à travers son reflet, mathématique en l'occurrence ». Sous l'euphorie affichée par l'auteur tout au long du livre, existe ainsi une association d'idées dépressive, qui finit par percer plus loin « Nash, à 30 ans, a basculé dans la folie ; il a connu les asiles pendant près de trois décennies ».

Un imaginaire collectif de magiciens démiurges

Ce qui est frappant tout au long de l'ouvrage, c'est l'univers sémantique dans lequel l'auteur déploie ses échanges avec les collègues ou ses efforts de vulgarisation pour le lecteur.

Trois grands thèmes s'entremêlent

Les difficultés qu'il rencontre dans son travail sont évoquées sur le mode des « légendes arthuriennes », des lectures de son enfance. Le chercheur s'imagine en preux chevalier du Graal, il se bat vaillamment dans un combat mortel. « Ces constantes, elles exploseront trop vite pour être tuées par la convergence du schéma de Newton ». Il opère une personnification de son objet de recherche. Les équations peuvent être de braves combattants (« la brave équation de Vlasov (...) réagit trop vite »), des adversaires (« l'équation de Boltzmann qui demeure rebelle »). Il devient même demi-dieu, tel Héraclès coupant toutes les têtes-difficultés qui renaissent : « Décidément, l'amortissement Landau non linéaire, c'est l'Hydre de Lerne ! ».

Une seconde thématique rapproche son imaginaire de la pensée magique : « L'équation d'Euler dans le plan autorise une création spontanée d'énergie ! Création d'énergie à partir de rien ! ». L'intuition décisive est « une illumination », un message divin. Ce qui finit par le guider vers la solution, c'est « l'idée qui est apparue magiquement ce matin. Il aura fallu un petit coup de fil direct. La fameuse ligne directe, quand vous recevez un coup de fil du Dieu de la mathématique, et qu'une voix résonne dans votre tête ».

On se rapproche de la religiosité d'Einstein : « Soupçonnant quelque harmonie cachée, je devinais une relation forte (...). A chaque fois, c'est une rencontre qui déclenche tout (...). Et puis une ferme croyance en la recherche d'harmonies préexistantes - après tout, Newton, Kepler et

tant d'autres ont montré l'exemple. Le monde est tellement plein de liens insoupçonnés ! ».

Ou bien, le mathématicien devient un missionnaire laïc de la science, un apôtre ... de ses propres travaux : avec son comparse Clément Mouhot, « on se partage le monde : lui répand la bonne parole en Asie, et moi aux États-Unis ».

Mais la pensée magique, c'est aussi le chamanisme. « L'amortissement Landau [le phénomène de physique des plasmas qu'il explore] continue de jouer à la froide beauté inaccessible. Je suis incapable de l'aborder », écrit Villani, comme si l'objet de sa recherche était une femme qu'il veut séduire. Le scientifique ne succède-t-il pas, ici, au chamane sibérien qui, selon Roberte Hamayon, veut assurer à son village une chasse fructueuse : il adopte un comportement de séduction amoureuse et cherche à « épouser » un esprit féminin de renne ?

Dans une troisième thématique, l'auteur s'imagine en démiurge ou en démon. Le mathématicien fréquente l'Olympe, il vit « entouré de dieux vivants ». Il fréquente les génies actuels ou des temps passés : « [à l'IAS de Princeton] vous sentirez passer les spectres de certains des plus puissants esprits du vingtième siècle ». Le physicien Landau, prix Nobel, « fait une oeuvre de surhomme ». Villani dit de sa propre oeuvre qu'elle est « surnaturelle », « transcendante ». Il s'admire : « Un calcul parfaitement diabolique que j'ai juste ébauché. Il a l'air totalement miraculeux ».

Comme le créateur du Golem, le chercheur donne vie à ses équations : « Cette fois, notre théorème est vraiment né ». Devenues des êtres animés, elles engendrent à leur tour un autre monde : « L'équation de Boltzmann : personne au monde ne connaît mieux que moi le monde mathématique engendré par cette équation ». Comme les dieux germaniques, il a le pouvoir de créer des monstres : « L'équation d'Euler, elle

engendre une monstruosité ». Thératogénèse, encore : « Nash introduit les plongements non lisses, des monstruosité qui permettent de faire des choses impossibles ».

Le mathématicien croit-il à ses mythes ?

Il reste à se demander pourquoi un mathématicien déploie ainsi cet imaginaire de dieu créateur.

Bien entendu, pour faire un bon roman, il fallait distraire le lecteur : Villani s'y est bien amusé. Mais les métaphores ne sont pas toujours des plaisanteries. Bien des membres de l'élite scientifique ont conscience de leur valeur personnelle ; ils sont nombreux à exprimer le sentiment de travailler aux limites du surnaturel. Dans un petit ouvrage récent (*Imaginaire de chercheurs et innovation technique*, Paris, Ed. Manucius, 2013), j'ai souligné que leur imaginaire de scientifiques et l'univers de la pensée sauvage chez nos aïeux pouvaient relever d'un même invariant anthropologique.

« Les Grecs ont-ils cru à leurs mythes ? » demandait l'historien Paul Veyne. La question vaut aussi bien pour les scientifiques contemporains. Ce qui est certain, c'est que notre civilisation tout entière a construit ce mythe du savant demi-dieu, créateur potentiel de miracles comme de catastrophes pour « l'homme augmenté » de demain. Notre auteur vient s'inscrire dans cet imaginaire collectif, qui n'est pas pour lui déplaire, et qui, peut-être, correspond bien à son propre ressenti.

Soulignons toutefois qu'une monographie impose ses limites à tout effort de généralisation. La communauté des scientifiques est aussi diversifiée que la société où elle vit, et l'on doit s'attendre à ce que d'autres monographies rencontrent d'autres imaginaires, variables en fonction de chaque personnalité individuelle et des réalités propres à chaque type de travail scientifique.

Le concours 2016 BD « Bulles au carré »

La revue en ligne *Images des mathématiques* a pour but de présenter la recherche mathématique - en particulier française - et le métier de mathématicien, à l'extérieur de la communauté scientifique. Suite à une enquête menée en 2010, son Comité de rédaction a pu constater la faible proportion de jeunes et du grand public dans leur lectorat. Pour tenter d'y répondre et proposer une autre approche des mathématiques, *Images des mathématiques* organise, depuis 2011, un concours BD intitulé « Bulles au carré », sur différentes thématiques.

L'alliance des maths et de la BD est créative et savoureuse, comme l'a montré le succès de « La Mathématique du Chat » ou de « Logicomix », et comme le montre également l'ensemble des dessinateurs amateurs qui ont participé à ce concours.

Pour 2016 les participants devaient illustrer le rôle des mathématiques sur le thème « Maths et Santé » : comprendre la diffusion des épidémies au sein de la population, et le rôle de la vaccination, voir à travers le corps grâce à l'imagerie médicale, optimiser l'entraînement des sportifs, modéliser les connaissances médicales pour mieux comprendre les maladies et aider au diagnostic...

L'ensemble des planches proposées ainsi que les lauréats sont à découvrir sur le site <http://images.math.cnrs.fr/>

Nadège Arnaud
Laboratoire de mathématiques de Versailles

Quelques actualités du monde des maths

Claire Voisin au Collège de France

(extrait du communiqué du Collège de France, mai 2016)

Une nouvelle chaire de mathématique est créée au Collège de France le 2 juin : Claire Voisin est nommée titulaire de la chaire Géométrie algébrique. Trois chaires de mathématique existent déjà : Alain Connes (Analyse et géométrie), Pierre-Louis Lions (Équations aux dérivées partielles et applications) et Jean-Christophe Yoccoz (Équations différentielles et systèmes dynamiques).



Mathématicienne, directrice de recherche de classe exceptionnelle au CNRS, Claire Voisin est reconnue dans la communauté mathématique pour avoir une connaissance « extraordinaire » des variétés algébriques, objets d'études de la géométrie algébrique. L'assemblée des professeurs a tenu à mettre en avant les travaux d'une mathématicienne d'exception ainsi qu'un domaine extrêmement vivace des mathématiques, domaine profondément renouvelé dans les années 50 par les travaux de l'école française; notamment ceux de Jean-Pierre Serre (titulaire de la chaire d'Algèbre et géométrie de 1956 à 1994) et d'Alexandre Grothendieck.

Une place importante des travaux de Claire Voisin est occupée par la conjecture de Hodge, dont la formulation est la plus complexe parmi les problèmes du millénaire, et qui est aussi emblématique de toute une partie de la géométrie algébrique, allant de la théorie de Hodge à la théorie des motifs. « Cette conjecture jette un pont entre la géométrie algébrique, la topologie et l'analyse complexe, trois domaines des mathématiques originellement très différents. Elle a permis d'impulser de nouveaux champs de recherche. Il est certain que, quelle qu'elle soit, sa démonstration sera en elle-même un véritable trésor mathématique », estime Claire Voisin. Les problèmes du millénaire sont un ensemble de sept défis mathématiques réputés insurmontables, posés par l'Institut de mathématiques Clay en 2000, la résolution de chacun est dotée d'un prix d'un million de dollars.

Claire Voisin est reçue à l'École normale supérieure en 1981, à l'âge de 19 ans. Agrégé de mathématique en 1983, elle soutient sa thèse de géométrie algébrique sous la direction d'Arnaud Beauville à l'université d'Orsay en 1986, année où elle entre au CNRS. Elle poursuit ensuite sa carrière en tant que Directrice de recherche au CNRS à l'Institut de mathématiques de Jussieu. Elle a également été professeur à temps partiel à l'École polytechnique de 2012 à 2014. Nombre de ses travaux portent sur la topologie des variétés algébriques et kähleriennes et plus généralement la théorie des structures de Hodge. Elle a également obtenu des résultats importants sur la théorie des syzygies des courbes algébriques.

Ses travaux ont été récompensés par la médaille de bronze du CNRS en 1988 et par la médaille d'argent en 2006. Elle a également reçu les prix Servant (1996) puis Sophie Germain (2003) de l'Académie des sciences, le prix de la Société européenne de mathématiques en 1992, le *Clay research award* en 2008 et le prix Heinz Hopf en 2015. Claire Voisin est membre de l'Académie des sciences depuis 2010, et membre étranger des *Académies Leopoldina* (Allemagne) et *dei Lincei* (Italie). Symbole de sa reconnaissance internationale, Claire Voisin a donné en 2010 une conférence plénière au congrès international des mathématiciens qui, une fois tous les quatre ans, rythme la vie mathématique mondiale. Elle vient d'être nommée le 3 mai dernier à l'Académie des sciences américaine (NAS: *National Academy of Sciences*) comme membre associé étranger. CNRS le journal vient de publier un article sur elle et sur son domaine de recherche : « Les mille paysages de la géométrie algébrique »

Pour en savoir plus sur :

- la leçon inaugurale : <http://www.college-de-france.fr/site/claire-voisin/index.htm>
- CNRS le journal : <https://lejournel.cnr.fr/articles/les-mille-paysages-de-la-geometrie-algebrique>
- l'article complet, avec les maths : <http://www.cnr.fr/insmi/spip.php?article1746>

Le 7^e congrès européen de mathématique (7ECM)

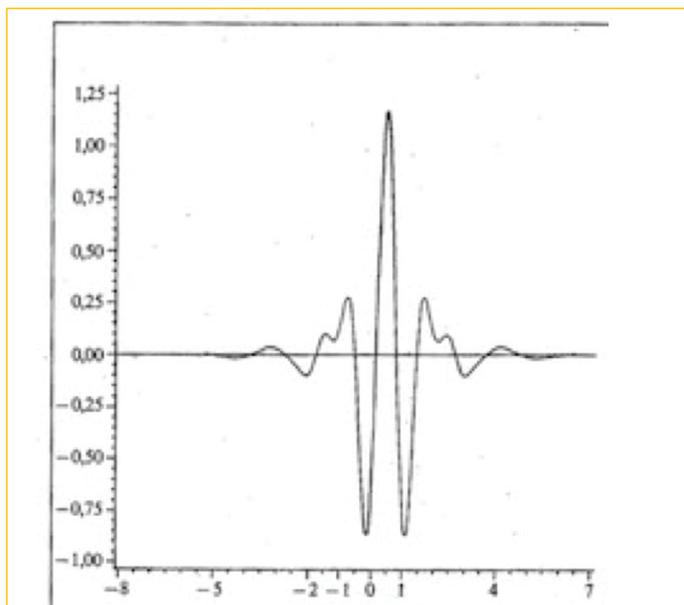
Le 7^e congrès quadriennal de la Société européenne de mathématiques (EMS) se tient cette année à Berlin du 18 au 22 juillet. Grand événement pour la communauté mathématique, ce congrès présente un programme de conférences qui couvre tous les domaines des mathématiques, des fondements aux interactions. S'y tiendront notamment 10 conférences plénières, 31 conférences invitées, plusieurs conférences de Prix, et 43 mini-symposia de mathématiciens du monde entier. Une session de conférences portant sur Leibniz, Lagrange, Euler et Weierstraß mettra en lumière la place de Berlin dans l'histoire des mathématiques et une conférence ouverte au grand public sera donnée sur les mathématiques dans l'architecture moderne. A l'occasion de ce congrès sont décernés plusieurs grands prix, très attendus par la communauté : 10 Prix de l'EMS, le Otto Neugebauer Prize et le Felix Klein Prize. On peut consulter la liste des lauréats des années précédentes sur le site de la Société européenne de mathématiques.

Pour en savoir plus sur :

- le congrès : <http://www.7ecm.de/home.html>
- les lauréats : <http://www.euro-math-soc.eu/history-prizes-awarded-european-congresses-mathematics#ems>

Les ondelettes à la base du mécanisme de détection des ondes gravitationnelles

(Extrait du communiqué INSMI du 14 février 2016)



Ondelette de Meyer utilisée pour engendrer la «base de Wilson» qui a permis de mettre en évidence les ondes gravitationnelles.

