

LA DERNIÈRE LEÇON DU PROFESSEUR JAVIER TEIXIDOR



Le **lundi 2 avril** dernier, M. Javier Teixidor, professeur titulaire de la chaire d'*Antiquités sémitiques* depuis 1995, a donné sa dernière leçon dans laquelle il a présenté une synthèse de son enseignement. Elle aurait pu s'intituler "Défense et illustration de l'orientalisme".

Durant son enseignement, M. Teixidor a développé les thèmes suivants :

- Aristote en syriaque : les philosophes de la Haute Mésopotamie au VI^e siècle.

- L'histoire de Palmyre.
- Les six jours de la création d'après la tradition syriaque.
- Des Araméens errants de la Bible aux tribus aramaisés de l'Arabie : permanences et emprunts.

La leçon terminale de M. Javier Teixidor sera publiée dans la collection des Leçons terminales du Collège de France.

PRIX CRAFOORD

Une réception, en présence de l'Ambassadeur de Suède, a été organisée le **15 mars 2001** en l'honneur du Professeur Alain Connes, titulaire de la chaire d'*Analyse et géométrie*.



L'Académie Royale des Sciences de Suède décernera le 26 septembre 2001, à Stockholm, le Prix Crafoord de Mathématiques à M. Alain Connes, pour ses travaux importants dans le domaine de la théorie des algèbres d'opérateurs et pour avoir été l'un des fondateurs de la géométrie non-commutative

biologiques fondamentales et la médecine.

Quelques titulaires des chaires de Biologie au Collège de France :

Victor Coste (1844-1873)
Etienne Wolff (1955-1974)
Alfred Jost (1974-1987)
Nicole Le Douarin (1988-2000)

Si la biologie du développement et la génétique sont aujourd'hui au cœur de la recherche en biologie, il en va de même de leur rôle dans nos sociétés. Qu'il s'agisse de clonage humain, d'aliments issus des techniques du génie génétique, de thérapie génique, de politiques de la santé, etc., les sciences biologiques ont

envahi nos vies d'une manière toute particulière, et fort différente des autres disciplines scientifiques ; elles remettent en cause la maladie, défient la mort, menacent nos mythes. La diffusion et l'interprétation de l'information biologique est aujourd'hui devenue un facteur clé du développement de nos sociétés, et le biologiste ne saurait plus n'être qu'un chercheur scientifique, il se doit aussi d'être un citoyen.



Don ZAGIER

a donné sa leçon inaugurale le 17 mai 2001. Sa chaire a été créée par l'Assemblée des Professeurs du 27 juin 1999 en remplacement de la chaire d'*Analyse mathématique des systèmes et de leur contrôle* de Jacques-Louis Lions.

Fonctions :

Depuis 1971, Don ZAGIER a été chercheur, d'abord à l'institut de recherches SFB de l'Université de Bonn, puis membre scientifique à l'Institut Max-Planck de Mathématiques à Bonn depuis sa fondation en 1984. Depuis 1995, il est un des directeurs de cet institut. Parallèlement à ces activités, il a occupé la chaire de Théorie des Nombres à l'Université de Maryland (USA) de 1979 à 1990, a été professeur de l'Université d'Utrecht (Pays-Bas) de 1990 à 2001 et par deux fois titulaire d'une chaire à l'Université de Kyushu (Japon), en 1990-1991 et 1992-1993.

Résumé de la leçon inaugurale :

La théorie des nombres est l'un des domaines les plus anciens de la mathématique. Déjà le mathématicien grec Diophante (vers 250 après J.-C.) a su poser des problèmes qu'on n'a pu résoudre que très récemment, voire qui ne sont pas encore résolus. Ces problèmes, qu'on appelle

THÉORIE DES NOMBRES

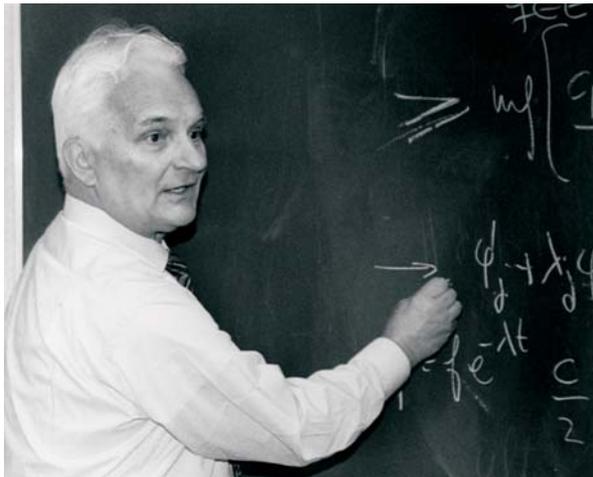
aujourd'hui les équations diophantiennes, sont des équations pour lesquelles il est demandé de trouver des solutions en nombre entiers ou rationnels (fractionnaires), le plus célèbre d'entre eux étant le "dernier théorème de Fermat" qui a été résolu récemment par Andrew Wiles.

L'outil qui s'est avéré le plus efficace dans ce champ de recherche est la théorie des "formes modulaires", théorie qui date du 19^e siècle et qui a connu un développement éclatant depuis une trentaine d'années. Ces formes modulaires sont des fonctions qui possèdent une infinité de symétries, tout comme les fonctions trigonométriques que l'on étudie à l'école et les fonctions elliptiques qu'utilisent les ingénieurs, mais ici d'un type beaucoup plus subtile. Le fait le plus étonnant dans ce domaine, c'est que l'on soit obligé de se servir de cette théorie si sophistiquée pour résoudre des problèmes aussi anciens et d'apparence aussi simple.

Parmi les différentes branches des mathématiques dites "pures", la théorie des nombres est dans un sens la "plus pure" de toutes : d'une part c'est le domaine le plus éloigné des applications concrètes en technologie et en sciences - bien que celles-ci existent, notamment, dans la cryptographie et la théorie des codes ; d'autre part les objets qu'elle étudie, à savoir les nombres entiers, sont les plus basiques, les moins "construits" de tous les objets étudiés par les mathématiciens.

Quelques titulaires des chaires de Mathématiques au Collège de France :

Antoine-Rémy Maudit (1770-1815)
Silvestre-François Lacroix (1815-1843)
Guillaume Libri-Carruci (1843-1848)
Joseph Liouville (1851-1882)
Camille Jordan (1883-1912)
Georges Humbert (1912-1921)
Henri Lebesgue (1921-1941)
Szolem Mandelbrojt (1938-1972)
Jean Leray (1947-1978)
Jean-Pierre Serre (1956-1994)
Jacques-Louis Lions (1973-1998)
Jacques Tits (1973-2000)
Alain Connes (1988-)
Jean-Christophe Yoccoz (1995-)



Jacques-Louis Lions, titulaire de la chaire d'Analyse mathématique des systèmes et de leur contrôle de 1973 à 1998.

À Jacques-Louis Lions

par Jean-Christophe Yoccoz
Professeur

Jacques-Louis Lions nous a quittés le 17 mai 2001. Quelques semaines avant sa mort, il était encore impossible, devant l'extraordinaire vitalité avec laquelle il poursuivait ses multiples centres d'intérêt, de deviner la maladie cruelle qui le rongait. Il était de ces hommes dont les journées semblent avoir 48 heures, dont on pense, pour les avoir côtoyés plusieurs années, connaître l'essentiel des activités, mais dont on découvre ensuite que des pans entiers de leur personnalité scientifique nous étaient inconnus. Théoricien hors pair des équations aux dérivées partielles, père de l'École française de mathématiques appliquées, incarnation des relations des mathématiques avec l'industrie, promoteur incessant de nouveaux centres scientifiques et mathématiques, il était tout cela et bien d'autres choses encore...

Jacques-Louis Lions est né à Grasse, le 2 mai 1928. Son père fut pendant une trentaine d'année Maire de cette capitale des parfums ; Jacques-Louis conservera toute sa vie un attachement profond à cette ville et à sa région.

Avant d'avoir 16 ans, il rejoint la Résistance dans les rangs des FFI ; c'est là qu'il rencontre Andrée, qui deviendra sa compagne et son épouse. Leur fils Pierre-Louis a suivi la trace de son père et obtenu en 1994 la médaille Fields.

Après la guerre, ses études secondaires terminées, il étudie un an à l'Université de Nice puis passe avec succès le concours d'entrée à l'École Normale Supérieure en 1947.

À la sortie de l'École Normale, il est recruté par le CNRS et commence à travailler, en même temps que Bernard Malgrange qui fut son condisciple à la rue d'Ulm, sous la direction de Laurent Schwartz à Nancy. Celui-ci avait quelques années auparavant développé la théorie des distributions (qui lui valut la médaille Fields en 1950). Jacques-Louis Lions sera un des premiers à faire un usage systématique de cet outil puissant dans l'étude des équations aux dérivées partielles.

En 1954, il soutient sa thèse d'état et est nommé Professeur à l'Université de Nancy. Il y restera jusqu'en 1962, date à laquelle il rejoint l'Université de Paris. De cette époque date la naissance d'un Séminaire d'Analyse Numérique, sis au sous-sol de l'Institut Henri Poincaré, puis à l'Institut Blaise Pascal, séminaire qui contribuera de façon décisive à l'éclosion d'une école française de mathématiques appliquées. En 1973, le Collège de France crée pour lui une chaire d'«Analyse mathématique des systèmes et de leur contrôle», et l'Académie des Sciences l'accueille en son sein. Parallèlement, il est de 1966 à 1986, Professeur d'«Analyse Numérique» à l'École Polytechnique, dont nombre de ses étudiants seront issus.

Il avait été dans la fin des années 60 directeur scientifique de l'Institut de Recherche en Informatique et Automatique. Il sera de 1980 à 1984 le premier directeur de l'INRIA (N pour national) et modèlera en profondeur le devenir de cet institut. En 1984, il succède à Hubert Curien au Centre

National d'Études Spatiales ; ses deux mandats de 4 ans à la tête du CNES verront le lancement de programmes importants tels qu'Ariane 4, Ariane 5 ou Topex-Poséidon, programme franco-américain d'océanographie qui contribuera fortement à l'étude d'El Nino.

En même temps, il est secrétaire de l'Union Internationale des Mathématiciens de 1978 à 1990, puis en est le président de 1991 à 1994, période pendant laquelle il lancera l'idée de faire de 2000 l'Année mondiale des mathématiques. En 1997 il est élu président de l'Académie des Sciences ; il jouera alors un rôle crucial dans la création d'une Académie des Technologies. Il présida les Conseils Scientifiques de Pechiney, Gaz de France, Électricité de France, France Telecom et la Météorologie Nationale, exerça des responsabilités à un niveau élevé chez Elf, Dassault-Aviation, Dassault-Systems, Saint-Gobain et Thomson Multimedia.

Il était Commandeur de la Légion d'Honneur, Grand Officier de l'Ordre National du Mérite, membre de 22 académies étrangères et Docteur Honoris Causa de 19 universités. Trois fois invité au Congrès international des Mathématiciens, il avait reçu, parmi de nombreuses autres récompenses, le prix John Von Neumann en 1986 et le prix du Japon en 1991.

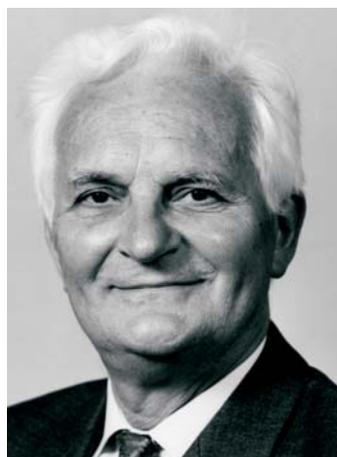
Jacques-Louis Lions fut aussi un voyageur infatigable. Il conservera toute sa vie des liens très forts avec l'Italie et l'Espagne, mais sera aussi pionnier vers

des destinations à l'époque plus exotiques. Dès 1957, il passe ainsi 3 mois au Tata Institute de Bombay, et contribuera 20 ans plus tard à la naissance d'une branche appliquée de cet Institut à Bangalore. Il effectue à partir de 1966 une série de voyages en Union Soviétique qui se traduiront par des relations scientifiques fortes et durables. Son premier voyage en Chine date de 1975 et il participera en 1997 à la création d'un Laboratoire franco-chinois d'informatique, d'Automatique et de Mathématiques Appliquées à Beijing, puis d'un Institut sino-français de Mathématiques Appliquées à Shanghai. Il a consacré, en liaison avec l'Académie des Sciences du Tiers Monde, des efforts importants au développement des mathématiques dans les pays pauvres et en particulier en Afrique.

Son œuvre scientifique est d'une ampleur considérable. Il est auteur ou co-auteur d'environ 600 articles et de vingt livres, dont plusieurs constituent des références incontournables. Ses travaux portent sur toutes les modalités d'études des équations aux dérivées partielles : existence et unicité des solutions, calcul numérique de ces mêmes solutions, homogénéisation, contrôle...

Très tôt, sous l'influence du séminaire Leray au Collège de France, il s'intéresse aux équations de la mécanique des Fluides ; il prouve l'unicité des solutions faibles des équations de Navier-Stokes incompressibles en dimension 2 d'espace, en même temps que Giovanni Prodi. Dans les mêmes années commence une collaboration durable avec des mathématiciens de l'école italienne, Enrico Magenes, Guido Stampacchia, Ennio de Giorgi, Giovanni Prodi sur les problèmes aux limites non homogènes, qui aboutira en 1968 à la publication d'un livre en trois volumes sur ce sujet avec Enrico Magenes. En connexion avec ces problèmes, il développe avec Peetre une théorie de l'interpolation entre espaces de Banach et étudie les espaces de Sobolev fractionnaires.

Avec Laurent Schwartz et Jean Leray, c'est certainement John Von Neumann qui exerça une influence déterminante sur la démarche scientifique de Jacques-Louis Lions. Lions sera en effet le premier en France à percevoir à quel point l'existence d'ordinateurs puissants ouvre de nouveaux champs à la recherche mathématique. Avec ses élèves, il va entreprendre l'analyse des méthodes dites d'éléments finis, et montrer la pertinence des formulations variationnelles pour ces problèmes. Lors de l'éclatement de l'Université de Paris, il rejoint l'université Paris 6, et y crée un laboratoire d'Analyse Numérique



qui a été le premier et reste le principal centre de recherches en France dans cette branche des mathématiques. Ce laboratoire porte aujourd'hui son nom. La plupart des mathématiciens français dans ce domaine sont descendants scientifiques de Jacques-Louis Lions ; il a lui-même dirigé une cinquantaine de thèses. Il ne perd pas pour autant sa curiosité pour les questions plus théoriques, développant les méthodes de compacité de monotonie (avec Jean Leray) et de régularisation-pénalisation, méthodes qui sont au centre d'un livre «*Quelques Méthodes de Résolution de Problèmes aux limites non linéaires*» paru en 1969.

La théorie du contrôle

A partir des années 1960 apparaît un autre thème majeur de son œuvre scientifique, la théorie du contrôle : il

s'agit, dans un système gouverné par une équation différentielle ou aux dérivées partielles, de contrôler l'évolution du système en agissant sur quelques paramètres accessibles. Il est l'auteur de très nombreux travaux fondamentaux sur ce sujet qu'il traitera aussi bien sous ses aspects théoriques que numériques. Il aimait citer John Von Neumann à propos de météorologie : «il est plus facile de contrôler le temps qu'il fait que de le prédire», pour illustrer le rôle des instabilités dans ces questions. La climatologie, ou du moins les problèmes mathématiques qui en sont issus, est d'ailleurs à partir de 1990 un autre de ses centres d'intérêt ; il établit avec Roger Temam et Shouhong Wang l'existence d'attracteurs dans des modèles extrêmement complexes qui marient thermodynamique et mécanique des fluides.

Il faudrait encore mentionner d'autres directions, comme son ouvrage «*Asymptotic Analysis of Periodic Structures*» de 1978 avec Bensoussan et Papanicolaou où sont jetées les bases de la théorie de l'homogénéisation. Avec Robert Dautray, il coordonne la publication d'un monumental ouvrage de 4000 pages en neuf volumes : «*Analyse mathématique et calcul numérique pour les Sciences et les Techniques*» qui paraîtra à partir de 1984.

Doté d'une puissance de travail exceptionnelle, mais aussi d'un sens de l'humour qu'il savait utiliser à bon escient, il fut un professeur brillant, un maître toujours accessible et à l'écoute de ses nombreux élèves, un scientifique visionnaire, un organisateur hors pair, mais avant tout un homme simple et chaleureux que collègues, élèves, amis garderont toujours en leur mémoire.

Du 1^{er} au 5 juillet 200
au Collège de France :
Congrès de Mathématiques
appliquées
à la mémoire de
Jacques-Louis Lions

CONGRÈS DE MATHÉMATIQUES APPLIQUÉES EN L'HONNEUR DE JACQUES-LOUIS LIONS

Extraits du discours prononcé par Robert Dautray le 1^{er} juillet 2002 en hommage à Jacques-Louis Lions.