L'algorithme qui a détecté en premier le signal des ondes gravitationnelles le 14 septembre 2015, après seulement 3 minutes, utilise une technique de décomposition en ondelettes. Plus précisément, il utilise les « ondelettes de Wilson » construites en 1991 par Ingrid Daubechies (*Duke University*), Stéphane Jaffard (Université Paris-Est Créteil et CNRS, Laboratoire d'analyse et de mathématiques appliquées) et Jean-Lin Journé (Université Pierre et Marie Curie).

Les décompositions en ondelettes, issues de l'analyse de Fourier, sont l'héritage des intuitions des mathématiciens Haar et Gabor qui introduisirent, l'un, dès 1909, une fonction qui fut ensuite à la base de la théorie, et l'autre, en 1946, une décomposition temps-fréquence qui allait ensuite être généralisée. Baptisées ondelettes par Morlet et Grossman en 1984, ces fonctions sont utilisées pour transformer une fonction, quantité appartenant au domaine du continu, en un signal discret, une collection de nombres facilement stockables. Les ondelettes connurent en particulier un succès immense en imagerie puisqu'elles sont, par exemple, à la base du format JPEG 2000. La théorie mathématique des ondelettes fut réellement fondée par Yves Meyer dans les années 80 et ces années virent se développer une recherche intense autour des décompositions en bases d'ondelettes, qui ont une forme algorithmique particulièrement simple, puisqu'elles sont obtenues par des translations et dilatations d'une unique fonction, l'« ondelette mère » ; l'objectif étant à chaque fois d'augmenter et d'affiner leur caractère implémentable.

Pour en savoir plus sur :

- l'actualité INSMI : <http://www.cnrs.fr/insmi/spip.php?article1581>
- la Gazette de la Société mathématique de France: http://smf4.emath.fr/Publications/Gazette/2016/148/smf_gazette_148_61-64.pdf
- les ondes gravitationnelles : <https://dcc.ligo.org/LIGO-P1500229/public/main>

AuDiMath

Autour de la diffusion des mathématiques, par Olivier Druet

AuDiMath, c'est le nom du nouveau groupement de services (GdS) lancé par l'Institut national des sciences mathématiques et interactions (INSMI) du CNRS. Son rôle est de coordonner et d'amplifier les actions de diffusion et de communication des mathématiques au sein de la communauté universitaire française. Le CNRS reconnaît ainsi l'importance de ces activités. En ce début de 21^e siècle, les mathématiciens tentent de plus en plus de faire partager leur passion à un public large. Des actions de diffusion de grande envergure se multiplient dans toute la France. Il y en a pour tout le monde (scolaire, étudiant, grand public adulte) et pour tous les goûts tant les initiatives sont variées.



Bien entendu, il y a deux moments privilégiés dans l'année où les mathématiciens rencontrent le public : la Fête de la science (en octobre) et la Semaine des mathématiques (en mars). Lors de ces deux événements sont proposés de nombreuses conférences ou des ateliers ludiques un peu partout. Mais il y a aussi beaucoup de lieux entièrement consacrés à la diffusion des mathématiques vers le grand public qui se sont récemment créés. Et ce sont des lieux où on rencontre des chercheurs. Parmi ceux-ci, nous trouvons :

- La Cité des géométries à Jeumont (dans le département du Nord) est un lieu où nous trouvons des mathématiciens en résidence (à la manière des artistes). Ceux-ci proposent des expositions didactiques, des conférences de mathématiciens, des ateliers d'arts plastiques, des spectacles d'art vivant à destination du grand public mais également des activités tournées vers des collègues universitaires.
- La Maison des mathématiques et de l'informatique à Lyon propose une exposition par an (en 2015-2016, Musimatique ; en 2016-2017, Magimatique) et de multiples conférences pour le grand public. Le programme est riche et varié. N'hésitez pas à consulter le programme sur le site de la MMI. Elle accueille également beaucoup de scolaires et se déplace aussi dans les collèges et lycées de l'Académie de Lyon.
- Fermat Science est située à Beaumont de Lomagne (Tarn-et-Garonne), dans la ville natale de Pierre Fermat. Y sont proposés des expositions, des

ateliers et diverses animations autour des mathématiques et de leur histoire, un certain accent étant mis sur l'œuvre de... Fermat.

Si vous habitez dans une de ces régions, ou si vous y passez, n'hésitez pas à consulter les programmes et à venir faire un tour. Vous risquez d'être surpris : les mathématiques ne sont pas forcément ce que vous pensez. L'Institut Henri Poincaré à Paris propose aussi régulièrement des conférences destinées au grand public et organise un ciné-club toute l'année. Les grenoblois seront bientôt servis puisqu'une Grange des mathématiques est en train d'y être montée. AuDiMath est là pour fédérer toutes ces actions afin de les amplifier. L'objectif est de toucher encore plus de public en faisant circuler les expositions dans toute la France, par exemple. Mais aussi de partager nos expériences afin de nous améliorer.

Enfin, plus simple d'accès (puisque'on peut le consulter de chez soi), il faut mentionner le site Image des Mathématiques, financé par AuDiMath. Ce site reçoit énormément de visites et je ne peux que vous conseiller d'aller y naviguer au gré de vos envies. Vous y trouverez des billets de mathématiciens, qui peuvent aller de la courte explication d'un théorème à des anecdotes de la vie de mathématiciens. Mais vous y trouverez aussi des articles des-

tinés à un large public (classés selon un code couleur en fonction de leur difficulté, de la piste verte, niveau collège, à la piste noire). Et beaucoup d'autres rubriques : la conjecture du trimestre, le café des maths, l'objet du mois, ainsi qu'une revue de presse mensuelle recensant les apparitions des mathématiques (ou des mathématicien(ne)s) dans la presse.

Si vous avez envie d'expérimenter les mathématiques autrement, d'avoir un aperçu du travail des mathématiciens, vous ne manquez pas d'opportunité. Le site Web du GdS AuDiMath, encore en construction, recensera toutes ces activités région par région.

Pour en savoir plus sur :

- La Cité des géométries à Jeumont : <http://www.citedesgeometries.org>
- La Maison des mathématiques et de l'Informatique à Lyon : <http://www.mmi-lyon.fr/>
- Fermat Science à Beaumont de Lomagne : <http://www.fermat-science.com/>
- L'Institut Henri Poincaré à Paris : <http://www.ihp.fr/fr/grand-public>
- Le site Image des mathématiques : <http://images.math.cnrs.fr/>
- Le GdS AuDiMath : <http://audimath.math.cnrs.fr/>

Nos lecteurs ont (re)découvert en vrac :





Fabien Cesbron

Fabien Cesbron a commencé sa carrière en 1962 comme assistant au Laboratoire de minéralogie-cristallographie, à l'époque à la Sorbonne, où il a préparé et soutenu un doctorat de Troisième cycle puis un doctorat d'état, ce dernier portant sur la minéralogie et la cristallographie des minéraux de vanadium du gisement de Mounana (Gabon). En 1981-1982 il a travaillé comme minéralogiste-pétrographe à la Phelps Dodge Corporation (Douglas, Arizona), importante compagnie minière exploitant divers porphyres cuprifères en Arizona et au Nouveau-Mexique. Détaché au BRGM, à son retour en France, comme Chef du Service minéralogie, il y reste trois ans avant de rejoindre l'université. Il a terminé sa carrière comme Professeur à l'Université d'Orléans où il a dirigé en particulier, de 1990 à 1994, le Magistère Minéraux et Matériaux Industriels. Il a pris sa retraite en 1998 pour pouvoir se promener en forêt avec son teckel à poil dur...

Lauréat de l'Académie des sciences en 1973, il a entre autres exercé les fonctions de Secrétaire de la Société française de Minéralogie et de Cristallographie et d'éditeur de sa revue, de secrétaire de la Commission des Nouveaux Noms et des Noms de Minéraux de l'Association Internationale de Minéralogie, d'éditeur du World Directory of Mineralogists et de Président de l'Association Technique Energie Environnement (ATEE) pour la Région Centre.

Notre précédent A3 Magazine avait rendu hommage à Hubert Curien de façon personnelle et informelle, mais heureusement concordante avec la journée d'études « Hubert Curien, de l'amphithéâtre au ministère » organisée par le Comité pour l'histoire du CNRS le 1^{er} avril 2016. Le premier orateur, André Authier (professeur émérite à l'Université P. et M. Curie), brochant un parcours impressionnant et les nombreux hommages qui lui sont dûs, avait attiré l'attention sur la découverte, en 1968 au Gabon, d'un magnifique minerais : la curiénite. Son auteur, Fabien Cesbron, alors en thèse avec H. Curien et actuellement retraité près d'Orléans a accepté de rappeler quelques souvenirs de cet événement presque cinquantenaire.

La curiénite, uranyl-vanadate de plomb hydraté de formule $Pb(UO_2)_2(VO_4)_{2.5}H_2O$ et dédiée au professeur Hubert Curien (1924-2005), a été découverte dans les grès minéralisés de la zone d'oxydation du gisement d'uranium et de vanadium de Mounana, région de Franceville, province du Haut Ogoué, Gabon. Cette mine était alors exploitée par la Compagnie des mines d'uranium de Franceville. Une autre espèce, d'ailleurs très abondante et bien cristallisée, la francevillite $(Ba,Pb)(UO_2)_2(VO_4)_{2.5}H_2O$, y avait déjà été décrite par Branche et al. (1957) et, si le rapport BaO/PbO égal à 2/1 semblait constant dans les échantillons étudiés, les auteurs faisaient remarquer que rien ne s'opposait à l'existence d'une série continue entre les termes baryfères (francevillite) et plombifères (curiénite).

Pour la petite histoire, il faut signaler qu'à la fin de 1962, le conservateur de la collection de minéralogie du Laboratoire de minéralogie-cristallographie de la Sorbonne, Pierre Bariand, avait effectué une mission à Mounana et rapporté un assez grand nombre d'échantillons de grès recouverts de cristaux, parfois centimétriques, de francevillite orangé à jaune vert. Certains présentaient en plus des enduits superficiels d'une poudre microcristalline jaune vif. Pensant qu'il s'agissait d'une génération secondaire de francevillite, nous les avons alors nettoyés à l'air comprimé puis lavés. Une certaine quantité de la future curiénite est ainsi partie dans le caniveau !

Ayant terminé une thèse de troisième cycle sur les sulfates ferriques hydratés, stables seulement en milieu aride à désertique, et cherchant un nouveau sujet pour une thèse d'Etat, j'ai alors pensé à ce gisement dont l'étude de la minéralisation semblait avoir été délaissée par le Laboratoire

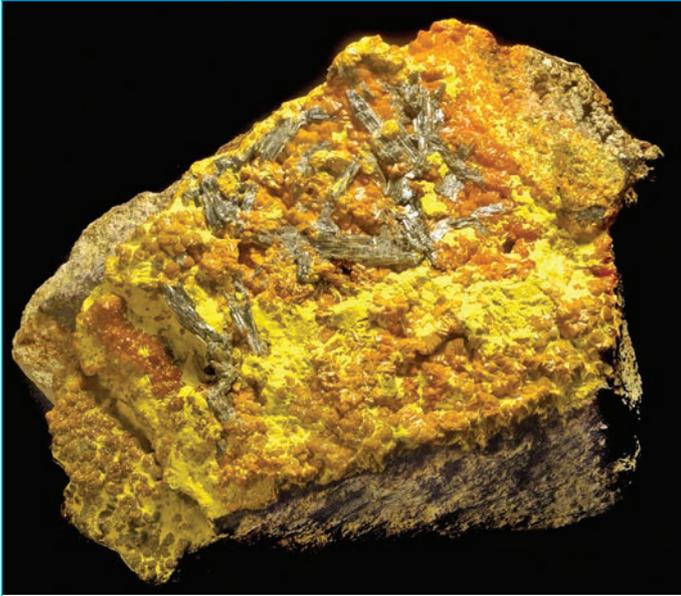
La curiénite

de minéralogie du CEA. Hubert Curien, alors en vacances dans les Vosges (il était originaire de Cornimont), m'avait écrit que ma lettre de demande d'autorisation devait être

« suffisamment précise pour ménager les susceptibilités et suffisamment vague pour ménager l'avenir »... C'est ainsi que j'ai effectué un premier voyage en décembre 1963. La carrière s'approfondissant et atteignant bientôt la zone de la minéralisation primaire, il était important d'y retourner. A ma demande, Hubert Curien qui était mon directeur de thèse, m'a répondu à peu près en substance : « il me reste quelques crédits, je vais y aller avec vous, occupez-vous des billets... ». Nous y sommes donc allés en décembre 1964. Bien entendu nous étions invités à dîner tous les soirs. Ah, me dit-il un jour, nous allons encore nous apéritiver !

Nous avons même été invités à suivre une chasse au buffle. Départ alors qu'il faisait encore nuit puis marche rapide dans la savane arbustive, passage de marigots, etc. J'ai entendu Noël Morin, également signataire en 1968 de la publication concernant la curiénite, demander discrètement à celui qui dirigeait la chasse de ne pas aller trop vite pour ne pas malmener le professeur de la Sorbonne qui était avec nous. Réponse immédiate : un titre n'a rien à voir en brousse ; quand on va à la chasse, on suit ! Hubert Curien suivait tranquillement sans rien dire, très intéressé. En vue d'un petit groupe de buffles, notre meneur lui a cependant tendu très obligeamment sa carabine pour qu'il ait l'honneur de tirer le premier. Nous n'avons pas mangé de buffle (c'est assez bon, après trois jours dans du vin rouge...).

Ce n'est que plus tard, observant en analyse thermique différentielle une différence d'environ 150°C dans les températures de fusion des produits



La curiénite :
Photographie fournie par la Collection de minéraux
de l'université P. et M. Curie.

anhydres de divers échantillons, qu'une analyse chimique a été réalisée sur cette fameuse poudre jaune : réalisée au BRGM par J. Fritsche, elle a montré 20,09 % de PbO pour seulement 0,84 % de BaO. Il s'agissait donc bien du terme plombifère de la série. Sa nature microcristallisée ne permettant pas l'étude de la structure cristalline de la curiénite, celle-ci a été déterminée avec J. Borene en 1971. Elle est formée de feuillets $[(U_{0,2}V_{2,2}O_{8+n})]$ - composés de groupements V_2O_8 formés par deux pyramides VO_5 à base carrée mettant en commun une des arêtes de leur base, les sommets pointant dans des directions opposées ; ces groupements sont reliés entre eux par des atomes d'uranium et les feuillets ainsi constitués enserrment les atomes de plomb entourés par les molécules d'eau.

Dédiée à H. Curien, alors professeur au Laboratoire de minéralogie-cristallographie de la Sorbonne, avant de devenir en 1966 un des directeurs scientifiques du CNRS puis, en 1969, Directeur général, cette nouvelle espèce minérale a été approuvée par 20 voix contre 0 (vote du 13 février 1968) par la Commission de nouveaux noms et des noms de minéraux de l'Association internationale de minéralogie (IMA). Sa description fut publiée la même année dans le Bulletin de la Société française de minéralogie et de cristallographie.

Petite bibliographie

- Bull. Soc. fr. Minéral. Cristallogr. (1968), 91, 453-459. Une nouvelle espèce minérale : la curiénite. Étude de la série francevillite-curiénite. Par Fabien Cesbron (Laboratoire de minéralogie-cristallographie de la Faculté des sciences de Paris, associé au CNRS) et Noël Morin (Compagnie des mines d'uranium de Franceville et CEA).
- *The American Mineralogist*, Vol. 51, July-August, 1969. *New Mineral Names*. Michael, Fleischer. *Unnamed Bi_2Te_5* .

Hubert Curien (1924 – 2005) Le Professeur



André Authier
Université P. et M. Curie

Authier – Paris 2016

*Hubert Curien, de l'amphithéâtre au ministère.
Journée d'études du Comité pour l'histoire du CNRS,
organisée le 1^{er} avril 2016 au siège du CNRS.*

* En décembre 2016, *Histoire de la recherche contemporaine*, la revue du Comité pour l'histoire du CNRS, publiera un dossier consacré au riche parcours scientifique et politique d'Hubert Curien. Ce numéro paraîtra le 12 décembre. Un événement autour de la parution de ce dossier sera organisé le 15 décembre (date à vérifier) au siège du CNRS en présence des présidents du CNRS et du CNES.

Histoire et mémoire : le Comité pour l'Histoire du CNRS et l'A3

Le groupe Communication de l'A3 a entrepris une série de contacts avec différents partenaires (CPH, CNRS Éditions, instituts du CNRS, etc.) dans le but de constituer un réseau, solliciter une participation éditoriale, augmenter les adhésions et organiser des actions communes. Une petite réunion à l'ENS le 15 avril a permis de faire le point sur les occasions récentes ou prochaines de coopération entre le CPH et l'A3. Y participaient : Michel Blay (président du CPH), Denis Guthleben (rédacteur en chef d'Histoire de la recherche contemporaine), Dominique Simon (chargée de communication A3) et Paul Gille (éditeur d'A3 Magazine).

L'A3 et le CPH entretiennent d'excellentes relations depuis plusieurs années, comme le souligne le dernier A3 Magazine n°67 (page 7), ou comme l'ont montré les actions d'intérêt commun dans de nombreux bulletins (Jean Zay, Jean Perrin, Expérimentation animale, PATSTEC, Meudon-Bellevue, etc.). Lors de la récente journée Hubert Curien, des exemplaires d'A3 Magazine et des bulletins d'adhésion ont été mis à disposition des participants, conjointement aux productions du CPH. Ces échanges seront facilités désormais du fait du voisinage à Meudon.

Les missions du CPH et de l'A3 peuvent être complémentaires : le Comité, composé de quelques permanents, traite de l'histoire du CNRS et peut proposer des travaux de recherche dans ce domaine. Nos adhérents, eux, constituent une mémoire vivante et certains d'entre eux ont été des acteurs ou témoins des grandes avancées scientifiques et technologiques du CNRS.

Lors de la réunion nous avons évoqué quelques pistes de collaboration :

- organiser une journée commune Histoire et Mémoire (à définir) ;
- prévoir une action en concertation autour de photos réalisées par Nicole Tiget au Campus Michel-Ange ;
- croiser nos informations et renouveler l'expérience de la Journée Curien, dans les deux sens.

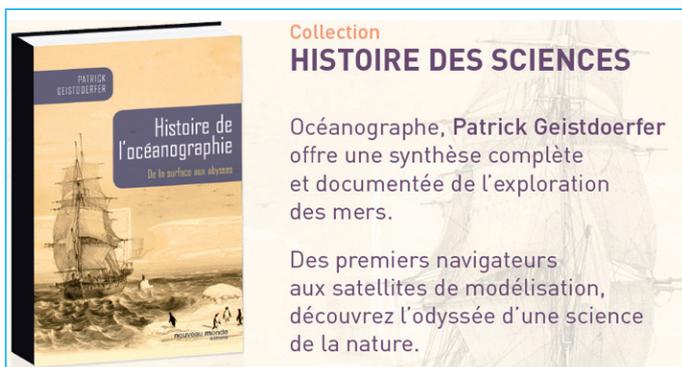
Dans le présent A3 Magazine n°68 on rapporte au moins trois interactions :

- L'article de Michel Blay « Naissance de la démonstration » introduit la section « Les mathématiciens dans tous leurs états ». Nous avons sollicité l'auteur depuis un an sur la base de sa publication encyclopédique Les plus grands textes d'Euclide à Bourbaki (Le Nouvel Observateur - CNRS éditions, 2011).
- Pour le « Kiosque », faute de publications propres du CPH concernant le domaine mathématique, Aurore Buffeteaux nous fournit une belle recension de l'Histoire de l'océanographie de Patrick Geistdoerfer.
- Une retombée de la Journée Curien est l'histoire de la « curiénite » décrite par Fabien Cesbron, qui enchaînera sur une autre journée d'étude à l'automne, où nous devrions nous retrouver.

Dominique Simon et Paul Gille

Histoire de l'océanographie. De la surface aux abysses

Patrick Geistdoerfer, Nouveau monde édition, 2015



Deuxième ouvrage de la collection « Histoire des sciences » dirigée par notre collègue Denis Guthleben aux éditions Nouveau Monde, l'Histoire de l'océanographie. De la surface aux abysses emmène son lecteur à la découverte de l'un des milieux les plus familiers et, paradoxalement, les plus longtemps méconnus de l'Homme : la mer.

Son auteur, Patrick Geistdoerfer, directeur de recherche au CNRS et président de la section « Navigation et océanologie » de l'Académie de marine, est un spécialiste des grandes profondeurs, qui a notamment travaillé au laboratoire d'océanographie de Villefranche-sur-Mer et au Muséum national d'histoire naturelle. Il se révèle surtout un excellent connaisseur des grandes étapes qui ont façonné sa discipline. Des premières observations zoologiques et météorologiques d'Aristote aux études les plus récentes des équipes scientifiques, il parcourt toutes les époques et... toutes les mers du globe - cette bien-nommée « planète bleue », comme le rappelle dans sa préface la directrice de l'Insu Pascale Delecluse.

Patrick Geistdoerfer suit le sillage des grands découvreurs, Christophe Colomb, Vasco de Gama et Magellan. Il reconstitue les travaux des savants qui, au Grand Siècle et sous les Lumières, ont posé les premières pierres d'une connaissance scientifique des océans. Il dévoile le rôle précurseur et longtemps primordial des marins, dont les savoirs et le savoir-faire ont souvent éclairé les savants, et les ont conduits vers des découvertes nouvelles. Il revient aussi longuement sur la naissance de l'océanographie elle-même, fille de toutes les connaissances accumulées, discutées et parfois contredites, ainsi que des progrès techniques, nautiques et instrumentaux de la deuxième moitié du XIX^e siècle.

Une nouvelle période débute alors, sur les mers et de plus en plus « dans » la mer : « de la surface aux abysses », celle de la conquête graduelle des grandes profondeurs, qui contribue à dissiper les légendes - sur les monstres marins et autres serpents de mer... - mais garantit d'interminables sources d'émerveillement - une vie loin de toute lumière ou, tout récemment encore, des êtres qui « sentent le soufre ». Attaché au CNRS autant qu'il est passionné de l'océan, fin connaisseur - et pour cause ! - du rôle que notre établissement a joué et continue de jouer dans ce domaine, Patrick Geistdoerfer présente également les travaux de ses personnels, depuis 1939, à bord des navires, sur le rivage ou dans ces stations marines qui « peuplent » nos littoraux.

Chercheurs, ingénieurs et techniciens se trouvent tout particulièrement mobilisés, au CNRS et partout à travers le monde, depuis plus d'une trentaine d'années autour des études sur le climat. Celles-ci ont ouvert un nouveau chapitre de l'histoire de la discipline - on devrait d'ailleurs parler d'une « interdiscipline », tant elle mobilise d'approches croisées. Elles appartiennent déjà au passé de l'océanographie, mais continuent aussi d'animer son présent et de déterminer son avenir : « Il est nécessaire et légitime de développer les recherches océanographiques, d'en susciter de nouvelles, pour simplement « savoir », mais aussi pour pouvoir répondre à ces interrogations », prévient Patrick Geistdoerfer.

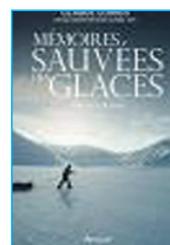
L'histoire de l'océanographie n'est pas seulement celle des hommes et, de plus en plus, des femmes qui ont contribué au progrès des connaissances. Elle est notre Histoire à tous : depuis que l'océan a été le berceau de la vie il y a quelque quatre milliards d'années, tous les êtres vivants d'aujourd'hui ont des ancêtres marins...

Aurore Buffetaut

Comité pour l'histoire du CNRS

Mémoires sauvées des glaces, de Claude Lorius

Récit autobiographique recueilli par Djamel Tahi. Flammarion, 2016.



« Toute ma carrière, autant dire la plus grande partie de mon existence, a été consacrée à la recherche sur les glaces polaires ». Ainsi débute ce livre qui se lit parfois comme un roman relatant soixante années de passion pour le « pôle froid » de la Terre, qui ont permis de reconstituer 150 000 ans d'histoire du climat de notre planète et décrivant comment « l'analyse des glaces prélevées dans les profondeurs de la calotte glaciaire a révélé la

responsabilité des hommes dans le réchauffement climatique actuel et la dégradation de notre environnement ».

Cette autobiographie de Claude Lorius permet de découvrir en 1955 un jeune homme hésitant entre une carrière de scientifique et le foot professionnel et comment une petite annonce sur le panneau d'affichage de l'université de Besançon va le conduire à « participer aux campagnes de l'Année géophysique internationale », à hiverner en Antarctique et à faire la rencontre de Paul-Emile Victor avec qui il nouera des liens amicaux. Plus de vingt participations à des expéditions en Antarctique entre 1956 et 1984, avec des péripéties incroyables vont jaloner le parcours de ce chercheur entré au CNRS en 1961, directeur de classe exceptionnelle en 1987, membre de l'Académie des sciences en 1994 et médaille d'Or du CNRS en 2002. Le lecteur à travers ce livre, découvrira le portrait d'un homme de conviction qui a reçu de nombreux honneurs et reconnaissances nationales et internationales et qui se bat toujours pour que l'Antarctique reste une terre de sciences, réserve naturelle, élément du patrimoine de l'humanité, interdite à toute exploitation minéralogique ». Passionnant.

Michel Petit

De l'expression privée à l'expression publique de l'identité juive, Renée Waissman-Hober, Bruxelles, EME Essai, 2015

En 1967, Renée Waissman avait préparé une enquête auprès des Français « se déclarant d'identité juive ». Quelques semaines après éclatait la Guerre des six jours, donnant toute sa pertinence à son questionnement. Un demi-siècle plus tard, elle a eu l'heureuse idée de reprendre ses observations ; et de nouveau, juste après leur publication, surviennent des attentats antisémites, sur notre sol...



Ainsi, ses résultats gardent tout leur sens ; d'autant qu'elle les replace dans l'histoire longue du judaïsme français.

Y a-t-il des marqueurs de l'identité juive ? La référence au judaïsme est multiforme. Arrivés après la guerre d'Algérie, donc très peu de temps avant l'enquête, les sépharades accordent une grande importance à la pratique religieuse, aux rites ancestraux qui manifestent une cohésion de groupe. Les ashkénazes se montent plutôt unis par des valeurs culturelles et spirituelles, par une mémoire des persécutions, elle-même véhiculée par une langue commune, le yiddish. La volonté de garder son identité va de pair avec une intégration au reste de la société, comme en témoigne le grand nombre de mariages - presque un sur deux - avec des non-juifs. On note aussi qu'en 1967 la Shoah restait encore largement du domaine du non-dit, de l'intime, l'opinion publique n'aimait guère évoquer la culpabilité de l'Etat français.

La recherche accordait une grande place aux attitudes à l'égard du sionisme et d'Israël. Comme l'a écrit le grand sociologue Georges Friedmann, « Israël secoue tout juif : il peut l'ébranler (...) en l'enthousiasmant, ou en l'irritant ». Israël était parfois perçu comme Etat-refuge ou objet d'un atta-

chement sentimental ou messianique, parfois décrié pour ses dimensions socialistes ou au contraire capitalistes (au cours de cette enquête, les positions palestiniennes n'étaient pas évoquées).

L'intérêt majeur de l'enquête est qu'elle a coïncidé avec une transformation historique des pratiques et des mentalités. Selon l'auteur, les marques de soutien à Israël dans le conflit avec l'Egypte dénotaient surtout, chez les juifs de France, un tournant dans la définition de leur identité : cette appartenance juive n'est plus de l'ordre de l'intime, de la discrétion, elle est désormais vécue et affichée publiquement.

Victor Scardigli

Dans le secret des nombres,

de Marianne Freiberger et Rachel A. Thomas, Dunod éd



Pour certains, les mathématiques sont un pensum, passage obligé vers un futur universitaire meilleur. En revanche, pour beaucoup de passionnés, les maths sont aimées autant par leur beauté que par leur contribution à expliquer le monde dans lequel nous vivons.