M. Robert Dautray

«Chers Amis,

Permettez-moi de ne pas faire une narration construite, elle vous montrera une autre voie vers Jacques-Louis Lions, que lui-même avait acceptée de moi et bien perçue.

Lions était infiniment prudent, circonspect et observateur dans les milieux dirigeants parisiens non scientifiques, étrangers à sa jeunesse. Par exemple, quand il s'agissait de proposer une nouvelle personne pour un conseil scientifique, il l'évoquait lors d'une autre occasion et évaluait les silences comme des désapprobations éventuelles devinant les querelles d'organismes.

Lorsque nous nous quittons, il me disait toujours : «la situation est sous contrôle». Il avait confiance fondamentalement dans les hommes de science qu'il avait vu à l'œuvre, et dans la vie, ayant rencontré et gardé comme amis de toute la vie tant de personnalités exceptionnelles attachantes de tous les continents. (...)

(...) D'une montée en très haute altitude chez les anciens Incas, lors d'une réunion mathématique au Pérou où il était avec Dieudonné, il me décrivait l'action de l'altitude chez Dieudonné, bientôt prostré et sur lui-même. Mais surtout le malheur de ces paysans des sommets, adaptés à ces seules altitudes, et donc, à l'inverse, incapables de

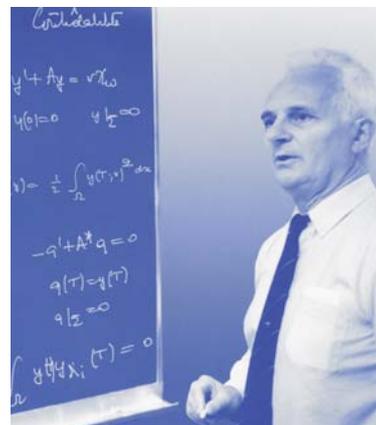
descendre sur la côte, piégés pour toute leur existence dans cette survie de chaque jour, infiniment difficile. Lions était un homme de compassion : il savait que notre monde est vaste et terrible. Tous ses élèves ici présent le savent. Chacun m'a dit de ceci ou de cela : «c'est mon dernier cadeau de Lions», comme Chateaubriand disant d'une femme aimée «Mon dernier sourire sera pour vous». (...)

(...) Au plus fort de la pression en Europe de l'Est, Lions réussit, en prenant tous les risques, lors d'un congrès de mathématiques en Finlande, à faire traverser les contrôles et à amener jusqu'à l'avion de ligne occidental, un mathématicien roumain qui voulait fuir la tyrannie *Ceaucescu* qui le privait de sa dignité humaine. Lions était un homme courageux. Il l'avait démontré pendant l'occupation allemande, résistant armé à moins de 16 ans.

Pour chacun des mathématiciens qu'il connaissait, qui pour une raison ou une autre, était en détresse morale, Lions était l'homme qui leur permettait de reprendre confiance en eux et en la vie, en sentant son intérêt pour eux, sa confiance et son appui moral et concret. Lions était un homme de justice, de générosité et aussi de pardon. « Un scientifique veut être identifié et reconnu » me disait Lions. (...)

(...) Au début de nos relations scientifiques, à chaque problème physique que je lui soumettais, il disait : «Ah, ces physiciens !!». Mais progressivement, il se faisait expliquer le phénomène physique lui-même, voyait d'emblée les points importants de la modélisation, proposant alors d'autres modélisations pour mieux traiter le problème mathématique. (...)

(...) Sa nomination au CNES, due à la lucidité, au jugement et à l'action de Hubert Curien, fut rapidement pour lui une grande joie scientifique et une nouvelle jeunesse intellectuelle. Il y parlait science et technique à chacun, du ton non pas d'un Président ou d'un



M. Jacques-Louis Lions

savant apprécié, mais comme un collègue. Il s'y fit des amitiés de toute la vie, qui marquèrent profondément ces personnes. (...)

(...) Lions regardait au CNES les problèmes de chacun et voyait tant les orientations fécondes, que les problèmes mathématiques à traiter, comme l'attachement de structures flexibles sur des objets rigides avec leur contrôle, des problèmes de combustion pour les lanceurs, que de nouvelles catégories de problèmes de contrôle. (...)

(...) D'où tirait-il son équilibre, sa sérénité, sa tranquillité, son humour, c'est-à-dire sa distance vis-à-vis des événements ? De son génie bien sûr et de son courage à en assumer les obstacles.

Né en 1928, Robert Dautray est membre de l'Institut (Académie des Sciences) et membre du Comité des Sages.

Parmi ses importantes fonctions, citons :

- Directeur du programme grand laser Phébus au Commissariat à l'Énergie Atomique ;
- Directeur scientifique puis Ancien haut commissaire à l'Énergie atomique.

Toutefois la force qui émanait de lui s'appuyait sur sa vie familiale : de son épouse, compagne de sa jeunesse, de son fils, qu'il aimait tellement que c'était pour lui un accomplissement principal de sa vie, se mettant au poste d'admiration pour ne pas l'influencer, amour que ce fils lui retournait dans une communion profonde du père et du fils.

À tous, sa famille, ses élèves devenus ses collègues, ses amis ici



Mme Claudie Haigneré, *Ministre déléguée à la Recherche et aux Nouvelles Technologies*

rassemblés, je dis : «Dans le fond de notre dérégulation («état de l'homme qui se sent abandonné, privé de tout secours divin» dictionnaire Robert), peu à peu, le creux de notre plaie de l'absence de Jacques-Louis Lions, se remplit d'une substance que je ne saurais qualifier, un mélange de vide, d'abîme, de mystère, de regret et de nostalgie déchirants, d'impossibilité de le concevoir et de l'admettre, mais aussi d'accomplissement calme et durable sous forme de douloureuse reconnaissance de cette vie si féconde qu'il a eue, si accomplie, où il nous a inclus, pleinement, unis à sa famille, ses maîtres, ses collègues, ses élèves et la génération de leurs élèves et à ses amis, douloureuse reconnaissance si totale, que cela ne peut se dire, ni se communiquer et même s'écrire.

Mais chacun de nous le ressent dans son cœur.

Reconnaissance pour ce qui est arrivé. Il a vécu parmi nous.

Nous savons que chaque jour, sereinement, avec confiance et liberté, plein de connivence avec nous, Jacques-Louis Lions est, pour sa famille, pour ses élèves devenus ses collègues et ses amis, pour nous tous rassemblés ici, notre partie la plus intime, la plus vivante.»



M. Pierre-Louis Lions et M. Jean-Christophe Yoccoz, *Professeur*

ORIGINE ET ÉVOLUTION DES LANGUES : APPROCHES, MODÈLES, PARADIGMES

Ce colloque qui s'est tenu au Collège de France, les 26 et 27 septembre 2002, a été proposé en étroite collaboration avec le programme «origine de l'homme, du langage et des langues (OHLL)» du CNRS.

Les recherches sur les origines de l'homme ont été spectaculairement relancées depuis une dizaine d'années, tandis qu'un certain nombre par les travaux d'équipes de généticiens, de linguistes, d'anthropologues et d'archéologues, qui ont abouti à la proposition d'un nouveau modèle d'ensemble.

Selon ce modèle, parfois qualifié de *Nouvelle Synthèse*, l'homme moderne, à l'issue d'un "goulot d'étranglement" biologique, serait apparu entre 200 000 et 100 000 ans avant notre ère, sans doute en Afrique orientale, à partir d'évolutions locales de l'*Homo erectus*. Au nombre de quelques milliers, les individus composant ce type humain, aux performances psychomotrices identiques aux nôtres, se seraient ensuite répandus dans l'ensemble de l'Ancien, puis du Nouveau Monde, dispersant ainsi leurs gènes, mais aussi leurs langues.

Avec leurs méthodes propres, et à partir des langues et des gènes actuels, certains courants de la génétique des populations et de la linguistique typologique sont ainsi parvenus à proposer une reconstitution des arbres généalogiques respectifs des langues et des gènes de l'ensemble de l'humanité, tandis qu'un certain nombre d'archéologues proposaient de corréliser ces arbres avec des migrations préhistoriques, attestées notamment lors de la diffusion de l'agriculture au cours du néolithique.

Si cette *nouvelle synthèse* occupe aujourd'hui le devant de la scène épistémologique, on ne saurait oublier que les questions liées à l'origine et l'évolution de l'homme et des langues ont suscité au cours de l'histoire scientifique récente un grand nombre d'hypothèses, de modèles et de paradigmes variés, depuis les modèles de la linguistique aréale jusqu'aux modèles de mélange de langues en passant par les modèles de diffusion ondulatoire.

L'objectif de ce colloque international a été de confronter, sur



M. Luigi L. Cavalli-Sforza (Stanford) est intervenu sur le sujet suivant : «*Relationships between genetic evolution and evolution of languages*»

chacun de ces terrains scientifiques, les différentes hypothèses et les différents modèles proposés pour rendre compte de l'origine et de l'évolution des langues. La présence conjointe de linguistes, d'anthropologues, d'archéologues, de généticiens et de spécialistes des sciences cognitives de renommée internationale a permis d'aborder ce débat dans toute son ampleur et de rendre compte de la diversité des positions défendues, tout en montrant l'existence de nombreuses convergences disciplinaires et interdisciplinaires.

HENRIK ABEL, AUJOURD'HUI

Le bicentenaire de la naissance du grand mathématicien norvégien Niels Henrik ABEL (1802-1829) a donné lieu à plusieurs initiatives importantes prises par ses compatriotes. Ils ont organisé en particulier un grand colloque international dédié à la mémoire d'Abel qui s'est tenu à Oslo en juin 2002.

Au cours de ce colloque la création d'un prix annuel de mathématiques, le "prix Abel", a été annoncée. Ce prix sera décerné à la même date que le prix Nobel de la paix et devrait pallier à l'absence d'un prix Nobel en mathématiques.

Les mathématiciens norvégiens ont également décerné à l'occasion du bicentenaire d'Abel, dix doctorats Honoris Causa de l'Université d'Oslo à des mathématiciens mondialement reconnus pour leurs travaux. Parmi eux se trouve Jean-Pierre Serre, professeur au Collège de France dès l'âge de 29 ans. En conjonction avec la remise du doctorat de M. Serre, le Collège de France et l'Ambassade de Norvège

ont organisé un colloque en l'honneur d'Abel et Serre. Les trois exposés de l'après-midi du 26 novembre 2002 ont chacun montré une facette de l'éclatante aventure mathématique de Niels Abel. La conférence de G. Ellingsrud a bien montré, documents à l'appui, les difficultés d'Abel dans son séjour à Paris pour pouvoir faire connaître ses découvertes dans le cercle très fermé des mathématiciens français de l'époque. Les exposés de J.-B. Bost et J.-F. Mestre ont mis en évidence l'influence toujours si présente des idées d'Abel et ont montré les liens étroits qui les relient avec deux thèmes principaux de l'œuvre de



J.-P. Serre : la symbiose entre la géométrie analytique et la géométrie algébrique, et le lien entre fonctions elliptiques et la théorie "de Galois" (largement anticipée par Abel).

La cérémonie de nomination de J.-P. Serre comme docteur Honoris Causa de l'Université d'Oslo, qui a eu lieu en présence de Rolf T. Andersen, Ambassadeur de Norvège et de J. Glowinski, Administrateur du Collège de France, fut sobre et émouvante. Mme Anne-Brit Kolstø, vice-présidente de l'Université d'Oslo, en toge académique, a évoqué les activités et les projets de cette université et l'importance

d'Abel comme source d'inspiration pour les jeunes scientifiques norvégiens, et a ensuite présenté l'œuvre de J.-P. Serre. Celui-ci, invité à s'exprimer après la remise de son diplôme a expliqué, dans son style inimitable, qu'il était difficile au récipiendaire d'un tel honneur de répondre puisqu'on n'avait à cette occasion que le choix entre critiquer les éloges que l'on venait d'entendre et

les approuver, ce qui est pire...

La cérémonie a été suivie par une réception offerte par l'ambassadeur de Norvège dans les salons du Collège de France. ■

Alain Connes et Don Zagier
Professeurs

Niels Henrik Abel
1802-1829

Né le 5 août 1802 à Finnøy (Norvège)

1818 : Ses aptitudes en mathématiques se révèlent, il est qualifié de «génie des mathématiques»

1821 : Début des études universitaires

1823 : Première publications de ses travaux

1826 : Il envoie son mémoire à l'Institut de France

1827 : Perte de son mémoire

1828 : Nommé professeur à la Haute École Militaire, puis à l'Université.

1829 : Il rédige les grandes théories de son «mémoire parisien», le sauvant pour la science, et meurt le 6 avril, à l'âge de 26 ans.



Pr. Jean-Pierre Serre, titulaire de la chaire *Algèbre et géométrie*, de 1956 à 1994.



M. Rolf T. Andersen, *Ambassadeur de Norvège en France* et Mme Anne-Brit Kolstø, *Vice-Présidente de l'Université d'Oslo*



Mme Anne-Brit Kolstø, *Vice-Présidente de l'Université d'Oslo* et le Pr. Jean-Pierre Serre

ÉQUATIONS AUX DÉRIVÉES PARTIELLES ET APPLICATIONS



Membre de l'Académie des Sciences, Médaille Fields (1994), il est à l'origine de la théorie des solutions de viscosité dont les applications vont du traitement d'images à la finance.

Pierre-Louis LIONS

a donné sa leçon inaugurale le 22 mai 2003. Sa chaire a été créée par l'Assemblée des Professeurs du 25 novembre 2001 en remplacement de la chaire d'*Antiquités sémitiques* de Javier Teixidor.

Résumé de la leçon inaugurale :

En quelques décennies, les simulations numériques sont devenues un outil privilégié d'investigation dans les sciences et les technologies. Elles ont pour but de reproduire par le calcul le comportement d'un système décrit par un modèle, très souvent constitué d'équations aux dérivées partielles. Ces équations correspondent à la traduction mathématique de lois scientifiques. L'essor des simulations numériques renforce donc la nécessité de l'étude mathématique (analyse) de ces équations et de leur résolution numérique.

Rendues possibles par les ordinateurs modernes, inventés précisément pour effectuer de telles simulations, les simulations numériques permettent aujourd'hui d'étudier des systèmes complexes et d'observer des phénomènes ou des situations inaccessibles ou difficilement accessibles à l'expérience.

Pour reproduire ou prédire par le calcul le comportement d'un système, il est nécessaire de décrire ce système par un modèle. Traductions mathématiques de lois ou principes, les modèles utilisés dans de nombreux domaines scientifiques (physique, chimie, mécanique, météorologie, sciences de l'ingénieur, finance...) et secteurs industriels

(aéronautique, spatial, automobile, nucléaire...) sont constitués (ou incorporent) d'équations aux dérivées partielles. Une simulation numérique consiste donc à «résoudre ces équations» grâce aux ordinateurs.

Pour effectuer une simulation, il est nécessaire de définir le problème qui doit être résolu par l'ordinateur (problème dit discrétisé), ainsi que la manière appelée algorithme ou méthode numérique dont la

machine effectuera les calculs. La discrétisation des équations aux dérivées partielles est en effet indispensable car les inconnues, dont les valeurs numériques sont à déterminer grâce aux simulations, sont a priori en nombre infini.

L'étude mathématique ou analyse mathématique, de ces équations permet d'aborder systématiquement les questions de discrétisation et d'algorithmes. Elle a, en outre, pour ambition d'étudier la validité des modèles à travers la découverte de propriétés satisfaites par les solutions des équations, ces propriétés pouvant être confrontées aux phénomènes réels.

Cependant, l'analyse mathématique des équations aux dérivées partielles est souvent délicate en raison des phénomènes non linéaires présents dans la plupart des modèles réalistes. ■

Quelques titulaires :

Sylvestre-François Lacroix (1815-1843)

Mathématiques

Joseph Serret (1861-1885)

Mécanique céleste

Szolem Mandelbrojt (1938-1972)

Mathématique et mécanique

Jacques-Louis Lions (1973-1998)

Analyse mathématique des systèmes et de leur contrôle

Texte intégral de la leçon inaugurale disponible prochainement et en vidéo, co-production Collège de France/CNED

HISTOIRE TURQUE ET OTTOMANE



Pr. Gilles Veinstein

La deuxième journée des études turques

La chaire d'Histoire turque et ottomane et l'UMR 80 32, «Études turques et ottomanes» (CNRS, EHESS, CDF) ont organisé pour la deuxième fois une «journée des études turques», destinée à l'information et la confrontation des spécialistes, mais aussi à sensibiliser un public plus large aux résultats, aux questionnements et aux perspectives de ce domaine d'études dans notre pays.

Cette manifestation s'est tenue cette année dans les locaux de l'École des hautes études en sciences sociales, 54 et 105 boulevard Raspail, Paris VI^e, le 29 avril, de 9h15 à 18h.