C'est bien notre esprit qui a donné naissance aux secrets des nombres, lesquels nous conduisent en retour aux frontières de l'esprit. Ce livre conçu par deux jeunes mathématiciennes anglo-saxonnes rédactrices en chef de Plus, un magazine en ligne gratuit (www.plus.maths.org) créé pour faire aimer les mathématiques au plus grand nombre. Un exemple à suivre : il existe à Oxford une chaire de Vulgarisation des sciences qui a largement profité à l'une des auteures et qui éclaire la qualité de cet ouvrage. D'une écriture directe, à la limite du langage parlé les auteures progressent vers la démonstration... mais là, il faut quand même se prendre la tête et analyser souvent des formules complexes.

Au début de l'humanité il y avait déjà « quelque chose » donc la nécessité des maths pour compter, mesurer, partager etc... S'il y avait des choses, on était encore très loin du rien, c'est à dire du zéro. Il n'apparut en Inde que vers 500 après J.-C. Les indiens l'appelaient « le vide » tout en le considérant comme un nombre à part entière. Pour avoir un aperçu du ton du livre, le chapitre 43 est intitulé : « Et avec ça des frites ». A partir de la restauration rapide, on aborde la théorie des nombres ; elle est élaborée au 19^e siècle en Inde (sic) mais il a fallu attendre 2011 pour que deux mathématiciens découvrent une formule finie, donnant les nombres de partitions. J'ai appris aussi pourquoi la racine de 2 (nombre irrationnel encore plus irrationnel semble-t-il que les autres) est très utile pour le format papier de la photocopieuse. Ailleurs il est question de la théorie des chaos et sa fameuse aile de papillon, qui illustre très bien la phrase de Niels Bohr : « prévoir c'est compliqué surtout quand ça concerne l'avenir ». Vous apprendrez qu'on ne peut jamais carreler sa salle de bains avec des carreaux pentagonaux sans qu'il y ait des trous, car la somme de leurs angles intérieurs n'est jamais égale à 360°. L'infini est une notion mathématique étrange, autant que l'éternité qui est vraiment très longue, surtout vers la fin (Woody Allen). Mais cependant un certain Cantor en 1877 a réussi à bâtir un empilement d'infini chacun plus grand que le précédent ! L'explication mérite le détour

mais nécessite beaucoup de concentration. Descartes dans son ouvrage « *La géométrie* » publié en 1637 a donné à l'x son statut particulier de pilier de l'algèbre, sans compter de nombreuses autres découvertes d'une importance capitale. Mais on découvrira aussi que si la reine Christine de Suède ne l'avait pas empêché de faire la grasse matinée à laquelle il tenait tant, son œuvre aurait peut-être été plus considérable encore.

Ce livre explore l'histoire des maths jusqu'à ses avancées les plus récentes, et nous parle de leurs applications dans tous les domaines, météorologie, médecine architecture, poésie (il faut compter les syllabes pour écrire un alexandrin), etc... et les nombres et leurs secrets (titre du livre) sont bien les ambassadeurs des mathématiques. Les anecdotes qui parsèment le livre sont le cheval de Troie, qui va permettre au lecteur d'entrer dans des raisonnements complexes, des équations relativement ardues, du moins pour l'auteur de cet article. Mais la lecture peut se faire à plusieurs niveaux comme doivent l'être les ouvrages réussis de vulgarisation.

Jacques Couderc

Vous avez dit maths ?

de Robin Jamet, Dunod éd. Paris, 163 p.

Comme nous le dit l'éditeur, les mathématiques sont présentes partout autour de nous et pourtant elles nous semblent souvent difficiles à appréhender. Ce livre débusque les maths cachées dans la géométrie d'un carrelage de cuisine, dans les jeux de hasard, dans la circulation en ville et, même, dans les figures acrobatiques des jongleurs... Une invitation à découvrir les mathématiques et leur magie ...



C'est ainsi que l'auteur aborde différents sujets, comme les pavages, les fractales, le théorème des 4 couleurs, les probabilités, les nombres irrationnels, etc., tous avec des exemples simples afin, nous dit-il, « de chausser des lunettes de mathématicien pour voir le monde qui nous entoure ».

Ce livre a été publié avec le concours du Palais de la Découverte, institution dont on connaît l'attachement que lui portent ceux, très nombreux, qu'il a initié aux sciences.

Alain Foucault

Les mathématiques de l'amour,

de Hannah Fry, Editions Marabout,

Saviez-vous qu'il suffirait de renoncer à un ridicule petit critère (du type « je refuse un homme qui porte des chaussettes blanches ») pour multiplier votre compatibilité amoureuse par 1000 ?

Après avoir présenté ses recherches sur l'amour dans un brillant TED Talk (3,5 millions de vues), la mathématicienne Hannah Fry vient de sortir un livre



sur les différents modèles mathématiques de l'amour : la théorie du leurre en matière de séduction, celle de l'arrêt optimal (le meilleur moment pour arrêter de chercher « mieux »), le paradoxe du célibataire disponible, les probabilités de rencontrer quelqu'un avec qui on est compatible... À coups de schémas, courbes, formules mathématiques accessibles, elle vous prouve que la rencontre amoureuse est un savant calcul. Ce livre est génial.

Fabrice Bonardi

Jeanne Villepreux-Power, colloque au Sénat :

Une scientifique européenne au XIX^e siècle

Dans un article publié dans le numéro 59 du bulletin Rayonnement du CNRS, Josquin Debaz, sociologue et historien des sciences, permettait aux lecteurs de découvrir ou de redécouvrir Jeanne Villepreux-Power, pionnière de la biologie marine injustement méconnue. Artiste connue pour ses magnifiques peintures sur soie, Anne-Lan se consacre depuis des années à une meilleure reconnaissance de la scientifique trop souvent oubliée. Tous les deux organisent un colloque en son honneur : Jeanne Villepreux-Power : une scientifique européenne au XIX^e siècle, qui aura lieu le 25 octobre 2016 au Palais du Luxembourg (Salle Vaugirard). C'est avec plaisir que la rédaction A3 Magazine ouvre ses colonnes à la présentation de ce colloque.

Naturaliste à la vie exceptionnelle, Jeanne Villepreux-Power (1794-1871) fut une pionnière de la biologie marine, expérimentaliste, inventrice d'aquariums, et membre de diverses académies et sociétés dans toute l'Europe. Née à Juillac en Corrèze et d'origine modeste, c'est à Messine qu'elle s'est formée à l'histoire naturelle et qu'elle accomplit l'essentiel de son œuvre, avec de nombreuses contributions scientifiques, sur les invertébrés marins notamment. Elle concrétisa en outre une étude particulièrement poussée de la Sicile sous la forme d'un riche volume, le *Guida per la Sicilia*, paru en 1842.

Ce colloque permettra de revenir sur la vie et l'œuvre de la naturaliste, mais sera aussi l'occasion d'aborder de nombreux thèmes liés à cette figure révélatrice de l'histoire des sciences. Les expériences de Jeanne Villepreux-Power préfigurent l'essor de la biologie marine, tant à Messine que bientôt de par le monde avec l'institution de stations de biologie marine et les recherches majeures permises par les êtres qu'elle étudie. La figure de cette savante rappelle l'importance des pratiques naturalistes dans et hors les institutions et illustre la place des femmes dans la communauté scientifique internationale au XIX^e siècle. Ces thèmes nourrissent des questions d'actualité que ce soit sur les rapports entre femmes et sciences, sur le rôle des apports amateurs, populaires ou citoyens dans une science institutionnalisée, mais aussi sur la manière de penser la science, les savants et leur histoire.

A3 Magazine rendra compte de cet événement, qui pourrait donner envie à des membres de l'association et/ou des responsables régionaux d'organiser conférences et présentations en hommage à cette femme exceptionnelle.

Anne-Lan et Fabrice Bonardi

ALPES DAUPHINÉ

Rencontres au cours de l'année 2015/2016

- **20 Novembre 2015** : Réunion de rentrée autour d'un déjeuner réunissant 20 personnes.
- **19 Janvier 2016** : Conférence de monsieur Le Brun, Docteur ès-sciences, adhérent de l'A3-CNRS sur « Energie et bâtiment : La réhabilitation thermique des logements, Comment, Pourquoi, qu'en attendre ? » 26 personnes y assistaient.
- **5 février** : Visite guidée du musée de la Houille blanche Aristide Bergès et de l'exposition temporaire : Grenoble 1925 : Eloge de la modernité – Lancey .
- **3 jours à TURIN** : 1 - 2 - 3 Avril, musée d'Égyptologie, marché, centre historique et retour par la *Sacra de San Michele*.
- **26 mai** : Journée à Chambéry:
 - 1 visite guidée du centre historique
 - 2 visite guidée de l'exposition « Destination terres extrêmes, terres arctiques et antarctiques françaises »
- **9/10 juin** : Rencontres de Rennes. Plusieurs personnes participeront à ces journées conviviales.

Escapade à Turin

Du 1^{er} au 3 avril notre petit groupe a visité Turin, siège pendant 9 siècles de la maison de Savoie et 1^{re} capitale du Royaume d'Italie. Ce passé glorieux a laissé son empreinte dans de larges avenues bordées de palais grandioses et dans des places somptueuses aux belles arcades animées, « le plus beau village au monde » disait Montesquieu. Aux architectures néo-classiques sobres et élégantes succèdent les belles façades abondamment décorées dans le style art nouveau piémontais « le Liberty ».



La construction de la ville garde le souvenir du *Risorgimento*. C'est ici que naît le projet de l'unification de l'Italie, à l'initiative des personnages

politiques, souverains, écrivains et penseurs qui ont vécu dans cette ville. Au-delà de la ville c'est surtout le musée Egizio qui motivait notre déplacement. C'est en effet le 2^e grand musée du monde après le Caire pour ses riches collections de vestiges égyptiens rassemblés en 1894 par l'école italienne d'archéologie et particulièrement Schiaparelli et Farina qui tout au long du 19^e siècle ont fouillé avec succès les sites égyptiens. C'est sur ces précieux matériaux que travaillera le jeune Champollion pour le déchiffrement des hiéroglyphes.

Le musée nous propose un parcours chronologique à travers 5 millénaires, de 4000 avt JC à 700 ap. JC. tout en reconstruisant les contextes archéologiques des espaces thématiques. Ainsi nous est livrée une civilisation magnifique vieille de 4500 ans qui semble avoir traversé le temps sans dommage.



Mais aller à Turin, siège de la marque Fiat, c'est aussi revivre la grande épopée de l'automobile tout au long du 20^e siècle. C'est cette mise en scène que nous présente le MAUTO (Musée national de l'automobile) fondé en 1932, l'un des musées à caractère technique scientifique les plus connus dans le monde. En 2011 une importante restructuration architecturale lui a conféré un style contemporain et futuriste.

Parmi les plus rares et intéressantes dans son genre la collection du musée comprend plus de 200 voitures originales de 80 constructeurs différents. Mais l'histoire de l'automobile n'est pas seulement l'histoire d'un moyen de transport : à travers l'automobile passent les événements qui ont marqué le vingtième siècle. Grâce à une scénographie précise et spectaculaire

le parcours de visite raconte les transformations fondamentales qui ont influencé la société, les coutumes, les modes de vie. Le Mauto est le gardien et le témoin de la créativité artisanale et industrielle liée à l'univers de l'automobile.

Et bien sûr nous ne pouvions pas quitter Turin sans faire un tour dans le célèbre marché qui chaque samedi matin offre la diversité exubérante de ses productions maraîchères et de ses spécialités si attractives.

Enfin sur la route du retour vers Grenoble une halte s'imposait pour s'approcher du site exceptionnel et mystérieux de la *Sacra de San Michele*, abbaye construite en 998 sur un piton rocheux à 961 m d'altitude, devant un panorama montagneux somptueux. Cette *Sacra* est en Europe un des plus grands complexes architectoniques religieux de la période romane. Née de la culture du pèlerinage entre 963 et 987 pour satisfaire les nécessités des pèlerins, elle devient bientôt un centre de spiritualité et d'échanges culturels. Quand on visite la *Sacra di San Michele* on est frappé par la similitude de plan avec l'abbaye du Mont St-Michel. En fait le moine piémontais, Guillaume de Volpiano, célèbre Maître d'œuvre (mort en 1031) eut une grande influence sur tous les monastères normands comme celui du Mont St-Michel.

Ces sorties organisées pour les membres de notre association sont toujours un moment privilégié d'échanges et d'amitié.

Visite du musée de la Houille Blanche Aristide Bergès à Villard-Bonnot Lancey le 5 février 2016

Nous nous sommes retrouvés une vingtaine pour découvrir ce très intéressant musée sous la houlette d'une accompagnatrice guide.

Ce musée est installé dans la très belle maison d'Aristide Bergès, très bien conservée et restaurée. Cette maison à elle seule vaut la visite. Belle architecture, un intérieur richement décoré, les styles se mélangent, Renaissance, Moyen-Âge, on découvre un magnifique hall style Art nouveau, une galerie rehaussée d'une verrière colorée. Les pièces sont tapissées de papiers peints de la Belle Epoque.

De nombreux artistes sont venus à Lancey en particulier Alfons Mucha, maître de l'Art Nouveau dont on retrouve plusieurs œuvres d'art dans la maison. Au cours de la visite on rencontre un bel ensemble de meubles, de livres, de tableaux dont ceux de Maurice Bergès, un des fils d'Aristide.

Aristide Bergès a utilisé l'énergie hydraulique pour ses raperies de bois fournissant la pâte à papier et pour cela il a aménagé des conduites forcées sur les torrents, puis il a ajouté une papeterie et installé une dynamo pour produire le courant électrique. Par la suite il construira d'autres chutes dans Belledonne.

De nombreuses photos montrent l'évolution de l'usine, les travaux de captage de l'eau dans Belledonne. Du matériel industriel de l'ancienne papeterie, des objets de laboratoire sont aussi exposés. Quelques panneaux fournissent des explications sur le principe des dynamos et les lois générales de l'électricité.