Trois sessions figuraient au programme. La première, intitulée «faire des recherches en Asie centrale», a donné la parole à quatre jeunes chercheurs, doctorants ou post-doctorants, travaillant sur cette zone, qui ont évoqué les conditions de travail qu'ils ont rencontrées et ont proposé un aperçu de leur thème d'études et des

résultats obtenus.

La deuxième session a fait le point sur un certain nombre de recherches menées actuellement dans le cadre de l'UMR d'études turques : une enquête sur le vocabulaire politique dans le domaine turc ; une réflexion sur la place des Balkans dans le cadre des études turques et ottomanes ; un bilan des recherches sur la mort et les pratiques funéraires dans l'Empire ottoman.

La troisième session a réuni huit spécialistes et observateurs extérieurs sur un thème qui rejoint certaines interrogations fort actuelles : «l'histoire ottomane : une histoire européenne» ?

En fin de journée a été inaugurée, dans le hall du 54 boulevard Raspail, une exposition, organisée avec le concours de l'association ELELE, dédiée aux «Pratiques funéraires ottomanes». ■

PRIX ABEL



Le prix Abel 2003 de l'Académie des Lettres et Sciences de Norvège, a été décerné à M. Jean-Pierre Serre, professeur honoraire, titulaire de la chaire d'*Algèbre et géométrie* de 1956 à 1994, pour «son rôle central dans l'élaboration de la

forme moderne de nombreux domaines des mathématiques, notamment la topologie, la géométrie algébrique et la théorie des nombres».

M. Jean-Pierre Serre a reçu ce prix à Oslo, le 3 juin dernier, des mains du roi Harald V de Norvège.

Une cérémonie en l'honneur de M. Serre a été organisée au Collège de France, le 16 juin dernier, en présence de M. Rolf T. Andersen, Ambassadeur de

Norvège en France et de Mme Claudie Haigneré, Ministre déléguée à la recherche et aux nouvelles technologies. ■



Pr. Jean-Pierre Serre, Mme Claudie Haigneré et M. Rolf T. Andersen.

LA FONDATION HUGOT DU COLLÈGE DE FRANCE

par M. Jean Bachelot

Un lieu unique, des activités multiples

Voici bientôt vingt-six ans, l'Assemblée des Professeurs du Collège de France décidait à l'unanimité de créer une fondation dite «Fondation Hugot du Collège de France» consacrée, conformément aux intentions de ses bienfaiteurs, Hélène et Jean-Pierre Hugot, à favoriser au mieux de ses moyens et en étroite accord avec le Collège de France, «la rencontre de diverses disciplines qui œuvrent à la connaissance, à la formation et à l'épanouissement de l'homme, le rapprochement, par delà toutes les frontières, des meilleurs esprits animés de ce même souci.»

Pour ce faire, la Fondation s'efforce de développer toutes études, recherches et activités ayant un double caractère à la fois humaniste et pluridisciplinaire.

Le Conseil d'État, par décret, deux ans après, faisait droit à la demande de l'Assemblée, reconnaissant comme établissement d'utilité publique autonome ladite Fondation.

Depuis lors, celle-ci a géré les biens mobiliers et immobiliers qui lui étaient ainsi confiés, organisé de très nombreux colloques, réunions et débats scientifiques, aidé à des recherches particulières des chaires et des laboratoires, accueilli, chaque année, dans l'immeuble légué du 11 rue de l'Université, des savants étrangers pendant la durée de leur enseignement au Collège et soutenu financièrement des activités scientifiques propres au Collège, chaires, laboratoires et bibliothèques, permettant ainsi, entièrement ou pour partie, des publications qui, sans cette aide, auraient difficilement pu voir le jour.

La répartition de ces aides et la gestion des biens de la Fondation sont assurés par un Conseil d'administration de douze membres, dont sept sont professeurs au Collège, deux membres issus des grands corps de l'État et trois personnalités désignées par le Conseil. L'Administrateur du Collège est, de droit, Président de la Fondation.

Tout cela a été possible grâce au legs reçu d'Hélène et Jean-Pierre Hugot qui par testament semblable, consacraient leur fortune, pour moitié, à l'Institut de France et au Collège de France.



André Citroën

La Fondation Hugot sous la neige.
(janvier 2003)

D'une entreprise familiale à un patrimoine national

Généreux mécènes et fervents humanistes, Hélène et Jean-Pierre Hugot, célibataires sans succession directe ou proche, tenaient formellement à l'anonymat et à la discrétion absolue de leurs donations. Avec la même discrétion et la même générosité, ils ont enrichi les collections de plusieurs musées ou institutions en léguant meubles et objets d'art qui ornaient leurs magnifiques propriétés. (Un rapide catalogue des bénéficiaires de leur générosité est édifiant : le musée du Louvre, département de peintures et cabinet des dessins, le musée d'Orsay, le musée des Arts décoratifs – pour une part très abondante –, et sa bibliothèque, le musée Guimet, le musée Carnavalet, la Bibliothèque nationale de France, cabinet des Estampes, la Direction de

l'Architecture au Ministère des Affaires culturelles, pour remeubler des châteaux restaurés et ouverts au public, le musée national de la Céramique, à Sèvres et le musée Adrien-Dubouché à Limoges, le musée du Costume à Galliera, le château de Versailles, le Conservatoire national de Musique de Paris. Tous les objets légués avaient été reconnus et acceptés, du vivant des Hugot, à leur invitation, par les différents conservateurs et responsables. «On liquide et on s'en va...», leur disait Jean-Pierre Hugot, en rappelant son âge.

Issu d'une famille aisée, ingénieur de l'École centrale, Jean-Pierre Hugot était fort doué pour la musique : élève de Vincent d'Indy à la Schola Cantorum, il hésitait à suivre ses goûts. Mais il fut bientôt contraint de reprendre les activités industrielles familiales dont voici l'histoire : Guillaume Daudé, officier de santé, chirurgien, (il était celui-là même qui, en voisin, devait constater la mort de Marat, assassiné dans sa baignoire par Charlotte Corday en 1793) avait servi dans les armées napoléoniennes. Au cours de la campagne de Russie, il avait vu périr de gelure un grand nombre de soldats, pris dans des souliers durcis par le froid. À son retour en France, il inventa les «œillettes métalliques» qui permettaient de passer un lacet librement et d'enlever aisément les chaussures pour intervenir médicalement sur des chairs menacées de gangrène et d'amputation. Aux œillettes métalliques, de nombreux brevets ajoutèrent de nouvelles inventions, crochets métalliques, boutons métalliques, rivets tubulaires et tous autres éléments de métal servant en particulier à l'industrie et aux équipements électriques. Ce qui explique le développement considérable de l'entreprise familiale qui attirait une nombreuse clientèle au-delà des frontières et fit la fortune de cette famille.

Histoire discrète de deux mécènes généreux et fervents humanistes

Orphelin à 18 ans, Jean-Pierre Hugot héritait avec son frère et sa sœur de l'entreprise Gobin-Daudé et du patrimoine paternel. Il prit alors la direction de l'entreprise familiale et donna à cette activité industrielle un considérable développement d'activité et de clientèle internationale.

Deux périodes interrompirent son travail acharné, les deux guerres 14-18 et 39-45 ; à la première, il s'illustra en particulier en 1914, 1917 et 1918, tout au long de la bataille de Verdun comme lieutenant puis capitaine d'artillerie, cité à plusieurs reprises à l'ordre de l'armée pour son courage, ses initiatives et son dévouement auprès de ses hommes blessés. Il en revint avec une grave atteinte dans ses capacités d'audition ; ce qui va être la grande épreuve dans sa passion et son exercice de la musique. Il fut titulaire de la croix de guerre avec palmes et étoiles, et de la Légion d'Honneur.

Démobilisé, le voilà rendu en partie infirme par ces tirs d'artillerie de longs mois durant et plus encore bouleversé par un monde effondré, la démolition de tout un patrimoine de notre civilisation ; il pense abandonner toute activité professionnelle et se mettre au service de la collectivité. Il propose au Secrétariat aux Beaux-Arts d'organiser avec l'appui officiel de l'État et grâce à sa propre fortune, des équipes de jeunes chercheurs, passionnés d'art, qui sillonnaient la France, équipés par ses soins d'appareils photographiques, de laboratoires de développement et de toute possibilité de documentation. Et ce, afin de dresser comme un inventaire monumental et des œuvres d'art, ainsi que de fixer l'image des richesses naturelles, autant qu'intellectuelles du pays. L'accueil fut décevant ; certes il fut écouté en haut lieu, mais aussitôt découragé : « Sans doute, cela a été déjà fait », répondit-il troublé, à quoi le Secrétaire d'État aux Beaux-Arts de lui répondre en levant les bras : « Mais non, jeune homme, tout reste à faire ! ». Mais aucune suite, aucun espoir ne lui fut donné. Aussi se réjouit-il quand, en 1964, André Malraux créa la Commission nationale d'inventaire. Mais l'âge venu, il ne pouvait y aider ; cependant, il va se retourner vers les institutions qui lui



Groupe de travail du colloque « La conscience de soi de la poésie » en janvier 2002 réunissant notamment les professeurs Yves Bonnefoy, Michaël Edwards, Carlo Ossola, Harald Weinrich, Michel Zink ainsi que Jean Starobinski, Maurice Olender et Jacqueline Risset.

paraissaient fécondes d'avenir et de possibilité, l'Institut de France et le Collège de France, qui pourraient œuvrer selon ses rêves.

Malgré son infirmité augmentant avec les années, il tint à répondre à la mobilisation en 1939 et servit jusqu'en juin 40. Puis il prit contact avec des mouvements de résistance, servant efficacement grâce à sa connaissance de l'allemand, ses relations et son aide financière généreuse.

Un officier allemand chargé de l'arrêter à son domicile n'osa exécuter sa mission : arrêter un Hugot, qu'il pensa être un descendant de Victor Hugo ! Il se retira après ce dialogue : « Vous êtes parent de l'écrivain ? ». À quoi répliqua avec humour Jean-Pierre Hugot : « Oui, mais j'ai plus de lettres que lui ». Ce qui permit à notre héros de prendre le large pour un temps...

Sa surdité devenue presque totale le priva de musique, audition ou exécution. Il préféra faire don de son orgue, de sa flûte traversière en argent et de ses partitions dans les mains de Marcel Dupré, alors Directeur du Conservatoire national de Musique, pour cette institution. Il détruisit les mélodies qu'il avait composées lui-même.

Pour parler de Hélène Hugot (1885-1972), sa sœur célibataire, trois mots la caractérisent au mieux : une bonté qui la tenait toujours à l'écoute et au secours des autres, une sensibilité rare qui s'exprimait aussi bien dans la musique, au piano, (élève de Pierre Erard qui disait d'elle : « la meilleure accompagnatrice rêvée »), que

dans l'aquarelle, et enfin une intelligence faite d'une extraordinaire finesse et perspicacité devant ses interlocuteurs, comme en face des problèmes qui lui étaient présentés. Grande lectrice, elle pratiquait l'anglais et l'italien ; jeune fille, elle fréquenta les leçons du Collège de France ; femme de tête et intuitive, elle ne blessait jamais dans sa franchise de parler, son jugement toujours mesuré et sûr, elle impressionnait chacun par son jugement sur les personnes, les œuvres littéraires ou artistiques. Elle se dépensa longtemps à titre bénévole à la Croix Rouge, infirmière durant toute la guerre 1914-1918 dans les hôpitaux parisiens, et aussi dans une œuvre privée, avec une cousine, en vue de l'adoption d'enfants illégitimes abandonnés.

Histoire d'une fondation

Les dernières années de leur vie, les Hugot s'appliquèrent à restaurer les immeubles qu'ils possédaient : l'hôtel de Montmor, dans le Marais, l'hôtel Mortemart, rue Saint-Guillaume et leur propriété dans l'Oise, résidence de campagne du XVIII^e siècle, tous trois légués à l'Institut qui ne crut pas, par la suite, devoir les conserver dans son patrimoine ; et enfin l'Hôtel du 11 rue de l'Université, dit du petit Tambonneau, qui, légué au Collège de France, devint le siège de la Fondation Hugot du Collège de France.

Durant les dix dernières années de leur vie, le frère et la sœur s'attachèrent à prévoir et organiser le sort et l'avenir de leur patrimoine. Sans obligation familiale proche,

ils désiraient que, autant que possible, cela fût utile aux futures générations, par le soin d'un legs, dans une première intention, à l'Institut de France, qui se modifie très vite au récit passionné qui leur était fait de certains enseignements au Collège de France et de l'originalité de cette institution : «affranchi des traditions et de la routine, novateur par destination», «le Collège de France, très souvent, a frayé ou élargi les voies nouvelles».

Déjà en 1972, dans une note manuscrite, Jean-Pierre Hugot écrivait : «Le Collège de France, dans ses objectifs et dans son esprit, se voue à la recherche et à l'enseignement de la recherche et ce, en toute indépendance et tout désintéressement. L'histoire de cette institution exprime remarquablement la permanente recherche d'un humanisme toujours ouvert à l'universel et au nouveau», et plus loin : «Des conversations permettraient dès maintenant de faire entendre à M. l'Administrateur l'esprit qui anime les auteurs de ces legs éventuels et de connaître de celui-ci les conditions et les formes qui seraient acceptables par cette institution». «Dès maintenant», poursuit-il, «nous pouvons préciser que notre intention n'est pas d'accompagner le legs de vœux impératifs et contraignants, mais accueillant toute proposition d'usage, soit sous forme d'enseignement avec chaire, soit de travaux et recherches, de missions et de publications, de bourses et de constitutions d'appareil de recherche : bibliothèques, instruments, etc... et ce, dans l'esprit qui anime les auteurs des legs, permettre aux générations à venir de savants de travailler dans l'esprit qui est le leur et, semble-t-il, celui du Collège, d'un meilleur humain, et particulièrement en matière de mieux vivre, dans les domaines encore peu développées de l'environnement, de la défense et de l'illustration du patrimoine artistique et monumental de la France et de l'éducation musicale».

Ces intentions et vœux, après plusieurs entretiens avec M. Étienne Wolff et M. Alain Horeau, prenaient forme dans la note annexe à son testament en date du 14 février 1975, expressément annoncée par son testament olographe en date du 5 janvier 1975.

Il aurait peut-être suffi de citer cette note annexe pour présenter ce qu'allait réaliser la Fondation Hugot du Collège de France, –cela aurait été plus conforme à la discrétion

souhaitée sur leur personne par les testateurs.

«Je rapproche intentionnellement dans mes dispositions testamentaires ces deux institutions, Institut de France et Collège de France : toutes deux nées d'un même souci d'humanisme dans leurs diverses recherches et entreprises, souci de l'homme, connaissance approfondie de ses facultés et de leur épanouissement. Venus d'horizons divers et maîtres de disciplines indépendantes, les membres de ces deux corps trouvent dans un esprit collégial le plus grand profit à des rencontres et des affrontements amicaux, ordinaires et savants.

«Par ces legs, je souhaiterais mettre ainsi à leur disposition une occasion et un moyen de se rencontrer [...]. Il pourrait être créé un club où les maîtres de ces deux institutions pourraient se rencontrer et accueillir habituellement ou occasionnellement des hommes sincères de toutes disciplines, membres d'autres institutions...

«Qu'il me soit permis d'exprimer mes vœux et mes intentions envers l'Institut de France et le Collège de France :

- favoriser la formation des élites, aider à la connaissance du patrimoine matériel et spirituel de la France,

- donner à la musique sa place dans la culture française et dans la formation de l'homme».

Après s'être étendu sur ce que pourrait réaliser l'Institut de France, il revient vers le Collège de France :

«dont je sais le souci des responsables d'œuvrer à cette recherche libre, indépendante, de tout ce qui touche à l'homme ; je souhaite que dans ces domaines définis plus haut, et particulièrement la musique, la protection des richesses monumentales, historiques et naturelles de la France et l'environnement, le legs que je lui fais serve, au mieux de son jugement, à des créations ou à l'entretien de chaires, de laboratoires, à des publications, à des bourses, des missions de travail, dans un souci constant que des contacts interdisciplinaires fructueux soient ménagés».

À ces intentions précises mais délicatement discrètes dans un respect admiratif du Collège, celui-ci répondait en créant la Fondation Hugot du Collège de France reconnue par décret du Ministère de l'Intérieur, fondation

comme établissement d'utilité publique en date du 7 février 1979.

Fondation dont l'article 1^{er} des statuts indique le but :

«Favoriser dans la mesure de ses moyens, et en étroite accord avec le Collège de France,

- la rencontre des diverses disciplines qui ouvrent à la connaissance, à la formation et à l'épanouissement de l'homme,

- le rapprochement, par delà toutes frontières, des meilleurs esprits animés de ce même souci».

Ainsi, depuis cette date, la Fondation, sous la direction de son Président, Administrateur du Collège, secondé par son Directeur et assisté d'un Conseil d'administration, œuvrera avec une fidélité et une fécondité qui sont la réponse la plus exemplaire à la générosité des testateurs : accueil de professeurs étrangers, tenues de colloques et rencontres interdisciplinaires, bourses de recherche, aides à des publications scientifiques, soutien financier d'activités scientifiques de chaires et de laboratoires, expositions, manifestations musicales d'une exceptionnelle qualité.

C'est au total, à ce jour, un rare et magnifique tableau d'honneur qui permet à la Fondation Hugot de tout espérer de l'avenir et de se développer sur tous les plans définis par ses statuts, grâce à l'intérêt porté par tout le corps enseignant du Collège, mais aussi à l'extérieur du Collège ; les statuts de la Fondation prévoient que des dons et legs peuvent lui être faits, «les libéralités reçues par la Fondation sont réputées lui être faites aux clauses et conditions prévues en la matière par les statuts».

Tout cela offre à notre Fondation la force de l'espérance.

Jean Bachelot

Exécuteur testamentaire de
Jean-Pierre et Hélène Hugot
Historien, à la 5^e section de
l'École Pratique des Hautes Études

Lapsus calami à la page 31 du numéro 7 de la Lettre :

Marie-Jeanne Tits-Dieuaide, auteur de l'article relatif à l'origine de la fonction d'Administrateur du Collège de France, est sous-directeur honoraire de la Chaire d'Histoire de la civilisation moderne et non «maître de conférences associée» à cette même chaire.

Fondation Loubat

Par deux décrets, en date du 16 avril 1902 et 28 juillet 1903, le Collège de France a été autorisé à accepter la donation faite par le duc de Loubat, membre associé de l'Institut de France, en vue de la fondation, dans l'établissement, d'un cours complémentaire d'Antiquités américaines.

Ce cours a été confié à Léon Lejeal (1902-1907), puis au docteur Louis Capitan (1908-1929). Depuis 1939, les revenus de cette fondation ont permis de demander des conférences à des américanistes.

Fondation Michonis

Par décret du 10 mars 1903, M. G. Michonis a légué au Collège de France une somme dont les revenus doivent servir à «faire faire, toutes les fois que ce sera possible, par un savant ou un penseur étranger désigné par les professeurs ou l'administrateur du Collège de France, et qui sera, autant que les circonstances le permettront, au moins une fois sur trois un philosophe ou un historien de sciences religieuses, une série de conférences». L'exécution des volontés de M. Michonis a commencé en 1905.

Fondation Saintour

Par décret du 25 juillet 1889, l'administrateur du Collège de France a été autorisé à accepter le legs fait au Collège de France par le Dr Saintour pour la fondation d'un prix. Ce prix, périodiquement revalorisé, est décerné tous les deux ans par l'Assemblée des professeurs, sur la présentation qui lui est faite, d'après un roulement déterminé, par l'une des trois sections instituées à cet effet. Chaque section regroupe les titulaires de chaire pour lesquels les différentes Académies composant l'Institut ont, concurremment avec le Collège, le droit de présentation.

L'ensemble des trois sections comprennent la totalité des

Extrait du *Journal des débats* du samedi 28 novembre 1885

par Ernest Renan

Professeur au Collège de France
titulaire de la chaire de *Langues hébraïque, chaldaique et syriaque*
de 1862 à 1892 et Administrateur de 1883 à 1892

MM. les professeurs du Collège de France ont reçu communication, dans une de leurs dernières séances, par l'intermédiaire de leur savant collègue, M. Joseph Bertrand, d'une donation qui se produit dans des circonstances particulièrement belles et touchantes. Les cours de mathématiques transcendentes du Collège de France étaient assidûment suivis, il y a quelques années, par un auditeur dont la figure jeune, presque enfantine, contrastait avec l'air grave des savants déjà mûrs qui viennent, à ces sortes de cours, discuter avec le professeur les problèmes les plus ardues. Il s'appelait Claude-Antoine Peccot. M. Bertrand, qui l'avait pour élève, doutait quelquefois que cet enfant pût comprendre des spéculations aussi relevées. Il l'interrogea un jour et fut surpris de voir que rien ne lui échappait. A partir de ce moment, il l'adopta pour son élève particulier, revoyant ses calculs, lui indiquant, après chaque leçon, les livres qu'il devait aller lire dans les bibliothèques. Claude Peccot était déjà un mathématicien exercé. Il ne suivait les cours d'aucune école spéciale ; son intention, d'accord avec celle de sa famille, était de se vouer à la science pure, sans aucune application professionnelle. C'était en même temps un esprit très distingué. La douceur de son caractère et la parfaite innocence de ses mœurs, jointes à une physionomie des plus heureuses, faisaient de lui une personne extrêmement attachante...

Hélas ! tant d'espérances ont été déjouées par la mort.

Claude Peccot fut enlevé, à vingt ans, par une de ces maladies qui sont, chez les jeunes gens, la conséquence d'un travail excessif.

Ce qui prouve bien que Peccot était une très bonne nature, c'est qu'il fut vivement aimé des femmes qui l'approchèrent. Deux proches parentes entourèrent son enfance des soins les plus tendres. Ces deux excellentes personnes, qui vivent maintenant de son souvenir, n'ont qu'une pensée, c'est de rendre en esprit le plus de vie possible à leur cher mort. Une idée généreuse leur est venue. Elles ont voulu que la fortune, qui devait un jour appartenir au jeune savant, appartint tout entière à la science qu'il avait cultivée.

Par leur testament et par une donation anticipée, elles ont fondé, au Collège de France, une rente annuelle en faveur d'un étudiant ayant déjà fait ses preuves dans les hautes études mathématiques.

Une commission, nommée par l'assemblée des professeurs du Collège de France, mais dans laquelle des représentants de la Sorbonne, de l'École normale et de l'École polytechnique auront leur place, décidera annuellement de l'emploi de cette fondation. Ce sera un précieux secours pour bien des vocations en lutte avec les difficultés de la vie. Si une telle institution eût existé, il y a soixante ans, Abel ne fût pas mort de misère. Le nom de Claude Peccot sera ainsi l'objet de sentiments pieux et de rappels sympathiques, dans ce monde des grandes recherches mathématiques, où il aurait sûrement marqué sa place si la mort ne l'eût prématurément enlevé.



La Fondation Hugot du Collège de France

Fondation de droit privé reconnue comme “établissement d'utilité publique autonome” par un décret en Conseil d'État de 1979, la Fondation Hugot du Collège de France a été créée grâce au legs d'une partie de la fortune de deux humanistes, Jean-Pierre Hugot et sa sœur, Hélène Hugot (voir Lettre n° 7, p. 41).

Le capital de la Fondation Hugot consiste notamment en un immeuble situé 11, rue de l'Université (Paris 7^e), pour partie réservé à la Fondation et pour partie occupé par des locataires.

Autonome, cette Fondation voit sa gestion assurée par un Conseil d'administration présidé par l'Administrateur du Collège de France et comprenant six Professeurs du Collège de France, trois représentants des grands corps de l'État et trois personnalités extérieures. Le Directeur des Affaires culturelles et des Relations extérieures du Collège de France (Mme Terrasse-Riou) en assure la gestion courante.

Sur la base des dispositions explicites de l'acte testamentaire, la Fondation consacre ses activités à favoriser le développement des activités spécifiques du Collège de France et à promouvoir rencontres et échanges pluridisciplinaires autour d'une recherche libre et indépendante.

Concrètement, la Fondation Hugot favorise l'activité scientifique des Professeurs du Collège de France de trois façons :

1. La Fondation Hugot accueille annuellement une quarantaine de savants étrangers invités par l'Assemblée des professeurs à venir donner au Collège des séries de conférences. Six studios indépendants sont en effet aménagés pour recevoir ces Conférenciers pendant la durée de leur enseignement.

Membres du Conseil d'Administration en janvier 2004 :

Gilles Andréani, Jean Bachelot, Jacques Bouveresse, Alain Connes, Roger Fauroux, Marcel Froissart, Jacques Glowinski, Carlo Ossola, Jean-Claude Prével, André Ross, Pierre Toubert et Michel Zink.

2. La Fondation Hugot accueille, dans sa salle de réunion qui peut contenir jusqu'à 25 personnes, des réunions de travail ou petits colloques fermés, organisés par un Professeur.



3. La Fondation Hugot accorde des subventions de recherche, sur présentation d'un dossier scientifique soumis à l'approbation du Conseil d'Administration

Pour ne prendre que quelques exemples récents, c'est la Fondation Hugot qui permet, chaque année depuis trois ans maintenant, l'organisation des “symposia interdisciplinaires” du Collège de France : “La Vérité dans les sciences” (2001), “Gènes et culture” (2002), “Les Espaces de l'homme” (2003), manifestations qui rencontrent un grand succès auprès du public, dont France Culture se fait l'écho, dont les Actes sont publiés par les Éditions Odile Jacob, et qui sont une occasion supplémentaire de témoigner, sur un thème de recherche commun, de la collégialité de l'institution. Le prochain symposium, prévu les 12 et 13 octobre 2004, portera sur “L'Homme face au climat”.

Jean-Pierre et Hélène Hugot avaient tout particulièrement insisté, dans leur testament, sur l'importance de “donner à la musique sa place dans la culture française et dans la formation de l'homme”. Grâce à la Fondation Hugot, plusieurs concerts ont pu être organisés dans le grand amphithéâtre du Collège de France.

La Fondation Hugot a lancé le programme d'archives audio-visuelles intitulé “Mémoire du Collège de

France”, qui prévoit d'interviewer des Professeurs honoraires afin qu'ils puissent décrire, durant quatre séances d'une heure environ, leur parcours de recherche, leur vision de l'institution et les perspectives de leur champ disciplinaire. Certains de ces documents sont diffusés par la chaîne Histoire.

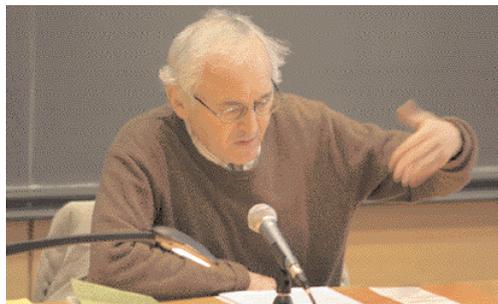
Le premier PRIX HUGOT vient d'être décerné au jeune mathématicien mexicain *Ricardo Uribe Vargas*

Pour rester à la fois dans l'actualité et dans la mémoire, rappelons que la Fondation Hugot vient de soutenir l'organisation d'une journée scientifique organisée au Collège de France par les Prs. Claude Cohen-Tannoudji et Serge Haroche à la mémoire d'Alfred Brossel (cf p. 31). Et comme l'a rappelé à cette occasion le Pr. Cohen-Tannoudji :

“Il y a vingt ans, en janvier 1984, Alfred Kastler, qui avait fondé avec Jean Brossel en 1951 le laboratoire qui porte maintenant le nom de “laboratoire Kastler-Brossel” et qui avait obtenu le Prix Nobel de Physique en 1966, nous quittait. Il laissait après sa mort de très nombreux documents (lettres, articles, interviews...) qui avaient une très grande valeur pour l'histoire des Sciences. À ma demande, la Fondation Hugot nous avait accordé une subvention pour nous permettre de recruter quelques mois un archiviste qui classa tous ces documents et créa un catalogue permettant de les consulter. Le Fonds Kastler ainsi réalisé se trouve maintenant dans une pièce spéciale de la bibliothèque du Département de Physique de l'École Normale Supérieure et est à la disposition des chercheurs. Je tiens à rendre hommage de nouveau à la Fondation Hugot qui nous a ainsi permis de préserver des documents précieux pour l'histoire scientifique de

La Fondation Hugot du Collège de France est habilitée à recevoir des dons et legs.

LES MATHÉMATIQUES ET L'EXPÉRIENCE (1918-1938)



Pr Jacques Bouveresse

Au début du XX^e siècle, deux événements, entre autres, sont venus bouleverser les conceptions qu'on se faisait jusque là des rapports entre les mathématiques et les sciences du réel (tout particulièrement la physique). D'une part, l'axiomatisation de la géométrie par Hilbert (1899) a montré qu'on devait définir les concepts et les principes fondamentaux de la géométrie de manière purement formelle, c'est-à-dire sans jamais s'appuyer sur notre intuition de l'espace ; d'autre part, la théorie de la relativité a fait usage, pour décrire l'espace physique, non plus de la géométrie euclidienne mais de celle de Riemann, inventée au milieu du XIX^e pour répondre à des exigences purement internes aux mathématiques et de manière, pourrait-on dire, "spéculative". On a alors mieux pris conscience de tout ce qui sépare les sciences formelles (la logique et les mathématiques), valides indépendamment de toute relation à la réalité, et les sciences du réel. Cette situation a été résumée par Einstein lui-même en 1921 dans une formule fameuse : "Pour autant que les principes de la géométrie sont valides, ils ne se rapportent pas à la réalité ; pour autant qu'ils se rapportent à la réalité, ils ne sont pas strictement valides."

Dans l'entre-deux-guerres, les philosophes du Cercle de Vienne (1924-1936), animé par Moritz Schlick, et leurs amis du Cercle de Berlin, animé par Hans Reichenbach, sont parmi ceux qui ont eu le plus

clairement conscience de cette situation. Logiciens (Carnap, Gödel), mathématiciens (Hahn, Karl Menger, von Mises), physiciens (Philip Frank), économistes (Neurath), ils ont cherché à concilier l'empirisme le plus radical (l'expérience est l'unique source de notre connaissance du réel) avec la

pleine reconnaissance du rôle du formalisme dans la science moderne. Que leurs intérêts aient porté sur l'espace ou sur les probabilités, la question des conditions et des modalités de l'application des mathématiques à l'expérience s'est posée pour eux à chaque pas. Bien entendu, ils ne lui ont pas apporté les mêmes réponses. En outre, les conceptions de certains d'entre eux, Carnap notamment, ont considérablement évolué en l'espace de quelques années.

Le Colloque *Les mathématiques et l'expérience 1918-1938 (L'application et l'interprétation des mathématiques dans l'empirisme logique de l'entre-deux-guerres)* s'est tenu du 26 au 28 mai au Collège de France. Il était organisé par la Chaire de philosophie du langage et de la connaissance (Pr. Bouveresse) en étroite collaboration avec l'Institut d'Histoire et de Philosophie des sciences (IHPST, Paris) et le Laboratoire de Mathématiques appliquées (LAMA, Marne-la-Vallée). Il s'inscrivait dans le cadre du programme "Mathématiques et constitution de l'épistémologie", qui est placé sous la responsabilité de Pierre Wagner (Paris 1) et financé par le ministère de la recherche. Il a bénéficié d'un soutien important de la Fondation Hugot du Collège de France.

Parmi les 14 intervenants (philosophes, historiens des sciences, mathématiciens), il y

avait aussi bien de jeunes doctorants parisiens que des universitaires de renommée internationale venus de Vienne (Autriche), de Bielefeld et d'Osnabruck (Allemagne) ou de Stanford et Berkeley (États-Unis). Malgré la "technicité" d'une bonne partie des interventions, ce sont plus de cent personnes qui, sur les trois journées, ont assisté à ce Colloque. Plusieurs participants étrangers nous ont dit avoir été impressionnés par le nombre et la qualité de ce public. Ce colloque prouve une nouvelle fois, s'il en était besoin, qu'il est possible au Collège de France d'accueillir un public nombreux sans transiger un seul instant sur les exigences les plus rigoureuses de la recherche intellectuelle et scientifique, et sans faire la plus petite concession à ce qu'on dit être le "niveau" du public et ses prétendus "intérêts", lesquels ne lui sont bien souvent imputés que par projection, et en vertu des modes et d'une certaine paresse médiatique.

L'ensemble des contributions, toutes de très haute tenue et dont beaucoup ont présenté les résultats de recherches nouvelles, constitue sur cette période charnière de l'histoire de la philosophie des sciences du XX^e siècle un panorama qui n'a guère d'équivalent. Nous espérons pouvoir publier prochainement les Actes de ce colloque. ■

Jean-Jacques Rosat
Maître de conférences
Chaire de Philosophie du langage et de la connaissance



M. Jean-Jacques Rosat

PRIX ET DISTINCTIONS



Pr Alain Connes

- Le CNRS a décerné la Médaille d'Or 2004 au Pr Alain Connes, titulaire de la chaire *Analyse et géométrie*. Tout au long de sa carrière, Alain Connes s'est intéressé à la résolution des problèmes mathématiques soulevés par la physique quantique et la théorie de la relativité. Il a en particulier révolutionné la théorie des algèbres d'opérateurs et créé une nouvelle branche des mathématiques, la géométrie non commutative.