Nous avons terminé la visite par l'exposition « Eloge de la modernité », 2^e volet de l'exposition « Grenoble 1925 » à l'occasion du 90^e anniversaire de l'exposition de la Houille blanche et du tourisme de Grenoble. Elle rend hommage aux pionniers comme Aristide Bergès dans le Grésivaudan ou Charles Keller dans la vallée de la Romanche qui ont su exploiter cette énergie issue des torrents de montagne et contribuer à faire rentrer l'Isère dans l'ère de la modernité.

ALSACE

L'EAU en question : A propos des risques pour les nappes souterraines !

Les récents « débats de concertation » au Secrétariat permanent pour la prévention des pollutions et risques industriels (SPPPI) que je préside dans l'agglomération rhénane de Strasbourg-Kehl, firent la part belle à cette nécessité - soulignée le plus souvent par les associations et riverains - de préserver la qualité des eaux de la nappe phréatique rhénane.

L'argument est avancé dans la quasi totalité des « dossiers » concernant les sites d'exploitations « à haut risque » classées SEVESO, les projets de géothermie de « basse ou haute » température, les réhabilitations de « friches » industrielles et les traitements de terres excavées. Il est aussi évoqué lors de la création récente de Parcs naturels urbains (PNU) accompagnée parfois de restrictions d'usage direct des eaux souterraines dans certains quartiers (interdiction, pour les particuliers, d'arroser les jardins potagers).

Force est de constater que la problématique ne date pas d'hier : La référence à une étude documentaire du BRGM datant d'octobre 1963 (DS.63.A.127 // La pollution des eaux souterraines. Etude documentaire par M. Albinet) en est la démonstration.

De nombreux acteurs, aujourd'hui « aux manettes », auraient à s'en inspirer !

L'étude documentaire bénéficia d'une présentation signée de Jean Margat, alors Chef du Service d'hydrogéologie du BRGM, dont voici un extrait :

« La pollution des eaux pose aujourd'hui et posera de plus en plus à l'avenir des problèmes venant au premier rang des préoccupations des divers spécialistes de l'eau, dans les pays en expansion urbaine et industrielle. Il importe donc que les hydrogéologues, pour ce qui les concerne, c'est-à-dire la pollution des eaux souterraines, se documentent et s'arment techniquement afin de faire face à des problèmes qui, posés autrefois de manière seulement accidentelle, vont à l'avenir se multiplier.

Dépister les pollutions chimiques des nappes d'eau souterraines, rechercher leur origine, participer à la mise en œuvre des techniques de décontamination, enfin mettre au point et proposer les mesures de prévention et de contrôle appropriées dans le cadre de la protection et de la conservation des eaux souterraines, tout cela entre désormais dans le champ des activités courantes de l'hydrogéologie.

Le présent mémoire a donc été conçu par M. Albinet, moins comme une étude exhaustive de la question que comme un dossier documentaire, dossier qui reste ouvert ».

Plus de 50 ans se sont écoulés depuis que M. Albinet écrit : « La pollution des nappes d'eau souterraines par les hydrocarbures est un cas assez connu », en précisant que cette pollution - toujours d'actualité - se produit le plus souvent à partir des dérivés liquides du pétrole : gazoline, benzine, essence, kérosène, gas-oil, fuel-oil, huiles, goudrons de pétroles. Et d'ajouter « c'est bien l'homme qui reste le principal responsable de cette cause de pollution ».

L'auteur détailla plusieurs exemples retrouvés dans la littérature pour essayer de donner un aperçu de l'importance de ce problème et de ses origines diverses.

- « A Landshut (Allemagne), on s'aperçut qu'il y avait dans un ruisseau, des arrivées d'huile provenant des terrains traversés par ce même ruisseau. Cette huile venait d'un réservoir détruit par un bombardement en 1945 ».

Commentaire du SPPPI : L'origine de la présence d'hydrocarbures dans la nappe détectée à Strasbourg, quartier de la Robertsau il y a peu, ne serait-elle pas l'une des conséquences du bombardement du Port aux pétroles voisin pendant la 2^e guerre mondiale ?

- « A Herbitzheim (Bas-Rhin), la maison forestière de Wackenbühl vit la source qui l'alimentait, source située à 4 mètres sous la chaussée, polluée. En 1945, un accident fit éclater le pipe-line américain de l'armée de la libération, pipe-line qui longeait le talus opposé à la source. L'odeur d'essence de la source était perceptible 10 ans après et un puits creusé à proximité fournit une eau polluée ».

- « A Wiesbaden-Schierstein, en 1954, l'eau d'un puits était polluée par une usine des environs qui était fermée depuis 1939 mais qui avait rejeté, de 1870 à 1939, des déchets goudronneux sur des terrains vagues environnants ».

Remarque : Aux exemples cités, s'ajoutent des cas (plus récents en Alsace), déjà évoqués au SPPPI, tels les pollutions à Entzheim-Aéroport (par le kérosène), à Benfeld-Erstein (par le tétrachlorure de carbone), ou à Strasbourg-Elsau (par le tétrachloréthylène).

L'écoulement naturel de l'eau de la nappe, dont la vitesse est faible en général (de l'ordre de quelques mètres par jour), disperse et propage les « traces et résidus » d'hydrocarbures et produits dérivés très lentement dans le sous-sol, ce qui explique la manifestation souvent tardive de la pollution par ces produits. L'intervalle de temps entre l'origine d'une source de pollution et l'apparition d'eau polluée dans les puits en aval, peut être si long que la réparation du dommage peut en devenir impossible.

Si, dans certains cas précis, parfaitement localisés (souvent des cas accidentels), on arrive à une dépollution « raisonnable », avec les moyens techniques actuels, la réalisation d'une telle opération reste extrêmement onéreuse.

Rappelons cette conclusion avancée par M. Albinet : « Les conséquences d'une pollution souterraine peuvent durer assez longtemps pour en faire souffrir les futures générations ».

Cette affirmation très peu rassurante, qui pourrait aujourd'hui la mettre en doute ? Oui, l'étude de M. Albinet (Oct.1963) reste bien, en mai 2016, un « Dossier ouvert » et ce pour longtemps encore !

Lothaire Zilliox

PS : Les rencontres-débats du SPPPI de Stasbourg-Kehl sont ouverts aux membres (intéressés) de l'A3-Rayonnement du CNRS.

Contact au secrétariat du SPPPI :

Laurence Morival

SPPPI-APIAS

DREAL Grand Est - Strasbourg,

14, rue du Bataillon de Marche N°24

BP 81005/F - 67070 Strasbourg cedex

Tél. : 00 33 (0) 3 88 13 06 07

Fax. 0033(0)388130560

E.mail : laurence.morival@developpement-durable.gouv.fr

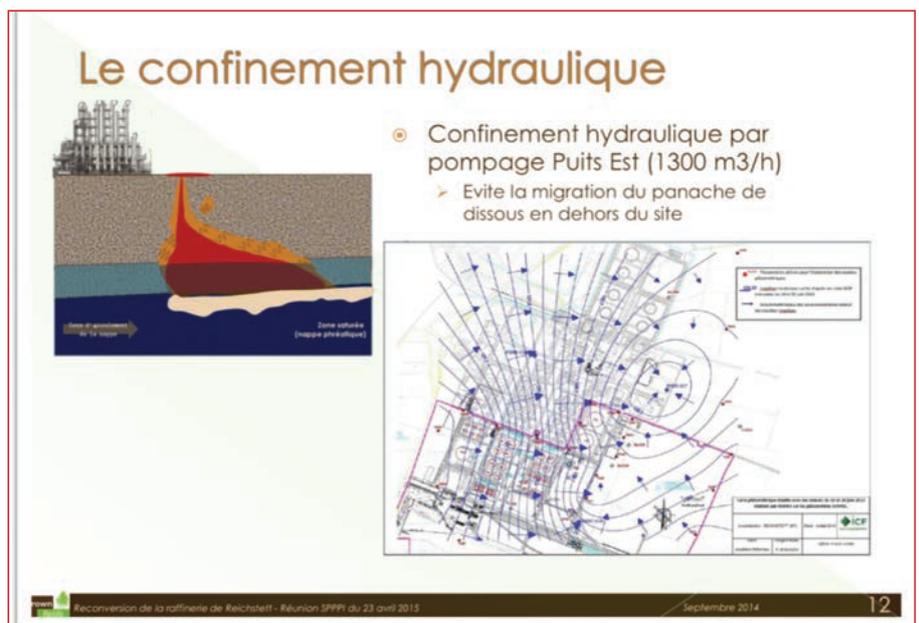


Illustration : Le principe du « confinement hydraulique » tel qu'il s'applique dans l'actuelle opération de reconquête et de réhabilitation du site de l'ancienne Raffinerie PRR (arrêtée en 2011) à Reichstett, commune de l'Eurométropole de Strasbourg. (De nombreuses opérations du même type sont en cours sur le territoire national)

MIDI-PYRÉNÉES

Journée dans l'Ariège, le mardi 5 avril 2016

Visite des entreprises MarionTechnologies, Mapcoating et Mapaero à Pamiers-Verniolle et visite guidée de la bastide médiévale de Mirepoix

Les giboulées de mars se prolongeant en avril, nous sommes partis en car à 8 heures, sous une pluie battante, en direction de Pamiers mais sans subir les effets annoncés de blocage des rocales par les taxis. A notre arrivée dans le parc technologique de Verniolle, au sud de Pamiers, nous sommes accueillis par M. Joseph-Antoine Sarrias, président-directeur général de l'entreprise Marion Technologies, et par deux de ses collaboratrices, Delphine Maury et Julie Segalini. Nous devons cette rencontre à l'initiative de Jean-Pierre et Renée Legros.

M. Sarrias nous apprend que la suite de la visite, initialement prévue chez BioMérieux, a dû être ajournée et qu'il en a été informé très tardivement. Il a eu l'obligeance de prendre contact avec deux entreprises voisines qui nous intéressaient également : Mapcoating et Mapaero et qui ont accepté de nous recevoir en seconde partie de matinée. Après l'écoute de Mme Maury qui nous présente les activités de MarionTechnologies, nous trouvons le réconfort du café et de la collation qui nous sont proposés, puis nous nous répartissons en deux groupes pour la visite.

Visite de l'entreprise Marion-technologies
(www.mariontechnologies.com)

Ayant côtoyé M. Sarrias durant son parcours à l'Université Paul Sabatier, dans le laboratoire de chimie des matériaux, nous sommes très impatients à l'idée de découvrir cette entreprise qu'il a créée en 2001. L'implantation en Ariège avait été retenue car elle permettait, à l'époque, d'accéder à des fonds européens (Feder). Aujourd'hui, grâce à l'autoroute, elle se trouve « quasiment » dans la proche banlieue de Toulouse.

Les domaines de compétence sont ceux des nanomatériaux et matériaux nanostructurés, des poudres céramiques et récemment des carbures métalliques. L'entreprise dispose depuis 2008 d'une plateforme technologique pour les activités de recherche et développement (R&D), d'un laboratoire de 300m² pour la caractérisation et d'un atelier de production de 1000m². Les contrôles ont lieu pour les matières premières, les intermédiaires et les produits finis ; l'entreprise a obtenu deux certifications ISO, l'une en 2004, l'autre en 2010.

Le personnel comprend une quinzaine de personnes - 20 % de docteurs, 30 % d'ingénieurs et 50 % de techniciens. Le chiffre d'affaires se répartit à 60 % pour la production, à 30 % en recherche et développement et à 10 % pour les travaux de caractérisation ; il est en croissance actuellement de 25 à 30 % par an, l'objectif étant de passer de 30 à 50 %, avec un projet d'extension.

En R&D, l'entreprise contribue actuellement au développement de cinq projets européens en partenariat avec diverses entreprises et laboratoires institutionnels. La demande industrielle relève de domaines d'application



Pamiers -Marion Technologies

très variés : essentiellement celui de l'énergie, en fournissant les oxydes nécessaires pour des batteries ou des piles à combustibles, celui des céramiques pour l'électronique, des charges pour des peintures et pigments thermochromes ou résistants aux hautes températures (montres de luxe), des matériaux spécifiques pour les travaux dentaires et même des nanoparticules pour la cosmétique mais une liste exhaustive serait trop longue. L'entreprise peut répondre à des demandes précises des clients et obtenir aussi bien des matériaux poreux que, inversement, des électrolytes très durs après frittage. Cette adaptabilité de l'entreprise permet de répondre aux besoins précis de chaque demandeur. Citons quelques industries partenaires : le pôle Aerospace (batteries), Safran, Airbus, Héralces, Turboméca, l'Oréal et diverses PME. La production est de l'ordre de 40 tonnes par an et se fait d'abord par une méthode de chimie douce, par processus sol-gel ou précipitation dans des réacteurs de 100 à 4000 L et aussi par synthèse hydrothermale. Les précurseurs ainsi obtenus sont ensuite traités thermiquement dans des fours à passage ou des fours statiques selon les besoins. L'entreprise vient de s'équiper d'un four travaillant à 2500 °C pour la production de carbures. Nous notons aussi l'utilisation de fours sous hydrogène pour la production de poudre de fer par réduction d'oxyde(s). Tout au long des processus de fabrication les conditions sont ajustées pour permettre le contrôle de la croissance des grains et de leur taille, généralement entre 20 nanomètres et 300 micromètres, selon les spécifications des clients.

La visite des lieux, que ce soit au niveau de la production, des salles de contrôle ou des laboratoires de recherche et développement nous permet d'apprécier l'importance de l'équipement et les investissements récem-

ment réalisés. Nous réalisons surtout le travail titanesque nécessaire pour lancer et faire progresser une telle entreprise et pour la conduire au niveau de reconnaissance qui est le sien aujourd'hui.

Après cette visite où nous avons reçu un accueil si chaleureux et instructif, nous quittons le site de MarionTechnologies et reprenons le car pour rejoindre les entreprises Mapaero et MapCoating. Ces deux branches d'une même entreprise initiale se sont constituées en entreprises autonomes pour répondre à des besoins spécifiques.

Nous nous divisons en deux groupes et chacun d'eux ne découvrira l'activité que de l'une des entreprises.