Pr Édouard Bard

- La fondation américaine *Comer Sciences & Education Foundation* a attribué le Prix Comer, d'un montant de 300 000 dollars, au Pr Édouard Bard, titulaire de la chaire *d'Évolution du climat et de l'océan*, pour ses recherches sur le climat.



Pr Jean-Christophe Yoccoz

- L'*Academy of Sciences of the developing world (TWAS)* a élu, lors de son quinzième congrès, qui s'est déroulé en novembre dernier à Trieste (Italie), le Pr Jean-Christophe Yoccoz, titulaire de la chaire *Équations différentielles et systèmes dynamiques*, en qualité de membre associé.



Pr Ian Hacking

- Le Pr Ian Hacking, titulaire de la chaire de *Philosophie et histoire des concepts scientifiques*, a été nommé Compagnon de l'Ordre du Canada en juillet 2004. L'Ordre du Canada récompense l'œuvre d'une vie. Établie en 1967, année du centenaire du Canada, c'est la plus haute distinction honorifique du Canada. ■

PRIX DE LA FONDATION HUGOT



Hee Jin Han.

- Le prix Hugot a été créé par le Conseil d'administration de la fondation Hugot en 2001 pour distinguer et récompenser de jeunes chercheurs étrangers.

Le lauréat se voit attribuer pour un an un poste de maître de conférences au Collège de France, et reçoit un prix de 4000 euros. En 2003, le prix avait été attribué à Ricardo Uribe Vargas, mathématicien mexicain. Il est allé cette année à Hee Jin Han, philosophe originaire de Corée du Sud.

Hee Jin Han a fait ses études à Séoul, à l'université *Sungkyunkwan*, institution très ancienne, fondée en 1398. C'est là que fut inventé au XV^e siècle l'alphabet coréen. C'est également à cette université que l'on doit les plus grandes innovations de la médecine coréenne et du système de santé publique.

Hee Jin Han a travaillé au sein du *Humanities Research Institute*, institut de recherches

humanistes qui s'intéresse en particulier à la conception de la vie exprimée dans la philosophie de Bergson. Les travaux de M. Han l'ont conduit à s'intéresser au vitalisme français, auquel il a consacré son doctorat, soutenu en 2004 à l'université de Paris I, sous la direction du Pr Anne Fagot-Largeault. Le titre de sa thèse était : "le programme de recherche vitaliste dans les sciences biomédicales : une étude historico-épistémologique du vitalisme français au XVII^e siècle".

Lors d'un colloque organisé dans le cadre du séminaire de Mme Fagot-Largeault au Collège de France en 2004, il a présenté une communication sur "La médecine à la fois empirique et scientifique de Pierre-Jean Georges Cabanis (1757-1808) : une source lointaine de la médecine fondée sur des preuves". Ses travaux actuels portent sur Barthez, mais aussi sur les vitalistes parisiens, Xavier Bichat et Claude Bernard. ■

Site Ulm du Collège de France

Réouverture du bâtiment de la rue d'Ulm : une politique immobilière, une politique scientifique

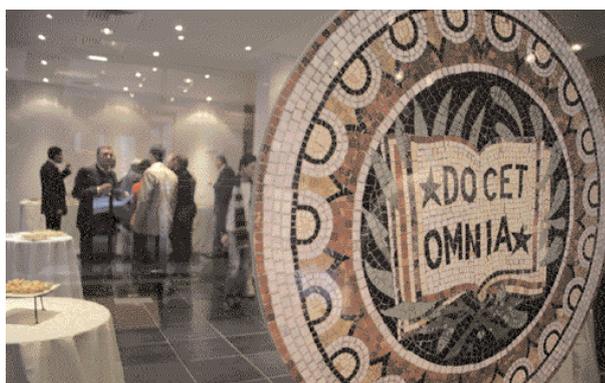
Jean-Christophe Yoccoz
Équations différentielles et systèmes dynamiques

Voici bientôt trois ans que le site du Collège de France de la rue d'Ulm est fermé. Mais les travaux de rénovation, entièrement à la charge du Collège, sont maintenant terminés ; c'est un bâtiment profondément remodelé qui va nous accueillir, et nous offrir les moyens d'un développement de l'activité scientifique dans les domaines concernés. Mathématiques et physique théorique y côtoieront droit, économie, histoire, sociologie, sciences humaines et sociales traitant du monde contemporain ; une équipe de neurocomputation Collège de France-ENS sera aussi accueillie pour les quatre prochaines années.

L'architecture ouverte du lieu doit se traduire par des échanges scientifiques accrus entre disciplines. À l'heure où les travaux du site Marcelin Berthelot entrent dans une phase intense, et où se profile déjà à l'horizon la tranche finale que constitue la rénovation du bâtiment de physique, il est fondamental d'intégrer dans une même démarche notre politique immobilière et notre politique scientifique. Non que la première doive piloter la seconde, tout au contraire. Mais l'emploi responsable de deniers publics rudement négociés exige que les grandes orientations scientifiques soient mûrement réfléchies. Christian de Portzamparc, inaugurant par l'architecture la chaire de Création artistique, pourrait alimenter à un niveau plus théorique notre réflexion.



Le rapport du Comité d'Orientation Stratégique et Scientifique (COSS) nous encourage précisément à renforcer la rigueur intellectuelle du processus de renouvellement des chaires. Le défi est de concilier la liberté d'initiative de chaque professeur, tradition du Collège de France qui contribue à sa richesse et son originalité, avec une indispensable réflexion collective, faisant appel à la communauté scientifique européenne et internationale, sur les orientations intellectuelles les plus fécondes dans les décennies à venir. Les hasards du calendrier font de la physique, qui a vu Cohen-Tannoudji, De Gennes et Froissart devenir simultanément honoraires, le premier champ disciplinaire concerné. À l'approche de son cinquantième anniversaire, le Collège de France se renouvelle !



Interview de M. Pierre-Louis Lions
titulaire de la chaire d'*Équations aux dérivées
partielles et applications*



Quand on entre dans le bâtiment, on est frappé d'abord par la beauté des lieux. Cette beauté esthétique accompagne une indéniable réussite architecturale. L'impression générale est celle d'une sorte de profusion d'espace : larges couloirs lumineux, aménagement de lieux de rencontre et de réunion modulables, etc. Luxe suprême, dans un monde universitaire où l'on est toujours menacé de manquer de place.

Au-delà de ces premières impressions, la question est de savoir comment fonctionnera ce bâtiment, à quel usage il va servir.

Plusieurs remarques, sur ce point. Il faut d'abord évoquer sommairement le fonctionnement des mathématiques parisiennes, qui détermine en grande partie la forme de notre activité. La politique actuelle du CNRS est de regrouper les équipes en gros laboratoires – qui restent évidemment très petits par rapport à des laboratoires de physique, par exemple. En mathématiques, les professeurs du Collège de France – du moins les Français Alain Connes, Jean-Christophe Yoccoz et moi-même, la situation de Don Zagier étant un peu particulière à cet égard – gardent toujours un contact avec des laboratoires du CNRS, qui sont à la fois un label et une source de financement. En revanche, au Collège de France, le fonctionnement traditionnel des mathématiciens n'est pas de constituer des laboratoires. Est-ce à dire que les mathématiciens, dans le cadre du Collège, ont simplement besoin d'un bureau où ils travaillent et dont ils ne sortent pas ? Non. Un fonctionnement par chaire individuelle, sans laboratoire intégré, n'exclut pas qu'il puisse y avoir d'autres projets. Ni, surtout, un investissement dans la vie collective du bâtiment.

Le professeur Yoccoz et moi-même sommes ravis d'être installés à proximité d'autres collègues avec lesquels nous avons des interactions ou des collaborations. Jean-Christophe Yoccoz a développé des collaborations importantes avec des biologistes. En ce qui me concerne, pour mes activités actuelles, la présence d'économistes dans les étages est précieuse. La proximité de Roger

Guesnerie, par exemple, est importante : nous avons souvent des échanges, notamment sur des sujets d'économie mathématique. Il y a des interactions fortes entre économie, finances et mathématiques. De ce fait, beaucoup de sujets – en mathématiques financières, en théorie des jeux, etc. – se situent à la limite de nos intérêts respectifs. Il n'y a pas forcément de véritable recoupement, mais il y a néanmoins matière à engager des réflexions communes, des interactions voire des actions conjointes. Dans cette perspective, les petites salles de travail prévues à chaque étage sont particulièrement commodes.

En outre, dans une discipline comme la mienne – les mathématiques appliquées – on est amené à rencontrer toutes sortes d'interlocuteurs dans le domaine scientifique ou technologique. Il y a souvent des réunions en petit comité, avec des personnes extérieures au Collège de France : ingénieurs, au sens large, dirigeants d'entreprise, mathématiciens, informaticiens, physiciens, etc. Il est donc précieux de disposer de salles de réunion à proximité des bureaux.

Enfin, la présence d'une salle de séminaire est un élément essentiel pour l'animation de la vie scientifique du site. Je dois préciser que le séminaire que j'anime au Collège de France dépasse de beaucoup le cadre du cours : c'est en effet un séminaire annuel, permanent. C'est un cadre de travail, de rencontre et de discussion,



Espace de convivialité



Salle de réunion

organisé à heure fixe, chaque semaine, toute l'année. Avec ces rendez-vous très réguliers, c'est devenu un lieu d'échange et d'interaction très naturel. J'ai voulu en faire un séminaire de référence en mathématiques appliquées, un lieu de rencontre pour tous les spécialistes de ce domaine, en région parisienne, quelle que soit leur université ou leur organisme d'origine. J'essaie de lui donner une audience nationale grâce à internet.

Sur place, le séminaire est une occasion de rencontre et de discussion. Et les locaux sont organisés de telle façon qu'il suffit de monter d'un étage pour poursuivre la réflexion et le travail : c'est un agencement très approprié aux modes de fonctionnement qui sont les nôtres.

Du point de vue du bâtiment, donc, tout est fait pour faciliter ce type d'activités. Il regroupe des professeurs d'horizons différents, et est idéalement agencé pour permettre le travail en groupe, sous différentes formes. Mais il a encore un autre atout, aux yeux des mathématiciens : du fait de sa localisation même, il est au cœur de la vie mathématique parisienne, au centre du quartier où se déroulent la plupart des événements qui intéressent les mathématiciens. D'une part, en effet, nous sommes à deux pas de la rue Pierre et Marie Curie, où se trouve l'institut Henri Poincaré, la Maison des mathématiciens. D'autre part, le nom de la rue d'Ulm évoque évidemment celui de l'École normale supérieure : or on sait le rôle crucial que joue cette école pour la formation des jeunes mathématiciens en France. Comment imaginer alors qu'un bâtiment situé à l'entrée de la rue d'Ulm et abritant des mathématiciens ne devienne pas tout naturellement un lieu privilégié de collaboration avec l'École normale supérieure, surtout dans le cadre de la politique actuelle de rapprochement entre les deux institutions. Cette concentration des activités mathématiques dans un voisinage très proche est une chance extraordinaire, à mes yeux.

De plus, au-delà des rencontres rendues possibles par le bâtiment et sa localisation, et sans aller jusqu'à accueillir

de véritables laboratoires – appartenant au Collège de France ou associés à lui – cette structure permet aussi d'accueillir pour un temps donné de petites équipes de chercheurs pour des projets de durée limitée. C'est le mode de fonctionnement que Jean-Christophe Yoccoz et moi-même avons décidé d'adopter, en liaison avec Alain Berthoz et l'institut de biologie, qui sont partie prenante du projet qui va être mis en place sur le thème de la neurocomputation : un certain nombre de bureaux seront mis à la disposition, pour quatre ans, d'une équipe de biologistes liés à l'École normale supérieure.

J'aime beaucoup cette idée d'avoir une équipe pendant quelque temps, sans engagement contraignant dans la durée, comme ce serait le cas si l'on avait constitué un véritable laboratoire, avec toutes les pesanteurs institutionnelles que cela représente. La science bouge à grande vitesse : aucune structure permanente ne peut répondre aux besoins sur la longue durée, hormis les structures très stables et monothématiques qui creusent un sillon de façon suivie et approfondie – et il y a déjà bien assez d'organismes de ce type dans la recherche française. La recherche de qualité planifiée, je n'y crois pas. Je crois au hasard des rencontres, à l'intérêt, à la curiosité réciproque. Il s'agit donc d'éviter de recréer des structures lourdes, et de se doter au contraire d'une structure de petite taille, souple et réactive.

Il faut néanmoins un substrat, un lieu. Ce bâtiment constitue un support idéalement dimensionné pour un fonctionnement de ce type. Il offre en effet une certaine disponibilité de locaux, trop limitée pour éviter la constitution de laboratoires, mais suffisante pour des équipes légères et des projets limités dans le temps. C'est une chance à saisir pour monter de beaux projets,



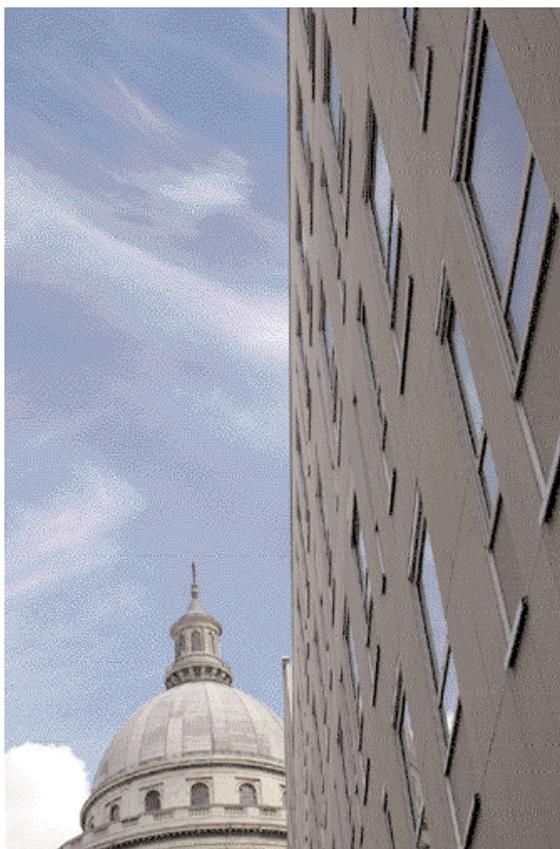
Couloir

innovants et dynamiques. En invitant des équipes sur des projets spécifiques, on travaille ensemble sur un sujet précis et au bout d'une période donnée, on se sépare et chaque équipe suit son propre chemin. C'est un procédé bien adapté à des aventures pluridisciplinaires : au sein d'une même discipline, en effet, si les gens travaillent bien ensemble, ils ont tendance à former un laboratoire. Un projet pluridisciplinaire est d'une autre nature, et ne se transforme presque jamais en laboratoire. Mais disposer d'un lieu de rencontre où les gens peuvent participer à un projet commun est une très bonne solution, particulièrement dans le domaine des mathématiques appliquées.

C'est pourquoi il est dans mon intention de renouveler sur d'autres sujets, au gré de mes aventures scientifiques,

l'expérience que nous sommes en train de mettre en place dans le domaine de la neurocomputation. Ce que j'envisage, compte tenu de la disponibilité des locaux, c'est de réunir sur un sujet donné de toutes petites équipes, composées de gens qui ont des postes par ailleurs, mais avec lesquels on poursuit pendant un certain temps un travail commun spécifique. Ce choix répond à un souci d'ouverture. Au contact de ces équipes, nous avons des choses à apprendre, et peut-être cela débouchera-t-il sur de véritables collaborations, plus durables. Le site de la rue d'Ulm devient ainsi un lieu de rencontre et d'expérimentation du travail en commun. Un lieu d'échange, avec une gradation de formes : très souple quand il s'agit de séminaires, plus institutionnalisé quand il est question de projets de recherche communs, mais toujours avec des limites de durée. ■

Interviews réalisées par Marc Kirsch



Façade du bâtiment Ulm.

COLLOQUES

MATHÉMATIQUES, PHYSIQUE ET PHILOSOPHIE
JOURNÉE DU CENTENAIRE DE LA MORT DE
LUDWIG BOLTZMANN (1844-1906)

Colloque organisé par le
 Pr Jacques Bouveresse (Collège de France)
 22 novembre 2006

Ludwig Boltzmann, qui était né en 1844 à Vienne, s'est suicidé le 5 septembre 1906, à la veille de la rentrée universitaire, au cours de ce qui était supposé être un séjour de repos et de détente en famille à Duino. On a, comme il était prévisible, beaucoup écrit, spéculé et affabulé sur les causes réelles de ce suicide. Dans la mesure où un certain nombre de légendes ayant pour but de le présenter comme une sorte de héros et martyr de la vérité, victime de l'incompréhension et des persécutions d'une communauté scientifique hostile, continuent à circuler encore aujourd'hui, il faut souligner, en tout état de cause, que, même s'il est vrai que la réception de ses idées se heurtait encore à des difficultés et à des résistances importantes, peu de physiciens en Europe, au moment où il a décidé de mettre fin à ses jours, jouissaient d'une autorité et d'une réputation comparables aux siennes.

L'année 2006 était donc, en même temps que celle du centenaire de la naissance de Gödel, un autre des scientifiques et des penseurs les plus importants que l'Autriche ait produits, celle du centenaire de sa disparition dramatique, un centenaire qui, parce qu'il intervenait un an seulement après celui de la découverte de la théorie de la relativité, risquait malheureusement de passer un peu inaperçu. Dans le livre qu'il a publié en 1955, *Ludwig Boltzmann, Mensch, Physiker, Philosoph*, Engelbert Broda remarquait qu'« à une époque où le mot "atome" tombe quotidiennement

sous les yeux du lecteur de journal, le profane peut à peine se faire une représentation correcte de la difficulté que les pionniers de la physique atomique ont dû surmonter il y a à peine plus d'un demi-siècle pour faire obtenir à la conception atomiste de la structure de la matière une validité reconnue par tout le monde ». C'est, naturellement, encore bien plus vrai après qu'un demi-siècle de plus s'est écoulé. Peu de gens sont encore capables aujourd'hui de se faire une idée de la bataille que Boltzmann a dû mener pour faire triompher ses idées et qu'il a eu le sentiment d'avoir finalement perdue, ce qui, du point de vue historique, est d'une ironie tragique, puisque, dans les années qui ont suivi immédiatement sa mort, les idées pour lesquelles il avait combattu et qu'il n'avait pas réussi à imposer lui-même l'ont emporté à peu près sur toute la ligne.

Boltzmann a été un des physiciens qui ont joué un rôle absolument déterminant dans l'évolution et dans le triomphe final de la théorie cinétique-moléculaire de la chaleur et de celle de la matière. Son nom restera

attaché à jamais à deux contributions qui l'ont immortalisé : la définition de l'entropie comme mesure mathématiquement bien définie de ce qu'on peut appeler le « désordre » des atomes, une définition exprimée dans la formule fameuse qui est inscrite sur son monument funéraire au Cimetière central de Vienne, et l'équation de Boltzmann, qui, du point de vue historique, constitue la première équation qui décrit l'évolution d'une probabilité dans le temps et qui est utilisée aujourd'hui dans une multitude de domaines, à première vue bien différents et très éloignés de celui de la théorie cinétique des gaz. Il n'y a plus guère aujourd'hui de doute sur le fait que, selon les propres termes de Felix Klein, « c'est Boltzmann, et non Maxwell ou Gibbs, qui a élaboré de façon précise la manière dont la deuxième loi [de la thermodynamique] se rapporte à la probabilité, créant ainsi l'objet de la mécanique statistique ».

Boltzmann présente la particularité remarquable d'avoir été à la fois un des derniers grands de la physique classique et un des pionniers de la





Pr Alain Connes

physique moderne. « Le Dieu par lequel règnent les rois, a-t-il dit en 1900, est la loi fondamentale de la mécanique », continuant ainsi à affirmer la place fondamentale de la mécanique dans la physique théorique à une époque où la nouveauté et l'avenir étaient censés être représentés par l'énergétisme et où il avait le sentiment d'être à peu près le dernier à oser encore défendre ouvertement le point de vue des Anciens. Mais son œuvre a également influencé de façon considérable et d'une multitude de façons différentes la physique moderne, notamment à travers l'œuvre de Planck sur les quanta de lumière et celle d'Einstein sur le mouvement brownien.

L'« hypothèse atomique », pour laquelle Boltzmann s'est battu avec acharnement tout au long de sa vie, a certes changé de façon très significative, notamment en raison de l'avènement de la physique quantique, que ses propres idées ont contribué de façon importante à préparer, et les particules quantiques sont des êtres sensiblement différents des particules classiques, pour ne rien dire de ce qui, selon une hypothèse qu'il lui est arrivé d'envisager lui-même, pourrait éventuellement, dans l'évolution de la physique, prendre un jour la place des particules. Mais, comme le note Roger Penrose, c'est justement « un fait remarquable que l'image atomique "classique" de Boltzmann fon-

ctionne si extraordinairement bien dans des conditions normales ». En dépit du fait qu'il se considérait plutôt comme un représentant de la physique ancienne et que son mode de pensée donne l'impression d'appartenir, pour l'essentiel, au dix-neuvième siècle, Boltzmann s'est trouvé, dans les faits, au centre d'une révolution scientifique majeure et il n'est pas exagéré de dire que, si l'époque de la physique classique s'est achevée autour de 1900 et si une ère nouvelle a commencé à ce moment-là pour la physique, c'est son œuvre qui constitue le lien réel entre la physique du dix-neuvième et celle du vingtième siècle.



Nadine de Courtenay

Boltzmann, cependant, n'a réussi à être un physicien aussi génial et révolutionnaire que parce qu'il avait également des intérêts et des aptitudes mathématiques remarquables (il a d'ailleurs enseigné les mathématiques pures à l'université de Vienne de 1873 à 1876), ce qui lui a procuré un avantage déterminant dans la confrontation avec les représentants de l'école énergétiste comme Mach, Ostwald et Helm ; et il avait des idées tout à fait intéressantes, du point de vue actuel, sur ce que les mathématiques et la physique peuvent apprendre réciproquement l'une de l'autre. Il était très préoccupé, par exemple, de savoir si sa fameuse courbe H, dont il lui est arrivé, dans ses moments de dépression, de penser qu'elle était peut-être, du point de vue physique, un non-sens, présentait ou non un intérêt proprement mathématique. Dans une lettre du 15 mars 1898 à

Felix Klein, il écrit : « Cela me réjouit beaucoup que les mathématiciens s'intéressent un peu à la courbe H. Une chose de ce genre ne prend de la consistance que lorsqu'elle est affranchie par les mathématiques du besoin physique spécial. »

On a commencé également à se rendre compte, depuis quelque temps déjà, que Boltzmann a apporté une contribution majeure, même si elle a été pendant longtemps bien moins connue et moins influente que celle de Mach, à la philosophie des sciences. (On admet généralement qu'il a anticipé à la fois certaines des idées de base de l'épistémologie de Popper, en particulier la conception évolutionniste de la théorie de la connaissance et de l'épistémologie appuyée sur la théorie de Darwin, dont il était un adepte passionné, et certains aspects de la théorie kuhnienne des révolutions scientifiques.) Et on sait désormais, notamment grâce à des manuscrits et à des lettres qui ont été publiés récemment, qu'il a même essayé, dans les dernières années de sa vie, de s'attaquer de façon sérieuse à la philosophie tout court et d'écrire un ouvrage de philosophie en bonne et due forme. On est donc en mesure de se faire une idée un peu plus précise de ce qui autorise à voir en lui un représentant non seulement de la physique autrichienne, mais également de ce qu'on a pris l'habi-



Pr Pierre-Louis Lions



Pr Jacques Bouveresse

tude d'appeler la tradition philosophique autrichienne, et de la façon dont ses idées ont pu influencer un philosophe comme Wittgenstein ou les membres du Cercle de Vienne et anticiper certaines des thèses de la philosophie « analytique » ou « linguistique ». Sur ce terrain-là également, il se pourrait bien qu'il ait joué un rôle de pionnier.

On peut remarquer enfin que, si son apport à la physique théorique a été considérable et si c'est, pour une part importante, à la bataille qu'il a menée pour elle dans des conditions difficiles qu'elle doit la place qui a fini par lui être reconnue dans la science (comme le dit David Lindley dans un livre récent, d'une certaine façon, il « a laissé l'empreinte de son intellect sur l'idée même de physique théorique moderne »), il était également un physicien expérimental exceptionnellement doué et inventif, et un défenseur des techniques nouvelles et de la technique en général, à l'égard de laquelle il pensait que la science « pure » aurait tort de manifester un sentiment de supériorité un peu méprisant. Il n'y a rien, a-t-il dit, de plus pratique que la théorie, mais il n'y a rien également, selon lui, à quoi la science doit davantage son origine que des besoins purement pratiques. Personne n'aurait donc été plus heureux que lui de voir, par exemple, son équation fameuse continuer aujourd'hui à représenter à la fois un objet de recherche et de découverte important pour les mathématiques pures et un instrument utilisé pour la résolution de problèmes de l'espèce la plus technique qui soit.

Dans cette journée de commémoration, qui a réuni des représentants des mathématiques, de la physique, de l'histoire et de la philosophie des sciences, et de la philosophie tout court, nous avons essayé de rendre justice à quelques uns des aspects les plus importants de l'œuvre de Boltzmann et de l'héritage considérable qu'il a laissé, dans une multitude de domaines où sa présence n'est souvent plus guère soupçonnée et encore moins reconnue, à la science et à la culture de notre époque. Un panorama complet des succès que ses idées ont remporté au cours du vingtième siècle et continuent à remporter aujourd'hui était, de toute évidence, impossible. Nous avons voulu montrer, plus modestement, à travers quelques exemples privilégiés, à quel point le physicien qui, à la fin de sa vie, craignait de voir une époque de « barbarie énergétique » réduire pour longtemps à néant l'influence de l'œuvre de sa vie avait tort de s'inquiéter pour l'avenir de celle-ci, qui semble aujourd'hui plus assuré et plus brillant que jamais. ■

Pr Jacques Bouveresse

Cette journée a permis d'entendre les exposés suivants :

- Pierre-Louis Lions (Collège de France), *Boltzmann et la modélisation mathématique* ;
- Bernard Derrida (ENS), *Le rôle des fluctuations en physique statistique* ;
- Olivier Darrigol (CNRS – REHSEIS), *Le va-et-vient entre les points de vue global et moléculaire dans les recherches thermo-statistiques de Boltzmann* ;
- Alain Connes (Collège de France), *Temps et thermodynamique quantique* ;
- Nadine de Courtenay (CNAM et REHSEIS), *La philosophie des sciences de Ludwig Boltzmann : une « aventure technique »* ;
- Jacques Bouveresse (Collège de France), *Ludwig Boltzmann et le problème de l'explication dans les sciences*.

Ces exposés sont téléchargeables sur le site Web du Collège de France (page du Pr Bouveresse, rubrique « colloques »).



Prs Jacques Bouveresse et Pierre-Louis Lions

Paolo MANCOSU

Professeur à l'université de Californie, Berkeley (USA)

invité par l'Assemblée des professeurs à l'initiative du Pr Jacques Bouveresse.

Il a donné le 29 mars 2007, une conférence intitulée :
L'explication mathématique : importance et enjeux



La question de l'explication mathématique connaît depuis quelques années un vif regain d'intérêt. Bien que le problème remonte aux Grecs, ce renouveau contemporain au sein de la philosophie analytique est, pour la philosophie des mathématiques, un enrichissement tout à fait bienvenu. Dans cette conférence, je me suis donné deux objectifs :

1. offrir une vue d'ensemble sur l'état de la question et sur la manière dont les différentes contributions dans ce domaine se situent les unes par rapport aux autres ;
2. montrer que l'explication mathématique est une question qui a d'importants prolongements non seulement en philosophie des mathématiques, mais aussi en épistémologie, en métaphysique et en philosophie des sciences.

J'ai commencé par clarifier deux sens possibles de l'explication mathématique. Au premier sens, "explication mathématique" renvoie aux explications telles qu'elles sont données dans les sciences de la nature ou dans les sciences sociales, là où divers faits mathématiques jouent un rôle essentiel dans l'explication fournie. Au second sens, on parle de l'explication au sein des mathématiques elles-mêmes.

L'intérêt des explications mathématiques de faits scientifiques réside, du point de vue des théories de l'explication, dans le défi qu'elles représentent pour la théorie causale de l'explication. Toutefois, jusqu'à ces dernières années, elles n'ont guère suscité d'attention. Rendre compte de ces explications n'est pas une mince affaire car cela revient à rendre compte de la manière dont les mathématiques s'ancrent dans la réalité, et l'on ouvre alors la boîte de

Pandore des modèles, de l'idéalisation, etc. En outre, les explications mathématiques de faits scientifiques ont également joué un rôle important dans les discussions contemporaines sur l'argument d'indispensabilité⁽¹⁾. Un article récent de Baker (*Mind*, 2005) en a notamment proposé une nouvelle version qui, à la différence de l'argument traditionnel, ne présuppose pas le holisme. L'idée est que notre engagement ontologique ne porterait pas sur toutes les parties des mathématiques qui sont appliquées dans la science, mais seulement sur celles qui jouent un rôle essentiel dans l'explication des faits scientifiques. C'est une démarche prometteuse ; mais nous avons encore grand besoin d'études de cas d'explications mathématiques de faits scientifiques qui nous permettront de mieux comprendre sur le plan conceptuel ce type d'activité explicative.

Après avoir fait observer qu'on peut développer des arguments d'indispensabilité du même genre dans les mathématiques pures et qu'il est peu vraisemblable qu'on puisse rendre compte de l'explication mathématique des faits scientifiques sans rendre compte également de l'explication dans les mathématiques pures, j'en suis venu à l'examen de ce second type d'explication. L'histoire de la philosophie des mathématiques montre le rôle conceptuel majeur qu'a joué l'opposition entre les preuves qui convainquent sans expliquer, et celles qui, non contentes de produire la conviction requise que le résultat est vrai, montrent également pourquoi il l'est. Du point de vue philosophique, et comme je l'ai montré dans un travail précédent, cette tradition remonte à la distinction aristotélicienne entre les preuves *to oti* et *to dioti*, et elle

a derrière elle un riche passé qui va, entre autres, de la Logique de Port Royal (écrite par Arnaud et Nicole) à Cournot, en passant par Bolzano. L'opposition entre preuves explicatives et non-explicatives n'est pas seulement un produit de la réflexion philosophique : elle se présente à nous comme une donnée de la pratique mathématique. Un mathématicien (ou une communauté de mathématiciens) pourrait trouver la preuve d'un certain résultat absolument convaincante, et néanmoins en être insatisfait car elle ne fournirait pas une explication du fait en question. Une fois ce point mis en évidence à partir de l'œuvre de certains mathématiciens (en particulier Mordell et Brumfiel), j'ai discuté les deux principales théories de l'explication mathématique dont on dispose aujourd'hui, celle de Steiner et celle de Kitcher, et j'ai relevé leurs défauts en m'appuyant sur plusieurs articles récents. ■

Traduction : Jean-Jacques Rosat

1. L'argument d'indispensabilité est un argument en faveur du réalisme mathématique : si une notion ou une propriété mathématique est indispensable pour expliquer un fait physique ou biologique, l'entité mathématique correspondante doit nécessairement exister. (NdT)

LEÇONS INAUGURALES

CHAIRE D'INNOVATION TECHNOLOGIQUE - LILIANE BETTENCOURT
2007-2008**Gérard BERRY**

a donné sa leçon inaugurale le 17 janvier 2008
Son cours intitulé « Pourquoi et comment le monde devient numérique » a commencé le 25 janvier 2008.

Extrait de la leçon inaugurale :

Polytechnicien,
ingénieur
des Mines,
Directeur
scientifique
d'Estere
Technologies

« [...] si la locution 'monde numérique' s'entend partout, ses fondements restent largement ignorés du public, qui semble en permanence surpris par les innovations techniques et les transformations sociales associées. Or, au moins sur le plan technique, l'évolution est largement prévisible, et il n'y a pas de raison d'être surpris par du prévisible. La surprise permanente est plutôt le signe d'un schéma mental mal adapté, ce qui n'est pas étonnant car l'information synthétique est encore pauvre dans ce domaine qui ne repose pas sur des bases enseignées classiquement. L'ambition de cette leçon inaugurale est d'aider à construire un schéma mental approprié, autrement dit un *bon sens informatique*, en expliquant pourquoi le monde devient numérique, comment les transformations correspondantes se passent, et quels concepts et outils elles utilisent.



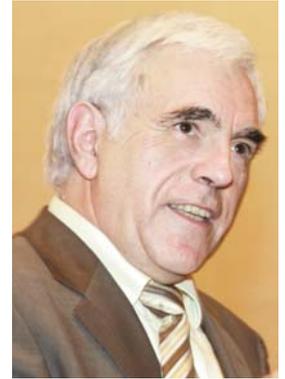
La leçon inaugurale est disponible aux éditions Fayard. La vidéo est téléchargeable sur le site internet du Collège de France.

L'ensemble des transformations associées à la numérisation repose sur quatre piliers. En premier lieu vient l'idée de représenter et de manipuler de façon homogène toute information quelle que soit sa nature, rompant l'identification ancestrale entre type d'information et support physique. En deuxième, viennent les extraordinaires progrès des circuits électroniques, logiciels et systèmes de transmission, qui ont permis de construire des machines à information de plus en plus puissantes et de moins en moins chères, puis de les connecter à très grande échelle. En troi-

sième vient l'essor des nouvelles sciences de l'information : informatique, traitement du signal, automatique, etc., qui s'appliquent avec succès à toujours plus de domaines. Enfin, vient la richesse des applications, elle-même due à un exceptionnel niveau d'innovation technologique et industrielle, comme on n'en trouve que dans les grandes révolutions industrielles.