Présentation de Mapaero

Dans un premier temps nous sommes accueillis dans une luxueuse salle de conférence et nous apprenons que Mapaero a été le premier fabricant européen à introduire les peintures à l'eau sur le marché aéronautique, avec une première qualification en 2001 chez Airbus après 10 ans de recherche pour la protection de la structure des avions. Depuis, la technologie des peintures à l'eau s'est imposée comme une technologie robuste auprès des constructeurs européens permettant un contrôle optimal des épaisseurs de peinture appliquée sur les pièces lors de la construction des avions : Ainsi, Mapaero a développé une gamme de produits qualifiés pour différentes applications et des environnements exigeants (adhérence, résistance chimique, durabilité, protection des matériaux composites et métalliques). Ils sont reconnus aujourd'hui comme des produits de référence (Clients : Airbus, Dassault, Embraer, Bombardier)

Pour l'intérieur des avions Mapaero s'est imposé depuis 2004 comme un fournisseur majeur de peintures qualifiées à l'eau pour l'aménagement commercial des cabines passagers (Airbus, Boeing, Airbus Helicopters, Bombardier, Embraer). Ces peintures de haute technologie ont prouvé leurs performances face aux exigences fortes des constructeurs aéronautiques, telles que les caractéristiques au feu (fumée, flamme, toxicité, ...), de facilité de nettoyage, de durabilité et de résistance aux produits chimiques.

Certaines peintures sont conçues et certifiées pour répondre aux exigences draconiennes des constructeurs aéronautiques car ces peintures spéciales répondent à des demandes spécifiques (peintures extérieures pour les avions Daher Socata mais aussi pour les bateaux de plaisance). Enfin cette société est le fournisseur du marché civil et militaire d'Airbus Helicopters car elle développe et propose une gamme complète de revêtements, primaires et finitions. Dans un deuxième temps nous visiterons le site, les bureaux, puis les laboratoires pour l'analyse, et pour la Recherche et le Développement, enfin nous accéderons aux unités de production de l'usine et aux lieux de stockage des produits.

Présentation de MapCoating

Les objectifs de MapCoating concernent les peintures pour les activités dans l'espace, relatives aux lanceurs et satellites. Deux volets principaux : la préparation des peintures, leur application sur des éléments indépendants ou sur des pièces assemblées.

L'atmosphère des salles est régulée au niveau de la température et de l'hygrométrie, pour éviter, par exemple, l'attaque des silanes dans la

peinture, leur hydrolyse chimique doit être très contrôlée pour permettre une accroche de la peinture sur le métal. D'autres obligations sont prises en compte comme la nécessité de peintures antistatiques. Les satellites seront traités avec une peinture comprenant des oxydes métalliques réducteurs dopés. On élimine les charges électrostatiques et on évite ainsi les décharges électriques brutales qui leur sont liées. Une autre contrainte importante est que le revêtement ne dégage pas dans le vide spatial. Un problème majeur est celui de la régulation de la température dans le satellite en effet la face exposée au soleil est à une température de l'ordre de 150° tandis que la face opposée est à -150°, et il faut maintenir à l'intérieur du satellite une température de 20° pour le bon fonctionnement de l'électronique. Les panneaux extérieurs radiatifs seront peints en blanc pour réfléchir la lumière solaire et on réchauffe les parties froides par des capteurs à l'extérieur ; l'intérieur du satellite est généralement en noir pour redonner la chaleur de l'électronique.

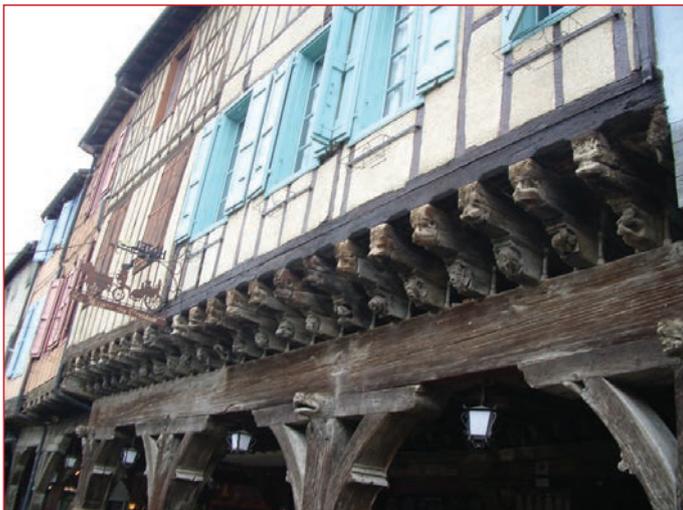
Le cas des lanceurs est différent, ils sont généralement peints sur place dans différents pays (selon une distribution relevant de l'ESA), alors que pour les satellites MapCoating est largement sollicité et traite environ 2000 pièces par an. Comme nous pourrons le voir lors de la visite des ateliers (nous restons à l'extérieur), les étapes de traitement des pièces sont nombreuses : enregistrement photo de la pièce transmise, premier nettoyage, masquage des zones non à peindre, second nettoyage, passage en salle d'application, séchage (2 à 15 jours), étuvage éventuel, retour pour le démasquage et les contrôles (test d'adhérence et propriétés), opérations d'emballage. Pour les lanceurs on retrouve les problèmes d'arc électrique et de « claquage » à éliminer ; un problème traité grâce à des pigments mélangés à des résines isolantes.

Cette entreprise n'a pas de concurrent pour la fabrication des peintures, l'application peut aussi être réalisée par le client mais tous les cas difficiles arrivent à Pamiers. La différence entre satellites et lanceurs est que l'on a rarement de grandes séries pour les satellites (environ 300 à 500 kg /an de peintures nécessaires pour les satellites, de l'ordre de plusieurs tonnes pour les lanceurs). L'un des objectifs actuels est de mettre en place des procédures de fabrication compatibles avec la nouvelle directive REACH, ce qui ne va pas de soi.

Comme pour Mapaero, les partenaires sont nombreux ; le CNES qui est habilité à donner la qualification aux peintures et auquel MapCoating paie en retour des dividendes, puis les nombreux utilisateurs (par exemple Thales, Airbus, Astrium et différentes entreprises étrangères). L'accueil très ouvert, les informations très documentées qui nous ont été apportées ont rendu cette matinée très enrichissante. Nous n'imaginions ni la multiplicité des questions techniques que ces entreprises ont réussi à résoudre, ni le dynamisme entrepreneurial de cette région.

Visite de la bastide moyenâgeuse de Mirepoix et de l'Église de Vals

Nous nous retrouvons pour aller déjeuner à Mirepoix où nous attendent nappes blanches et menus alléchants, à proximité du cœur historique de la ville. Cette pause bienvenue permet au ciel d'être un peu plus clément et nous pourrons visiter Mirepoix sans pratiquement ouvrir les parapluies.



Maison des consuls-Mirepoix

Connue depuis le XI^e siècle, Mirepoix fut un haut lieu du catharisme puisque des rassemblements de plus de 600 cathares s'y sont tenus. Mais en 1209 c'est l'arrivée de Simon de Montfort qui donnera la responsabilité de ce vaste fief à Guy de Lévis. Mirepoix voit apparaître une nouvelle implantation après une crue dévastatrice en 1289, à la suite de la rupture volontaire du barrage de Puivert pour assécher un lac et récupérer des terres pour l'agriculture. La population fut noyée à 50 %, ce qui fut une incitation forte à reconstruire sur l'autre rive de l'Hers, dans un site moins exposé.



Fresques de Vals (XII^e siècle)

C'est une bastide splendide bâtie autour de sa halle où se tiennent foires et marchés et à proximité de la cathédrale Saint-Maurice. Les rues sont rectilignes et se recoupent à angle droit. Des galeries couvertes permettent de circuler devant les échoppes en rez-de-chaussée. La mise en place de ces couverts en bois de chêne a dévasté les forêts environnantes mais la guerre de Cent ans fera pire et conduira à une cité fortifiée à la fin du XIV^e. Nous admirerons les maisons caractérisées par les façades aux linteaux de bois, qui maintiennent le torchis. Elles se retrouvent en nombre, la plus impressionnante étant celle des consuls, ornée d'une centaine de sculptures. Notre guide, Emilie, nous fera apprécier différents éléments, des plus originaux aux plus cocasses. Nous verrons aussi les restes des fortifications et l'impressionnante cathédrale gothique Saint-Maurice, à nef unique de 22 mètres (la 2^e au plan européen) et nous apprécierons la promenade sous les couverts avant de quitter Mirepoix pour rejoindre Pamiers. Sur notre route nous ferons étape à Vals pour découvrir sa très remarquable église rupestre. Mettant à profit une faille naturelle dans le rocher, les bâtisseurs ont creusé une nef dans le rocher, puis rehaussé l'église par une construction à plusieurs paliers. Les fresques du XII^e sont magnifiques comme doit l'être la vue à 300° depuis la terrasse sur la plaine et les Pyrénées, les jours de beau temps ! Cette journée riche en rencontres et en découvertes s'achève par notre retour à Toulouse vers 18 h.

Lilliane Gorrichon

CENTRE-VAL DE LOIRE

Trouvailles et retrouvailles à l'INRAP

Notre antenne a proposé le 18 mai une visite du site régional de l'Institut national de recherches archéologiques préventives. Elle a réuni une bonne vingtaine de participants et s'inscrit dans un partenariat multiple de l'A3 : avec l'Inrap (une visite similaire en 2011, à l'occasion du chantier du tramway d'Orléans, avait contribué au Bulletin A3 sur l'archéologie) ; avec la mairie de Saint-Cyr-en-Val (prolongeant la Fête de la science à l'automne 2015 autour de l'espace et Rosetta) ; et cette fois avec la Société historique et archéologique de Saint-Cir-en-Vaux.

Nous remercions chaleureusement nos hôtes de leur accueil et des informations reproduites ci-dessous : Thierry Massat (Adjoint scientifique et technique, Inrap Centre-Ile-de-France), Gwenaëlle Jousserand (Chargée de développement culturel et de communication) et Coralie Menseau (Stagiaire au développement culturel et de communication).

L'Inrap, national et régional

Avec plus de 2 000 collaborateurs et chercheurs, l'Inrap est la plus importante structure de recherche archéologique française et l'une des toutes premières en Europe. Institut national de recherche, il réalise chaque année quelque 1 800 diagnostics archéologiques et 250 fouilles en partenariat avec les aménageurs privés et publics, en France métropolitaine et outre-mer. Créé par la loi de 2001 sur l'archéologie préventive, l'Inrap est le seul opérateur public compétent sur l'ensemble du territoire et pour toutes les

périodes, de la Préhistoire à nos jours. Héritier de trente ans d'expérience, il intervient sur tous les types de chantiers : urbain, rural, subaquatique, grands tracés linéaires. À l'issue des chantiers, l'Inrap assure l'exploitation des résultats et leur diffusion auprès de la communauté scientifique : plus de 300 de ses chercheurs collaborent avec le CNRS et l'université. Ses missions s'étendent à la diffusion de la connaissance archéologique auprès du public : ouverture des chantiers au public, expositions, publications, conférences, production audiovisuelle.

Habituellement fermé au public, le Centre de recherches archéologiques de Saint-Cyr-en-Val (55 agents) est accessible à titre exceptionnel. Il est adapté à l'activité opérationnelle et scientifique des archéologues, on y trouve : un espace de lavage et de conditionnement ; des salles d'étude du mobilier archéologique, céramique, lithique, ossements... ; des plateaux techniques (topographie, DAO/PAO) ; des laboratoires ; des bureaux de rédaction ; un centre de documentation, un dépôt et des magasins.

La visite en 3 temps



Une projection a expliqué les modalités de réalisation d'un diagnostic archéologique mené en 2015 à St-Cyr-en-Val et ayant permis la mise au jour d'une petite occupation du Paléolithique (entre 150 000 et 30 000 av. n.è.), la découverte de deux tumulus du début de l'âge du Fer (entre 600 et 500 av. n.è.) et de deux petits enclos gallo-romains probablement à vocation funéraire ou culturelle.

Dans le laboratoire de céramologie, le mobilier céramique (vers 1100 av. n.è.) issu de la nécropole tumulaire de Vienne-en-Val récemment fouillée a été présenté. La discussion a permis d'évoquer les différents types d'analyses pouvant être réalisées sur ce type de matériau.

Puis, dans le laboratoire d'anthropologie, après une présentation rapide de la fouille réalisée sur la nécropole princière de Lavau (Aube), des échantillons de restes osseux de crémation datant d'environ 1200 av. n.è. provenant de cette nécropole ont été montrés. Enfin, une sépulture du XVI^e provenant de l'église de Neuville-aux-Bois a permis d'aborder les différentes informations que pouvaient livrer ce type de vestiges.

La Société historique et archéologique de Saint-Cyr-en-Vaulx

La SHA a vu le jour en 1989. Elle a été conduite successivement par 6 présidents et est affiliée à la Fédération archéologique du Loiret (FAL). Elle a publié 18 bulletins, 5 hors-série, un livre « St-Cyr autrefois ». Elle organise des sorties (musées, visites de sites etc...) et a présenté différentes expositions : Les 100 ans à St-Cyr, Les années 50, St-Cyr de l'occupation à la liberté, Exposition philatéliste sur le Gal de Gaulle, Les Gallo-Romains dans le Loiret, L'héraldique, La guerre de 1870 dans le Loiret, Le télégraphe Chappe.

Pour en savoir plus :

- Sur l'INRAP : <http://www.inrap.fr/archeologie-preventive/p-7-Accueil.htm>
- Sur la SHA : <http://sha-saint-cyr-en-val.wifeo.com/>

Contact : Paul.Gille@cnrs-orleans.fr, Jean-Pierre.Regnault@cnrs-orleans.fr

ILE-DE-FRANCE

Quoi de neuf depuis Darwin ?

Conférence donnée le mardi 12 avril 2016 par Jean Chaline, Directeur de recherche émérite au CNRS

La théorie de l'évolution dans tous ses états, la mécanique de l'évolution. Un public nombreux et particulièrement attentif était au rendez-vous ce mardi 12 avril dans l'auditorium du campus Gérard-Mégie à Paris pour écouter Jean Chaline, paléontologue, sur « Quoi de neuf depuis Darwin ? La théorie de l'évolution dans tous ses états ; la mécanique de l'évolution ». Non, les théories de l'évolution des espèces ne sont pas des questions anciennes, datant du dix-neuvième siècle, et réglées depuis longtemps ! Après nous avoir présenté l'histoire des théories de l'évolution et ses différents acteurs, Lamarck, Cuvier, Darwin, De Vries et les artisans de la théorie synthétique, Jean Chaline a montré comment une approche moderne et pluridisciplinaire rassemblant biologistes, physiciens, économistes, sociologues et autres, permet d'avoir une meilleure compréhension de l'évolution des différentes espèces. Ainsi, la biologie évolutive du développement, également connue sous le nom d'Evo-Dévo, permet grâce à l'apport de la génétique et de l'embryologie, de mieux comprendre les différentes mutations qui affectent les espèces, et leur impact sur leur évolution. L'approche mathématique est, quant à elle tout-à-fait surprenante : l'évolution des espèces suivrait une structure mathématique fractale (Mandelbrot 1975), présentant une accélération, ou une décélération, selon une loi universelle log-périodique. Laurent Nottale, astrophysicien, Diogo Queiros-Condé, Yvan Brissaud, Pierre Grou, sociologue-économiste et Jean Chaline montrent que cette théorie prédictive peut s'appliquer à l'astrophysique et à l'évolution de l'univers, à l'évolution des sociétés, comme à l'évolution des espèces. Ce qui a soulevé de nombreuses questions de la part de l'auditoire et un débat très intéressant.

Astrochimie : chimie des origines. Evolution cosmique et émergence de la vie : un processus banal ?

Conférence de Louis le Sergeant d'Hendecourt,

Mardi 17 mai, dans l'auditorium Marie-Curie du CNRS au Campus Gérard-Mégie à Paris, une quarantaine d'Anciens et amis du CNRS ont eu le grand

plaisir d'écouter Louis le Sergeant d'Hendecourt, directeur de recherche au CNRS à l'Institut d'astrophysique spatiale et Paris-Saclay (directeur de l'Equipe astrochimie des origines), présenter un panorama des recherches actuelles, dont il est un des acteurs principaux, dans le domaine de la chimie des origines.

Où, quand, comment a émergé la vie dans notre univers ? Existe-t-il de la vie ailleurs dans cet univers ? Toutes questions auxquelles notre orateur a tenté de donner une réponse.

Tous les organismes vivants sur terre, virus y compris, ont un patrimoine génétique fait d'acides nucléiques (ADN ou ARN). L'ARN, considéré comme plus primitif, aurait été l'une des premières molécules caractéristiques de la vie à apparaître sur Terre. Une des pistes actuellement suivie par les chercheurs serait que des éléments chimiques prébiotiques auraient pu se former au sein de comètes ; des comètes ou des astéroïdes contenant des acides aminés ou des bases azotées (constituants des protéines et des acides nucléiques) auraient « ensemencé » la Terre. Ces molécules ont en effet été retrouvées dans des météorites. La mission spatiale européenne Rosetta, qui doit permettre d'étudier la composition de la comète Tchouriomov-Guerassimenko, devrait permettre d'avancer dans la compréhension de ces phénomènes prébiotiques.

Parallèlement, les expériences de laboratoire se poursuivent pour connaître dans quelles conditions ces « briques élémentaires » peuvent avoir donné naissance à des êtres vivants. Des expériences ont permis de reproduire en laboratoire une micro-comète (ou échantillon de glace interstellaire). Ainsi, l'équipe de Louis Le Sergeant d'Hendecourt, à l'Institut d'astrophysique spatiale, a condensé, dans des conditions similaires à celles de l'espace (-200°C et sous vide), des éléments présents dans le milieu interstellaire (eau, ammoniac, méthanol) sur un morceau de fluorure de magnésium. Ces échantillons ont été soumis aux rayons ultra-violets, comme dans l'espace interstellaire. Grâce à des techniques de microanalyse ultrasensibles développées récemment, on a pu déceler, parmi de nombreux composés organiques, 26 acides aminés, dont l'un serait un composant majeur d'un lointain ancêtre de l'ADN, l'acide peptidique nucléique, qui pourrait être à l'origine des premières molécules capables de s'autorépliquer, et donc à l'origine de la vie... Récemment a également été détecté du ribose, élément important pour comprendre l'origine de l'ARN et donc les origines de la vie.

Cette conférence sur les « Origines de la vie », qui fait suite à la conférence d'avril 2016 sur « la théorie de l'évolution dans tous ses états », a retenu toute l'attention de notre fidèle public.

Le religieux et le politique dans la Révolution française. L'idée de régénération

Conférence du 28 janvier, par Lucien Jaume

Lucien Jaume, philosophe et historien, directeur de recherche émérite au CNRS et membre du CEVIPOF, a donné dans l'auditorium du Campus Gérard-Mégie (CNRS, Paris-Michel-Ange) une très belle causerie sur le récent ouvrage qu'il a publié au PUF en avril 2015 « Le Religieux et le politique dans la Révolution française. L'idée de régénération ». En étudiant de près les discours, lois et documents divers, son étude montre que

l'imaginaire religieux nourrit le discours révolutionnaire imprégné de l'idée de régénération ; et plusieurs exemples montrent qu'il est encore très présent dans les textes des débuts de la III^e République relatifs à la laïcité. « Une République laïque à substrat religieux » pour reprendre l'expression de Lucien Jaume où tout se passe comme si l'Eglise phagocytée par l'Etat avait fourni à ce dernier le substrat qui a nourri la notion de régénération si chère aux révolutionnaires. Vous pourrez retrouver le contenu de cette conférence dans « Histoire et Liberté. Les Cahiers d'histoire sociale », numéro 58 « Quel héritage de la Révolution française aujourd'hui ? », octobre 2015, disponible notamment chez Compagnie.

Visite à Paris le 9 mai : L'Institut de recherche et d'histoire des textes (IRHT)

Le 9 mai dernier, un groupe de 19 personnes de la représentation Ile-de-France a été chaleureusement accueilli à l'Institut de recherche et d'histoire des textes (IRHT), par son directeur François Bougard et son assistante de direction, pour une visite passionnante. Cet institut est une des plus anciennes unités propres de recherche du CNRS. A vocation nationale, c'est le premier laboratoire créé en sciences humaines, créé en 1937, avant le CNRS fondé en 1939, et juste après la Caisse nationale de la recherche scientifique, fondée en 1935. A son origine, le chercheur Félix Grat (1898-1940), un proche de Jean Perrin, qui, dès 1933, a rassemblé les reproductions de manuscrits médiévaux des auteurs classiques latins, pour les mettre à la disposition des chercheurs. En effet, pour retrouver un texte ancien, connaître les étapes de sa transmission, baliser son succès, suivre ses modifications au gré de ses différentes « éditions » ou réécritures, il est nécessaire d'en réunir toutes les sources manuscrites.



*Antiphonaire 17^e siècle (fragment). Cliché : IRHT/CNRS.
Musée Historique et Archéologique de l'Orléanais, inv. 6992*

C'est ainsi que dès sa création en 1937, la mission de l'IRHT a été, selon l'expression des fondateurs, « l'étude de la transmission écrite de la pensée

humaine ». Ses activités multiples, qui s'inscrivent toujours dans ce cadre, sont réparties actuellement sur plusieurs sites : le Centre Félix-Grat de l'avenue d'Iéna (domaines latin, français et hébreu, manuscrits enluminés, paléographie, diplomatique, codicologie et histoire des bibliothèques, humanisme), le Centre Augustin-Thierry d'Orléans (Pôle numérique), le Collège de France (domaines grec, arabe, syriaque, copte, en cours de déménagement provisoire au collège Sainte-Barbe), l'Institut de France (lexicographie), la Sorbonne (papyrologie). En 2019, la plupart des sections de l'IRHT rejoindront le Campus Condorcet à Aubervilliers. Centre de compétence de renommée internationale, l'IRHT réunit des spécialistes dans tous les champs de l'histoire des écritures, des livres, des bibliothèques, des textes et de l'art de l'enluminure. Il procède à un important travail de reproduction dans les bibliothèques de province en France et rassemble des reproductions provenant de bibliothèques étrangères (75000 microfilms, des dizaines de milliers d'images numériques recueillies chaque année lors de campagnes systématiques). De nombreux outils sont mis ainsi à la disposition des chercheurs.

Le directeur de l'Institut, François Bougard, a présenté l'historique, les missions et l'organisation de son institut. Gilles Kagan, responsable du pôle numérique, a présenté les activités de reproduction à partir de la base de données « Medium », qui est un répertoire mondial des manuscrits reproduits et recensés à l'IRHT. Depuis 2005 la numérisation intégrale des documents a remplacé les microfilms, et la mutation du numérique permet la reproduction et le traitement des images, le développement de l'interface avec les chercheurs, la gestion des collections, la création et l'utilisation de bases de données, la création d'une bibliothèque virtuelle. Parallèlement s'est mise en place une recherche plus « technique » du manuscrit (support, reliure,

cuir...) qui s'appuie sur des techniques de microanalyse physicochimiques, spectroscopiques ou biologiques, comme l'a présenté Elodie Lévêque, restauratrice, dans son exposé sur les éléments structurels de la reliure et de ses différentes étapes (cf étude de E.Lévêque, dans le cadre d'une thèse consacrée aux reliures des manuscrits de l'abbaye de Clairvaux). Pour clore cette belle présentation, François Bougard, nous a montré un exemple de recherche de manuscrit à partir de la base « Medium ».

Cette conférence très appréciée de nos adhérents a été suivie d'un apéritif, gracieusement offert par l'Institut, où tous ont pu, dans une ambiance chaleureuse et cordiale, s'entretenir avec les chercheurs qui ont participé à la présentation.

Prévision des visites et conférences pour le deuxième semestre 2016

- Hôpital Saint-Louis - musée des moulages
- Rencontre et dégustation œnologique à Bercy Village
- Musée Marmottan : Hodler, Monet, Munch
- Centre Pompidou : Magritte, la trahison des images
- Musée Jacquemart-André : Rembrandt
- Conférence Fabienne Malagnac : Les champignons ? Des êtres vivants aussi discrets qu'efficaces !
- Théâtre Mogador : Les coulisses du Fantôme de l'Opéra
- Conférence Alain Bekaert : Les bienfaits de l'apithérapie
- Conférence François Queyrel : L'art grec au temps des royaumes hellénistiques
- Cité de la musique - Philharmonie de Paris

Programme des voyages pour l'année 2017

« *Le voyage est un retour vers l'essentiel* » proverbe tibétain

- Mars : le Vietnam, attachant pays du lotus - 12 jours/9 nuits de Hanoi à Saigon en passant par la Baie d'Halong, Hue et Danang.
Nota bene : en prévision d'une forte demande les inscriptions seront à faire en septembre 2016.
- Mi-mai : escapade à Berlin - 5 jours/4 nuits - hotel 4* : découverte des richesses de cette magnifique ville.
- Juin : croisière - les bijoux de l'Adriatique sur un confortable yacht « rien que pour vous » de 17 cabines afin de découvrir la côte de Split à Dubrovnik
- Septembre - découverte de Cracovie - 4jours/3nuits
- Début octobre - croisière les splendeurs impériales en Méditerranée sur le « Berlin » 10 jours/9 nuits De l'île d'Elbe à Venise en passant par Ajaccio, Trapani, La Valette, Syracuse, Corfou, Dubrovnik et Ancone.



- 2^e semaine des vacances scolaires, fin octobre : le voyage inter-génération destination la Côte sorrentine incluant Capri, Pompei, Paestum, sous l'œil vigilant du Vésuve.

Renseignements :

Annick Perillat : Responsable des voyages
Portable 06 16 95 44 24 - mél annickperillat@sfr.fr

Hommages

Gabriel Picard



La rédaction a appris avec émotion le décès de Gabriel Picard, auquel le numéro 59 d'A3 Magazine (qui était encore le « Bulletin » à ce moment-là) avait consacré un long article retraçant sa carrière. Son ami Claudius Martray (ex-agent comptable, ancien Secrétaire général de l'A3), associé à d'autres amis comme Jean Bouleau (ex-AD à Strasbourg), a souhaité lui rendre un émouvant et chaleureux hommage, à l'aide des documents fournis par sa fille Rosine Picard. En voici quelques extraits :

Gabriel PICARD, ancien Secrétaire général du Centre de documentation du CNRS et ancien délégué régional de Paris A est décédé à Paris le 14 décembre 2015. Né le 20 février 1921 à Paris, il se disait fièrement le plus ancien du CNRS. Il fut recruté à l'âge de 18 ans le 1^{er} novembre 1939 comme agent technique géré par la Faculté des sciences de Paris (le CNRS créé le 19 octobre 1939, était encore sans organisation administrative, d'autant moins que l'on était en guerre depuis le 3 septembre 1939). Gabriel a raconté ses débuts et le périple des services en ces années d'hostilités dans le Bulletin de l'Association numéro 59 en 2012, révélant une foule d'anecdotes savoureuses.

A la retraite il est resté très actif, consacrant encore davantage à l'Association artistique de la recherche qu'il présidait, participant à de nombreuses rencontres de documentalistes, mettant en place l'organisation des conférences de l'A3 en tant que membre assidu du Conseil d'administration (de 1990 à 1994). Chevalier de la Légion d'honneur, Officier de l'Ordre national du Mérite, Officier des Palmes académiques, Officier du Mérite civique, il apprendra juste avant son dernier souffle la naissance de son arrière-petit-fils Lucas en ce 14 décembre 2015, bouleversé d'émotion pour toute sa famille et son arrière-petite-fille Lily, sœur du nouveau-né. C'est une figure du CNRS qui s'en est allée, ayant grandement contribué à la reconnaissance nationale et internationale de notre Maison. Qu'il en soit remercié au nom de tous. Le président et les membres de l'Association s'associent à la douleur de sa famille et lui renouvellent leurs plus sincères condoléances.