La vitesse d'évolution de la technologie informatique et de ses impacts n'échappe à personne. Elle est évidente sur Internet : mise en ligne de milliards de documents scrutés par des moteurs de recherches, forums mondiaux, encyclopédies éditées par les lecteurs, cartes et photos aériennes interactives, généralisation de l'administration à distance, téléphone gratuit qui éclipse à grande allure le 'vieux' téléphone commuté, téléchargements massifs de musique et de films, etc. Mais il y a bien d'autres domaines tout aussi essentiels : la carte à puce, le téléphone portable, la localisation GPS, l'automatisation croissante des transports et de leur sécurité, le bouleversement de la médecine par l'imagerie moderne, la conception assistée par ordinateur des objets et des procédés complexes dans tous les domaines, la diminution de la consommation d'énergie par le pilotage fin des moteurs, la détection de toutes sortes de situations dangereuses, etc., et, dans un tout autre domaine, de nouvelles formes de création artistique. Ces nouvelles applications ne font pas que rendre des petits services, mais changent profondément nos façons de faire. Prenons un seul exemple : avec le GPS ou les cartes interactives du monde, on dispose simultanément de toutes les échelles sur la même carte ; on peut associer très simplement photos et cartes, rester magiquement au centre de la carte même en se déplaçant, et sauter de lieu en lieu rien qu'en tapant ou en cliquant sur leurs noms. Ces choses sont évidemment impossibles avec les cartes papier traditionnelles. On peut aussi recevoir l'état de la circulation en temps réel, ce qui ouvre la perspective d'une gestion globale du trafic dans les villes. [...] » ■

ÉDITORIAL



Pr Gérard Berry
titulaire de la chaire d'Innovation
technologique - Liliane Bettencourt
Année académique 2007-2008

Une année numérique au Collège de France

Palo Alto, Californie, un dimanche de mars 2007. Coup de téléphone : j'ai été élu sur la chaire d'innovation technologique - Liliane Bettencourt pour l'année 2008. Cette nouvelle déclenche immédiatement en moi un branle-bas de combat intérieur et trois questions : quel enseignement, pour quel public, et avec qui ? Ceci sous la seule contrainte du Collège de France : la condamnation à la liberté. Pour moi, chercheur puis directeur scientifique industriel en informatique – sujet qui n'a jamais été enseigné au Collège de France mais qui est un champ privilégié d'innovation technologique que je connais sous plusieurs facettes – c'est un bonheur que d'avoir le choix du thème. Celui que je retiens rapidement me tient à cœur depuis longtemps : expliquer de façon synthétique, mais précise, pourquoi et comment le monde devient numérique.

L'existence de la révolution numérique est aujourd'hui évidente pour tous. Commencée à la fin du XX^e siècle dans les entreprises et dans les sciences, elle a contaminé au début du XIX^e la plupart des objets et des pratiques du quotidien : industrie, transports, communication, culture, etc. Mais elle n'en est encore qu'à ses débuts, et va s'amplifier de façon majeure dans les années à venir avec l'informatisation massive des objets et leur mise en réseau. D'ici dix ans, on comptera plusieurs centaines d'objets informatisés par personne. Il y aura donc des centaines de milliards d'ordinateurs de tous genres et de toutes fonctions avec lesquels nous interagissons sans même le savoir (ils sont déjà bien plus nombreux que les êtres humains). Un phénomène aussi massif mérite évidemment explication.

Or, au travers de nombreuses discussions avec des personnes de tous bords et de tous âges, j'ai pu constater que la connaissance des fondements et de la structure du nouveau monde numérique dans le public restait très parcellaire, disparate, fondée essentiellement sur une mosaïque de détails. Si l'on trouve beaucoup d'articles et d'ouvrages sur les conséquences sociales du numérique, on n'en trouve presque aucun sur ses causes et sa dynamique interne. Pour tenter une analogie, c'est un peu comme si

l'ensemble des phénomènes physiques auxquels nous sommes confrontés (la pluie et le beau temps, la chute des corps, etc.) étaient présentés sans lien les uns avec les autres et analysés sans référence à des principes fondamentaux. En physique, ce n'est plus le cas depuis longtemps ; en informatique, cela reste la norme. Beaucoup de gens s'avouent constamment surpris par les bouleversements numériques qu'ils observent, qui sont pourtant largement prévisibles. Être constamment surpris par du prévisible : n'est-ce pas le signe d'un schéma mental mal adapté, qu'il convient donc de mettre à jour ?

Chez beaucoup d'adultes, le fait de se trouver pris au dépourvu en permanence s'accompagne de perplexité, voire d'une certaine hostilité. Au contraire, pour les enfants, le numérique est « facile » et fait partie du monde, un peu comme la mer ou la montagne. Ces deux réactions opposées ont en fait un point commun dangereux : l'ignorance des phénomènes centraux et de leurs causes, qui conduit à diverses formes de passivité et de dépendance, toujours préjudiciables à terme. Il faut ajouter à cela une confusion constante entre « monde numérique » et « utilisation d'un ordinateur », ou plus récemment « utilisation d'Internet », qui n'en sont que deux aspects superficiels. Cette vue réductrice domine malheureusement l'enseignement primaire et secondaire, et même une partie du monde scientifique traditionnel. Il me paraissait indispensable d'expliquer au contraire pourquoi l'uniformisation du traitement de l'information révolutionne des sujets aussi divers que la communication entre les gens, l'audiovisuel, la conception et la conduite des voitures ou des avions, l'imagerie médicale, etc. Pour le profane, ces sujets sont disjoints. Pour l'informaticien que je suis, ils ne font qu'un.

Expliquer en termes simples ce qu'est vraiment le monde numérique : quel meilleur objectif pour cette année ? L'exercice ne m'était pas inconnu. J'avais déjà fait de nombreuses conférences sur le « pourquoi » devant des audiences très variées, allant d'écoles ou de lycées à des associations culturelles regroupant des scientifiques, des littéraires et des artistes.

J'avais pu à chaque fois constater l'intérêt immédiat des auditeurs pour le nouveau type d'explication que je proposais et leur étonnement quant à la simplicité et à la beauté des concepts sous-jacents. Le thème de la leçon inaugurale était donc tout trouvé, avec une organisation en quatre parties : les principes et l'intérêt fondamental de la numérisation uniforme de l'information ; l'évolution de la prodigieuse machine à information qu'est l'ordinateur avec tous ses avatars ; la très rapide évolution de la science informatique, qui reste largement inconnue du public même scientifique ; enfin, l'impact du monde numérique sur la société, la science et l'enseignement.

Le reste de l'enseignement se devait d'approfondir davantage les aspects techniques. Je choisis donc de couvrir en huit cours les pans principaux du « comment », avec comme objectif de faire vivre les bonnes notions sans perdre l'auditoire dans les détails, équilibre délicat qui serait la clef de la réussite. Je choisis de traiter un grand sujet par cours, avec une synthèse finale sous forme de réponse aux questions reçues pendant les cours. C'était une gageure : est-il vraiment réaliste de prétendre traiter en une séance d'une science aussi riche que l'algorithmique ? Mais le défi me plut : pour la première entrée de l'informatique au Collège, autant y mettre l'ambition ! Je savais aussi que je pouvais m'appuyer sur mes collègues, dont beaucoup partagent mes préoccupations. Je choisis donc de couper chaque séance en deux parties : une heure de cours par moi-même et une heure de séminaire par des chercheurs ou industriels de grand talent. Enfin, je décidai de compléter le cours par un colloque en deux parties traitées par des experts de grand renom : une matinée « bio-informatique », sujet que je n'appréhende que partiellement mais qui me semble être une grande voie d'avenir, et une après-midi plus « informatique » autour de deux grandes questions : la sécurité de l'information au sens large et l'irruption des objets dans le Web.

En ce qui concerne le public, je devais m'adresser à quatre populations distinctes : le public traditionnel du Collège, que j'imaginai varié et attentif, les étudiants en informatique, les chercheurs et enseignants du domaine, et les internautes qui téléchargeraient les vidéos. Je voyais bien comment parler à la première population – j'en ai une certaine habitude – ainsi qu'à la dernière, inconnue par définition, mais que j'estimais similaire. Pour le public des deux autres catégories, plus spécialisé, le risque était d'engendrer une frustration par manque d'approfondissement technique. Je choisis donc d'essayer de montrer comment on peut voir et enseigner un sujet aussi vaste de façon synthétique et ramassée. L'enjeu était qu'un seul discours s'adresse aux quatre populations, ce qui me demanda un travail de préparation considérable, mais que j'espère bien

réexploiter à d'autres occasions et rendre disponible à d'autres. Les treize conférenciers des séminaires se sont pliés à la même exigence, et je pense qu'ils ont aussi trouvé l'exercice assez fascinant.

La leçon inaugurale est un grand moment personnel. L'amphithéâtre Marguerite de Navarre est magique, et le public le meilleur que l'on puisse trouver. J'avais toujours pensé qu'il y avait deux maux dont je ne souffrirais jamais : le trac et le mal de mer. Je me trompais, au moins pour le trac. Au fur et à mesure des cours, j'ai pris possession de ce lieu remarquable, et la fin de la dernière séance fut pour moi un petit déchirement.

Le Collège de France reste une des rares institutions au monde où l'on peut faire ce genre de cours devant une assistance nombreuse, fidèle et motivée, aujourd'hui décuplée par la diffusion sur Internet. Son prestige est considérable, comme j'ai pu le mesurer aux nombreuses invitations à la radio et à la télévision qui ont accompagné mon cours (ma préférence va à la radio, qui laisse libres les mains et les yeux de l'auditeur et qui sollicite davantage son libre-arbitre). Le Collège est évidemment aussi un merveilleux endroit pour travailler et pour développer ses propres réflexions au contact des autres professeurs.

Je remercie du fond de mon cœur la fondation Bettencourt Schueller, qui a créé et soutient la merveilleuse chaire d'innovation technologique, l'assemblée des professeurs, qui m'a élu sur cette chaire, Pierre Corvol, l'Administrateur du Collège de France, dont l'aide a été considérable, toute l'équipe administrative et technique dont la simplicité et l'efficacité ne se sont jamais démenties, et tous les intervenants de mon cours et du colloque. Cette expérience restera pour moi la plus passionnante de mon histoire professionnelle. ■



INFORMATIQUE ET BIO-INFORMATIQUE

Colloque organisé par le Pr Gérard Berry (chaire d'Innovation technologique - Liliane Bettencourt 2007-2008)
23 mai 2008
Conférence prochainement disponible en vidéo, page du Pr Berry
www.college-de-france.fr

Le cours « Pourquoi et comment le monde devient numérique » a été donné par Gérard Berry dans le cadre de la chaire d'innovation technologique - Liliane Bettencourt 2008 du Collège de France. Il s'est terminé le 23 mai par un colloque en deux volets : une matinée consacrée à la bio-informatique et une après-midi consacrée à deux sujets informatiques fondamentaux complétant le cours : le web des objets et la sécurité informatique.

La bio-informatique est une discipline en plein essor, surtout connue à l'heure actuelle par le séquençage du génome. Le colloque s'est attaqué à un autre aspect tout aussi prometteur : la modélisation des phénomènes biologiques vus comme actions de systèmes d'informations. Le but est d'apporter des points de vue systémiques nouveaux, en conciliant deux approches : l'approche montante des biologistes, qui explorent les micro-mécanismes biochimiques et essaient d'en déduire les comportements globaux, et l'approche descendante des informaticiens, qui conçoivent des mécanismes abstraits de transport et de manipulation d'informations, puis les réalisent en composant des actions élémentaires.

Le premier exposé, par Philippe Kourilsky, professeur au Collège de France, titulaire de la chaire d'Immunologie moléculaire, a été consacré au système immunitaire vu comme un grand système d'informations. Ce système utilise des mécanismes de signalisation très complexes et à très grande échelle pour réagir aux agressions, tout en possédant des capacités d'apprentissage. L'exposé a montré pourquoi une approche systé-

mique modulaire devient fondamentale pour mieux le comprendre. Le second exposé, par François Fages, directeur de recherches à l'INRIA, a montré comment modéliser et analyser qualitativement et quantitativement les réactions complexes en biochimie cellulaire à l'aide de méthodes formelles informatiques. Ceci se fait en décrivant les réactions à l'aide de « machines abstraites biologiques » et en les étudiant à l'aide de techniques classiques de preuves de programmes. Le troisième exposé, par Alexandre Pouget, professeur associé à l'Université de Rochester et actuellement en année sabbatique au Collège de France, a présenté les neurosciences computationnelles, qui étudient les processus de calcul et d'évaluation qu'utilise le cerveau pour concevoir et effectuer nos actes. Ces approches suggèrent que le cerveau travaille de façon essentiellement probabiliste, et que les émotions pourraient être vues comme des processus d'optimisation très efficaces. Sur ces trois sujets, la discussion avec la salle a été intense et fructueuse, montrant l'intérêt de ce rapprochement d'orateurs qui ne se connaissaient pas au préalable.

L'après midi a débuté par un exposé de Alberto Sangiovanni-Vincentelli, professeur à l'université de Berkeley et directeur du GIE européen PARADES à Rome. Il a décrit l'irruption imminente d'une quantité énorme d'objets informatisés de tous types dans le réseau global : micro-capteurs, micro-puces et micro-actuateurs, autonomes ou intégrés aux systèmes déjà existants, et assurant toutes sortes de fonctions de surveillance ou d'action. Cette nouvelle révolution aura des effets majeurs dans tous les domaines de l'ingénierie, de l'écologie, de la sécu-



Pr Gérard Berry et Pr Philippe Kourilsky

rité, de la santé, de l'aide aux personnes dépendantes, etc. L'orateur a particulièrement insisté sur la nécessité d'une nouvelle approche pluridisciplinaire, mêlant informatique, théorie du contrôle, et nano-mécanique. Le dernier exposé, par Martin Abadi, professeur à l'université de Santa Cruz (Californie) et chercheur chez Microsoft, était concerné au problème général de la sécurité informatique. L'exposé a montré comment transférer et protéger les informations de façon robuste aux attaques extérieures, à l'aide d'un mélange d'algorithmes cryptographiques et de protocoles de sécurité fondés sur des successions subtiles de messages échangeant des clefs et des données. Ce problème techniquement très délicat est évidemment crucial pour toutes les applications à venir, et ne fera que grandir avec la généralisation de la délocalisation des données et des applications. ■

Pr Gérard Berry



Prix Abel 2008

Pr Jacques Tits

L'Académie norvégienne des Sciences et des Lettres a choisi d'attribuer le Prix Abel 2008 à John Griggs Thompson, Université de Floride, et Jacques Tits, Collège de France, « pour leurs profondes découvertes en algèbre et en particulier dans la formation de la théorie moderne des groupes ».

L'Académie justifie ce choix (cf. le site web du prix Abel) en rappelant que l'algèbre moderne est le fruit de deux traditions anciennes des mathématiques, l'art de résoudre des équations, et l'utilisation de la symétrie comme par exemple, cas particulièrement simple, dans les motifs des carreaux de l'Alhambra. Les deux traditions se sont rencontrées à la fin du XVIII^e siècle, quand on a compris que la clé de la compréhension des équations même les plus simples se trouve dans les symétries de leurs solutions. Cette vision a été brillamment mise en œuvre par deux jeunes mathématiciens, Niels Henrik Abel et Evariste Galois, au début du XIX^e siècle. Elle a finalement mené à la notion de groupe, la manière la plus puissante d'appréhender l'idée de symétrie. Au XX^e siècle, l'approche théorique des groupes a été un ingrédient crucial du développement de la physique moderne : de la compréhension des symétries cristallines à la formulation de modèles pour les particules et les forces fondamentales.

En mathématique, l'idée de groupe s'est révélée prodigieusement fertile. Les groupes les plus importants sont les



Jacques Tits, au centre, lors de la remise du prix par le roi Harald à Oslo.

groupes finis, intervenant par exemple dans l'étude de permutations, et les groupes linéaires, qui sont constitués des symétries qui préservent une géométrie sous-jacente. Le travail des deux lauréats a été complémentaire : John Thompson s'est concentré sur les groupes finis, tandis que Jacques Tits a surtout travaillé sur les groupes linéaires.

Jacques Tits a élaboré une nouvelle vision des groupes comme objets géométriques. Il a introduit notamment le concept de ce qu'on appelle aujourd'hui un immeuble de Tits, qui encode en termes géométriques la structure algébrique des groupes linéaires. La théorie des immeubles est un principe unificateur dans une palette étonnante d'applications, en mathématique et en physique, dans la géométrie combinatoire utilisée dans l'informatique, et dans

l'étude des phénomènes de rigidité dans les espaces à courbure négative. L'approche géométrique de Tits a été essentielle pour l'étude et la construction des groupes finis. Ses résultats ont inspiré de nombreuses variantes et applications.