Claudius Martray

Claudine Dorémieux

Nous avons fait part dans un numéro précédent du décès de Claudine Dorémieux, et évoqué l'hommage à sa carrière scientifique que lui avait consacré Jacques Fraissard (Professeur émérite - UPMC et ESPCI). Cet hommage manuscrit, égaré lors du déménagement à Meudon, a pu être retrouvé à la faveur de l'installation des nouveaux locaux de l'A3, avant d'être retranscrit par Annie Demichel. Le voici donc, un peu tardivement mais toujours aussi largement mérité.

J'ai fait la connaissance de Madame Claudine Dorémieux en 1965 à l'Ecole des mines de Paris où elle était Chargée de recherche dans le « Laboratoire de chimie » dirigé par le professeur Boullé. Elle était déjà une spécialiste renommée de la RMN large bande appliquée à la structure des solides, principalement des phosphates, d'où ses diverses collaborations avec l'industrie, en particulier avec Saint Gobain.

En 1976, à la suite du départ en retraite du professeur Boullé, elle rejoint le « Laboratoire de chimie des surfaces » que je dirigeais à l'UPMC et avec lequel elle collaborait depuis plusieurs années. Elle s'attaque alors à un problème majeur en catalyse : la force acide des solides. Par étude RMN à 77 K de l'eau absorbée, elle propose une échelle d'acidité des solides comparable à celle de Brønsted en solution. C'est encore aujourd'hui, à mon avis, la seule échelle rigoureuse et précise, mais malheureusement trop complexe pour être utilisée par des non-spécialistes.

Ses résultats lui ont valu de nombreuses invitations étrangères, en particulier de l'université de Leipzig où elle s'était rendue de nombreuses fois. Claudine Dorémieux a toujours mené à leur terme ses idées originales de recherche. Elle aurait sûrement été promue Directeur de recherche si elle avait été membre d'un Institut du CNRS.

Jacques Fraissard

Nous avons également appris avec tristesse les décès de mesdames et messieurs :

Hervé BARREAU, Claudine BEYRIE, Cécile BERTRAND, André BRENDEL, Louis GARDET, Geneviève HERMAN, Toshimichi IYAMA, Jacqueline LABBAT, Odile LE BLANCHE, Marie-Henriette LOUCHEUX, Emile MARTIN, Solange MERCIER-JOSA, Jacqueline PEYROUTET, Paul REY, Lydie TICHONICKY.

Nous adressons aux familles et aux amis des disparus nos condoléances les plus sincères.

ERRATUM : nous présentons toutes nos condoléances à notre adhérente Geneviève RIBOT, suite au décès de son mari, Bernard RIBOT.

Rayonnement du CNRS - Association des anciens et amis du CNRS (3A)

(Régie par la loi du 1^{er} juillet 1901)

Vous pouvez adhérer, soit en vous connectant sur le site internet : www.rayonnementducnrs.com soit en envoyant le bulletin ci-dessous rempli au secrétariat de l'Association.

Dans les deux cas, le chèque doit être envoyé par courrier postal.

DEMANDE D'ADHESION

A REMPLIR EN CAPITALES

NOM (M. Mme, Melle) :

PRENOM :

DATE DE NAISSANCE :

ADRESSE PERSONNELLE :

 Fixe et/ou Mobile (1) :

 Courriel :

Je suis retraité(e) J'exerce une activité professionnelle

- Agent ou ancien agent du CNRS, de l'Enseignement supérieur ou d'un organisme en relation avec le CNRS.
- Détaché(e), mis(e) à disposition en entreprise, ministère, EPST, EPIC, collectivités territoriales, locales... en France ou à l'étranger.
- Intéressé(e) par les développements scientifiques et techniques, en particulier par ceux conduits par le CNRS.

Dernière affectation : laboratoire, administration ou service :

DECLARE VOULOIR ADHERER A L'ASSOCIATION «RAYONNEMENT DU CNRS ASSOCIATION DES ANCIENS ET AMIS DU CNRS »

en tant que :

Membre individuel	: 25 Euros	<input type="checkbox"/> (cotisation annuelle)
Membre bienfaiteur	: 50 Euros (minimum)	<input type="checkbox"/> (cotisation annuelle)
Personnes morales	: 90 Euros (minimum)	<input type="checkbox"/> (cotisation annuelle)

Ci-joint chèque établi à l'ordre de «Rayonnement du CNRS»

Fait à le Signature

Les informations nominatives recueillies par l'intermédiaire de ce formulaire font l'objet d'un traitement informatisé. Conformément à la loi «informatique et liberté» (article 34) du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification des données vous concernant.

Toute nouvelle adhésion faite du 01/01 au 30/09 est valable pour l'année en cours. Toute nouvelle adhésion faite du 01/10 au 31/12 est valable pour l'année suivante.

Bulletin à renvoyer au Secrétariat de l'Association :

Pascale ZANEBONI A3 CNRS
 RAYONNEMENT DU CNRS Association des anciens et amis du CNRS
 CNRS Meudon-Bellevue - 1 Place Aristide Briand 92190 Meudon
 Tél. : 01.45.07.57.77 ou 57.78 - courriel : amis-cnrs@cnrs-dir.fr

Rayonnement du CNRS - Association des anciens et amis du CNRS (A3)

(régie par la loi du 1^{er} juillet 1901)

Vous pouvez compléter votre propre fiche en vous connectant sur le site : www.rayonnementducnrs.com

INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES AU BULLETIN D'ADHESION

Rappel :

NOM :

PRENOM :

N° D'ADHERENT :

NATIONALITE (facultatif) :

Catégorie : (Ch, Ech, IT, Industriel, autre (à préciser)) :

Fonction :

Pôles d'intérêt : Visites Conférences Voyages Animations scientifiques

Merci d'indiquer les activités auxquelles vous souhaiteriez apporter éventuellement votre collaboration

- Actions en régions
- Actions pédagogiques de sensibilisation à la science (journées de la science – lycées – collèges - grand public...)
- Communication
- Conférences
- Gestion financière ou comptable
- Informatique, site Internet, PAO
- Relations avec l'industrie
- Revue
- Secrétariat
- Visites
- Autres (à préciser)
- Clubs à l'étranger (à préciser)

Fait à le Signature

Les informations nominatives recueillies par l'intermédiaire de ce formulaire font l'objet d'un traitement informatisé. Conformément à la loi « informatique et liberté » (article 34) du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification des données vous concernant.

Bulletin à renvoyer au Secrétariat de l'Association :

Pascale ZANEBONI A3 CNRS

Rayonnement du CNRS - Association des anciens et amis du CNRS
CNRS Meudon-Bellevue - 1, Place Aristide Briand 92190 Meudon
Tél. : 01.45.07.57.77 ou 57.78 - courriel : amis-cnrs@cnrs-dir.fr

L'Association des Anciens et Amis du CNRS (A3)

Fondateurs : Pierre Jacquinot, Claude Fréjacques, Charles Gabriel, Pierre Bauchet, Jean-Baptiste Donnet.

Président d'honneur : Edmond Lisle

Conseil d'administration

Membre de droit : Alain Fuchs, Président du CNRS.

Membres élus : Roger Azria, Françoise Balestié, Fabrice Bonardi, Jean-Paul Caressa, Daniel Charnay, Elisabeth Giacobino, Alain Foucault, Liliane Gorrichon, Marc Goujon, Lysiane Huvé-Textier, Anne Jouve, Jean-Claude Lehmann, Véronique Machelon, Claudius Martray, Bernard Meunier, Danièle Olivier, Michel Petit, Philippe Pingand, Jean-Pierre Régnauld, Patrick Saubost, Shahira Shafie, Dominique Simon.

Membre extérieur : Zhan Wenlong, vice-président de l'Académie des sciences de Chine.

Bureau

Président : Michel Petit

Vice-président : Jean-Claude Lehmann

Vice-président adjoint : N.

Secrétaire générale : Lysiane Huvé-Textier

Secrétaire générale adjointe : Françoise Balestié

Trésorière : Anne Jouve

Chargé(e)s d'activités

Site internet A3 : <http://www.anciens-amis-cnrs.com>, Webmestre : Philippe Pingand

Communication / Relations avec la presse : Dominique Simon

Petits déjeuners de la science et de l'innovation : Marc Goujon

Relations avec l'industrie : Roger Azria, Jean-Claude Brochon, Marc Goujon, Roger Martin (PACA), Alain Menand (Grand Ouest)

Voyages : Annick Perillat et Solange Dupont

Conseillère pour les voyages auprès de la Présidence : Shahira Shafie

Représentants régionaux

- **Alpes-Dauphiné** : Christiane Bourguignon • **Alsace** : Lothaire Zilliox, Jean-Pierre Schwaab • **Aquitaine** : Philippe Pingand
- **Bretagne et Pays-de-Loire** : Patrick Saubost • **Centre-Est** : Bernard Maudinas • **Centre-Poitiers** : Serge Sapin
- **Centre-Val-de-Loire** : Paul Gille et Jean-Pierre Regnauld • **Côte-d'Azur** : François Rocca
- **Ile-de-France** : Dominique Ballutaud, Solange Lassalle, Véronique Machelon • **Languedoc-Roussillon** : Serge Rambal
- **Limousin-Auvergne** : Bernard Michel • **Rhône** : Bernard Ille • **Midi-Pyrénées** : Liliane Gorrichon
- **Nord-Pas-de-Calais et Picardie** : Jean-Claude Vanhoutte et Marc de Backer • **Provence** : Jean-Paul Caressa.

Membres d'honneur

Guy Aubert - Geneviève Berger - Catherine Bréchnignac - Edouard Brézin - Robert Chabbal -

Claude Cohen-Tannoudji, médaille d'Or CNRS, prix Nobel - Yves Coppens - Jacques Ducaing - Cléopâtre el Guindy - Serge Feneuille -

Albert Fert, médaille d'Or du CNRS, prix Nobel - Andrew Hamilton, Président de l'Université de New-York-

Nicole Le Douarin, médaille d'Or du CNRS - Jean-Marie Lehn, médaille d'Or du CNRS, prix Nobel - Henry de Lumley - Bernard Meunier -

Arnold Migus - Pierre Papon - Jean-Jacques Payan - Jean Tirole, médaille d'Or du CNRS, prix Nobel - Charles Townes, prix Nobel.

Rayonnement du CNRS a également eu l'honneur de compter parmi eux les grands scientifiques suivants, aujourd'hui disparus :

Maurice Allais, médaille d'Or du CNRS, prix Nobel - Baruj Benacerraf, prix Nobel - Christiane Desroches-Noblecourt, médaille d'Or

du CNRS - Jacques Friedel, médaille d'Or du CNRS - François Jacob, prix Nobel - François Kourilsky - Rudolph Mössbauer, prix Nobel -

Norman Ramsey, prix Nobel.

Dernières parutions

Magazine n° 66 - printemps 2015

L'oeuvre de Jean Tirole

De l'individu aux marchés mondialisés

Sciences de l'univers au CNRS

Le changement climatique

L'info-sphère

Le boson de Higgs

« A3 Magazine »

de la page blanche à votre boîte à lettres

Cahiers de l'Association

Régions, voyages, brèves



Magazine n° 67 - hiver 2015 - 2016

Hubert Curien,

Semper vivens

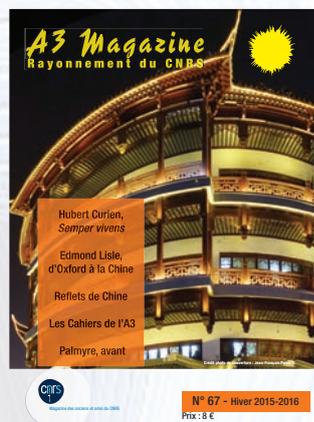
Edmond Lisle,

d'Oxford à la Chine

Reflets de Chine

Les Cahiers de l'A3

Palmyre, avant



La raison d'être de l'Association des Anciens et Amis du CNRS ?

La plupart de celles et ceux qui ont été des agents du CNRS ou plus généralement qui ont travaillé dans un laboratoire soutenu par cet organisme ont conservé un profond attachement envers notre institution internationalement reconnue. L'Association a été créée, en 1990, pour répondre à leur désir de conserver un lien avec cette dernière et leur permettre de continuer à œuvrer pour son rayonnement.

Ainsi, pour répondre à la première de ces missions, les adhérents reçoivent chez eux le Journal du CNRS et l'A3 Magazine de l'Association qui paraît trois fois par an. Dans les diverses régions ils ont l'occasion de se retrouver dans des assemblées annuelles ou lors de conférences ou de visites, ou encore lors de voyages en France et à l'étranger ouverts à tous les adhérents. Il a été récemment décidé que l'Assemblée générale annuelle se tiendra alternativement en région et à Paris. La première en région s'est tenue à Marseille en 2014 et la seconde à Rennes en 2016.

L'Association des anciens et amis du CNRS a pour deuxième mission de contribuer au rayonnement du CNRS. Dans ce cadre, à la demande des présidents et directeurs généraux de l'organisme, nous avons, par exemple, entrepris de soutenir le maintien de liens avec les étrangers qui, après un séjour en France de quelques mois ou de quelques années, sont retournés dans leur pays d'origine où ils occupent souvent des fonctions importantes. Pour cela, notre ambition est de maintenir un lien avec eux et de les faire adhérer dans la mesure du possible.

Enfin, diverses activités peuvent être menées dans le domaine de la sensibilisation à la science, lors de la Fête de la science par l'animation de stands aux heures où les chercheurs ne peuvent assurer une permanence, ou encore par des conférences de sensibilisation. Cette liste reste ouverte, toutes les suggestions des membres étant les bienvenues.

Michel Petit - Président de l'A3

Siège social :

CNRS Campus Gérard-Mégie - 3, rue Michel-Ange - 75794 Paris cedex 16

Siège administratif et secrétariat :

CNRS Meudon-Bellevue - 1, place Aristide-Briand - 92190 Meudon

Le secrétariat de l'Association est ouvert

Les lundis, mardis, jeudis de 9 h 30 à 12 h 30, et de 14 h à 17 h 30

Tél. : 01 45 07 57 77 ou 57 78 - Courriel : amis-cnrs@cnrs-dir.fr

Site web : <http://www.anciens-amis-cnrs.com>