Les travaux de J. Thompson et de J. Tits ont eu un impact extrêmement profond et influent. Ils se complètent et forment ensemble la colonne dorsale de la théorie moderne des groupes (source : site web du prix Abel).

Le Prix Abel, créé en 2002 par le gouvernement norvégien, est considéré comme la distinction internationale la plus élevée en mathématiques. C'est la seconde fois qu'un professeur du Collège de France reçoit le Prix Abel. Le professeur Jean-Pierre Serre en a été lauréat en 2003, la première année d'attribution de ce prix. ■

Abel par Johan Gjerbitz, 1826 © Matematisk institutt, Univ. i Oslo



Niels Henrik Abel (1802-1829), était un mathématicien norvégien. L'un de ses maîtres reconnus et encouragea son prodigieux talent : à quinze ans, il lisait Euler, Gauss, Lagrange. À son entrée à l'université, en 1821, il avait déjà commencé ses travaux sur les équations du cinquième degré. La mort de son père le contraignit à une vie laborieuse

pour subvenir aux besoins de sa famille. Son premier article fut publié en 1823. Le gouvernement lui décerna une bourse destinée à financer un séjour à Göttingen et à Paris, les principaux centres de recherche en mathématiques.

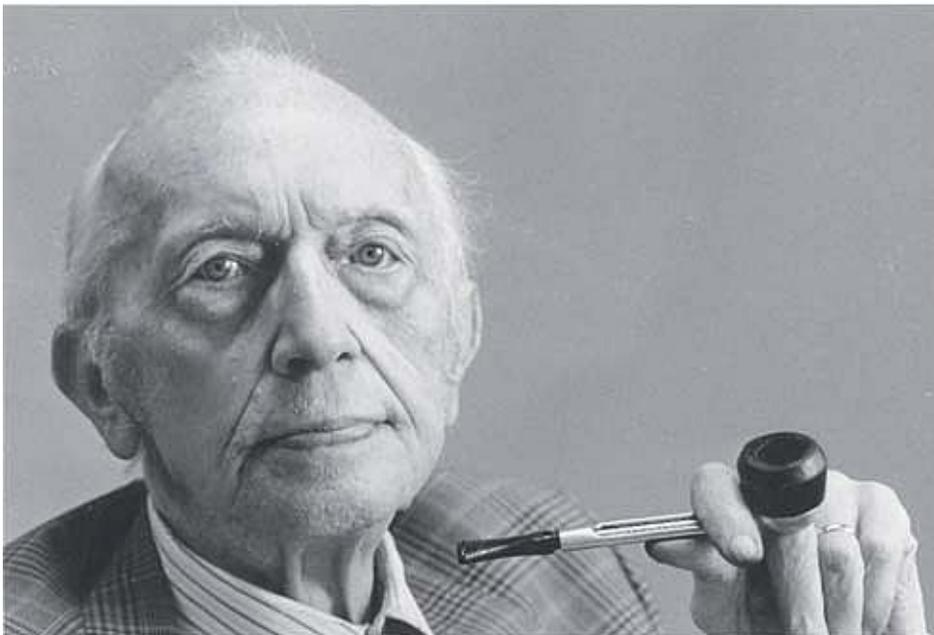
En 1825, il se rend à Berlin où il rencontre Léopold Crelle, qui entreprend de créer un journal de mathématiques, le *Journal für die reine und angewandte Mathematik*. Dans son premier numéro figurent sept articles d'Abel. Il rejoint Paris en 1826, réservant pour l'Académie parisienne le meilleur de ses travaux, consigné dans un mémoire intitulé *Recherches sur une propriété générale d'une classe très large de fonctions transcendentes*. Mais Abel, encore inconnu, est

traité sans égards. Cauchy égare le mémoire qu'il était chargé de présenter à l'Académie – Abel pensa toute sa vie que son travail est perdu. Lassé, à court d'argent, il retourne en Norvège, et apprend qu'il souffre de tuberculose. Malgré sa position professionnelle et financière précaire, il publie dans le journal de Crelle une succession de traités sur les équations algébriques, les fonctions elliptiques et les séries infinies, ouvrant des voies nouvelles dans chacun de ces domaines. En même temps que Jacobi, il crée la théorie des fonctions elliptiques. Il meurt à vingt-sept ans, le 6 avril 1829. Le 8 avril, on annonce à Paris que le mémoire d'Abel a été retrouvé. L'Académie lui décerna à titre posthume son grand prix de mathématiques.

© Heiko Junge/Scampix - The Abel Prize/The Norwegian Academy of Science and Letters

Prix André Lichnerowicz pour la géométrie de Poisson

André Lichnerowicz fut titulaire au Collège de France de la chaire de *Physique mathématique* de 1952 à 1986.



- 1 Le prix André Lichnerowicz pour la géométrie de Poisson a été créé en 2008.
- 2 Il sera attribué tous les deux ans en reconnaissance de contributions notables à la géométrie de Poisson, lors de la « Conférence internationale sur la géométrie de Poisson en mathématiques et en physique » (« International Conference on Poisson Geometry in Mathematics and Physics »), à des chercheurs ayant soutenu leur doctorat huit ans au plus avant l'année de la Conférence.

- 3 Le prix est établi à la mémoire d'André Lichnerowicz (1915-1998) dont les travaux fondamentaux furent essentiels dans la création de la géométrie de Poisson comme branche des mathématiques. Il est décerné par un jury composé des membres du comité scientifique de la Conférence qui peuvent inviter des membres du comité d'organisation à participer aux délibérations et au vote. En 2008, le financement de 500 euros pour chaque lauréat du prix a été fourni par l'institution responsable de la Conférence, le Centre Interfacultaire Bernoulli de l'école Polytechnique fédérale de Lausanne.
- 4 Le prix pour l'année 2008 a été décerné à Henrique Bursztyn et Marius Crainic, le 7 juillet 2008 à l'EPFL à Lausanne.
- 5 Henrique Bursztyn est titulaire d'un doctorat de mathématiques, soutenu en 2001 à l'Université de Californie à Berkeley sous la direction d'Alan Weinstein.
- 6 Il a été chercheur post-doctorant au Mathematical Sciences Research Institute (MSRI) à Berkeley, à l'université de Toronto et au Fields Institute, et a été nommé chercheur associé à la chaire Arminio Fraga de l'Instituto Nacional de Matematica Pura e Aplicada (IMPA) à Rio de Janeiro en 2005. Ses nombreuses publications vont de la théorie de quantification par déformation à l'équivalence de Morita dans la catégorie des variétés de Poisson et dans celle des groupoïdes symplectiques. Ses travaux en géométrie de Dirac ont non seulement fait progresser le sujet, ils ont aussi été une source d'inspiration pour de nombreux développements ultérieurs.
- 7 Marius Crainic a soutenu son doctorat de mathématiques en 2000 à l'Université d'Utrecht sous la direction d'Ieke Moerdijk. Il a ensuite été lauréat de bourses de recherche prestigieuses à l'Université de Californie à Berkeley et à l'Université d'Utrecht, où il enseigne actuellement. Ses travaux sont une contribution importante à la théorie des groupoïdes de Lie et leurs applications à la géométrie non commutative, à la théorie des feuilletages, la cohomologie des algébroïdes de Lie, aux théories

d'application moment et aux questions de rigidité et de stabilité en géométrie de Poisson. Avec Rui Loja Fernandes il a résolu le difficile problème de généraliser le troisième théorème de Lie du cas des groupes de Lie à celui des groupoïdes de Lie, et il en a obtenu plusieurs applications en géométrie de Poisson.

- 8 La première remise du « Prix André Lichnerowicz pour la géométrie de Poisson » a coïncidé avec le dixième anniversaire de la mort de Lichnerowicz.

Éditorial

L'enseignement de l'informatique et des sciences numériques au Collège de France

Pierre Corvol



Pr Pierre Corvol

- 1 C'est entendu, le monde est devenu numérique : la formule n'étonne plus personne, parce que tout le monde côtoie et utilise quotidiennement les objets et les technologies « numériques ». Signe des temps, même les seniors s'y sont mis. Au début, ils ont eu un peu de mal à apprivoiser Internet mais le défi de communiquer par mail – par *chat* pour les plus audacieux – avec leurs petits-enfants l'a emporté, et comme tout le monde ils se sont retrouvés à faire du numérique, comme Monsieur Jourdain de la prose, sans y penser. Et voilà que désormais, dans les

maisons de retraite, les consoles de jeux informatiques sont devenues la dernière attraction à la mode.

- 2 Une fois admis ce constat, reste à comprendre « pourquoi et comment le monde devient numérique » : c'était précisément l'objet et le titre du cours donné au Collège de France par le professeur Gérard Berry, titulaire en 2007-2008 de la chaire d'Innovation technologique -Liliane Bettencourt. Il s'agissait du premier enseignement d'informatique au Collège de France.
- 3 Le mot « informatique » a été créé en 1962 par Philippe Dreyfus, ancien directeur du Centre national de calcul électronique de Bull. Selon le *Dictionnaire historique de la langue française*, il désigne « la science et l'ensemble des techniques automatisées relatives aux informations (collecte, mise en mémoire, utilisation, etc.) et l'activité économique mettant en jeu cette science et ces techniques ». Devenu un mot du langage courant, l'informatique désigne donc pêle-mêle une science née dans les années 1930 de la logique mathématique, mais aussi les objets et techniques qui en sont issus - ordinateurs, téléphones portables, internet, GPS, DVD, télévision numérique terrestre, etc.
- 4 Ces objets sont devenus familiers, mais la science qui les sous-tend est généralement mal connue. Or la science informatique est devenue en peu de temps un enjeu stratégique non seulement du point de vue technologique et économique, mais aussi du point de vue scientifique et sans doute aussi d'un point de vue philosophique. Elle est au cœur de la révolution numérique.
- 5 Dans l'histoire des cultures humaines, l'externalisation de la mémoire et l'invention de l'écriture ont été décisives parce qu'elles permettaient de pérenniser l'information, de la conserver et de la diffuser largement. Inscrit sur un support matériel durable, le savoir n'est plus dépendant de la mémoire d'un homme et il peut être communiqué à tous, sans limite de temps. L'avènement de l'informatique au cours de la deuxième moitié du xx^e siècle et le développement explosif de ses usages ont conduit à une

modification extrêmement rapide du mode d'inscription matérielle et de stockage de l'information : toute information, quelle que soit sa forme – texte, image fixe ou animée, son, etc. – peut être représentée, stockée, reproduite, traitée et communiquée sous une forme codée numériquement. Ce procédé a eu des conséquences industrielles considérables et a transformé la vie quotidienne. Il a aussi bouleversé la recherche scientifique. L'informatique ouvre en effet pour de nombreuses autres sciences des horizons et des territoires jusque là insoupçonnés, en démultipliant la puissance de calcul et en créant des possibilités radicalement nouvelles de simulation et de modélisation.

- 6 La science informatique est profondément liée aux mathématiques. Elle les utilise pour formaliser et étudier les problèmes spécifiques que l'on peut répartir en trois grands domaines : la théorie de l'information, qui traite du codage, du transport, du stockage et du cryptage de l'information ; l'algorithmique, qui s'intéresse aux moyens d'effectuer les opérations de calculs de façon correcte et efficace ; la théorie de la programmation, qui concerne les moyens de réaliser physiquement les algorithmes abstraits sur les machines et les réseaux et de vérifier la correction des circuits et des programmes obtenus.
- 7 Elle conduit aussi à de nouvelles questions et à des solutions mathématiques fondamentales dans des domaines tels que la géométrie algorithmique, la théorie des nombres, la théorie des modèles, la logique formelle. Toutefois, la science informatique se différencie des mathématiques par les objets qu'elle étudie de façon préférentielle et par la contrainte de concrétisation effective de ses concepts.
- 8 Désormais, au même titre que les mathématiques, l'informatique joue un rôle essentiel dans la plupart des autres sciences, d'où la référence aux sciences numériques dans le titre de la chaire « Informatique et sciences numériques ». La mathématisation traditionnelle des sciences s'appuie sur la mise en équation des phénomènes naturels et la résolution de ces équations. Ce processus est limité par les capacités du cerveau humain.

L'informatique permet de repousser ces limites : elle étend les capacités du cerveau humain au point que, virtuellement, les seules limites sont celles qui sont inhérentes au traitement de l'information ou à la calculabilité elle-même.

- 9 Au-delà du calcul, l'informatique révolutionne bien d'autres aspects de la recherche scientifique. La numérisation de l'instrumentation est devenue centrale en astronomie, en physique et en imagerie médicale. En biologie, la modélisation et la simulation du vivant sont des sujets en plein développement. De nouvelles approches mixtes, les neurosciences computationnelles, impliquent des chercheurs des neurosciences et des sciences numériques pour l'étude des mécanismes des opérations et des tâches du cerveau. En médecine, la modélisation numérique des organes se développe et apportera une aide au diagnostic et au traitement des maladies.
- 10 L'informatique est partout. Et dans les écoles, on insiste aujourd'hui sur la nécessité de développer, à côté du lire-écrire traditionnel, ce qu'on appelle en anglais la *digital literacy*, qu'on pourrait traduire par un paradoxe « alphabétisation numérique ». Le terme désigne la connaissance et la maîtrise des technologies numériques pour, selon la définition de la version anglophone de Wikipedia, « localiser, organiser, comprendre, évaluer et créer de l'information ». Mais si l'on veut développer une véritable culture numérique, peut-on encore se permettre d'ignorer les fondements de cette science informatique qui est devenue si fondamentale ?
- 11 Voilà la mission du Collège de France. Nous vivons, tous, les changements du monde – chaotiques ou ordonnés, brutaux ou presque imperceptibles, indifférents ou fascinants. Quelques-uns, chacun dans son domaine, possèdent des clés qui permettent de les déchiffrer, de les comprendre, d'en percevoir le sens. À ceux-là, le Collège de France donne la parole. Il s'efforce de porter leur voix vers un public aussi vaste que possible.

12 L'intérêt suscité par le cours de Gérard Berry et la large audience qu'il s'est attirée nous ont convaincu qu'il fallait développer cet enseignement sur l'informatique. C'est pourquoi le Collège, en partenariat avec l'Institut national de recherche en informatique et automatique (INRIA), a créé pour cinq ans une chaire intitulée « *Informatique et sciences numériques* ». Elle accueillera chaque année un nouveau titulaire, de manière à présenter les multiples facettes de cette science. Cette nouvelle chaire manifeste la reconnaissance de l'informatique en tant que discipline scientifique autonome au sein du Collège de France. Elle témoigne de la volonté commune du Collège de France et de l'INRIA de diffuser une recherche et un enseignement de haut niveau dans un domaine où notre pays occupe déjà une place importante au niveau international.

AUTEUR

PIERRE CORVOL

Administrateur du Collège de France

Chaire d'Informatique et sciences numériques, année académique 2009-2010

Gérard Berry

NOTE DE L'ÉDITEUR

La leçon inaugurale sera disponible prochainement aux éditions Fayard.
La vidéo est disponible sur le site internet du Collège de France.



Pr Gérard Berry

© P. Imbert, Collège de France

1 *Extrait de la leçon inaugurale :*

« La révolution numérique actuelle a pour racine le *calcul informatique*,

c'est-à-dire le calcul automatique sur des informations encodées numériquement. Fondée sur l'information et non sur la matière et l'énergie, elle est plus proche des anciennes révolutions de l'écriture et de l'imprimerie que de la récente révolution industrielle. Si ces trois révolutions antérieures gardaient un côté matériel, visible et palpable, qui les rendait compréhensibles par tout un chacun, cet aspect concret et rassurant a disparu dans le nouveau monde numérique. En particulier, la notion sous-jacente de calcul automatique est invisible et reste mal connue du public. Qui se rend compte qu'imprimer un texte, regarder la télévision, téléphoner ou piloter un avion se font par l'exécution ordonnée de milliards de calculs élémentaires, les mêmes partout ? Qui sait que maîtriser l'informatique est fondamentalement difficile, et demande une validation dans tous les détails de la correction des calculs réellement effectués par rapport à ce qu'a pensé leur concepteur ?

- 2 Dans cette année d'enseignement au Collège de France, je me concentrerai sur le calcul automatique comme objet de réflexion scientifique et technique. Je décrirai les différents principes à l'œuvre et leur réalisation dans des *modèles de calcul*, objets centraux de cette réflexion. Je montrerai comment les modèles se différencient et se rejoignent, comment ils peuvent et doivent coopérer, et pourquoi il faut transformer le calcul lui-même en objet de calcul. Sans les détailler, je présenterai les aspects clefs des modèles de calcul les plus importants ; le lecteur trouvera plus d'information dans les vidéos et notes du cours complet. Je ferai aussi quelques références à mon cours précédent dans lequel j'avais insisté sur l'importance de l'uniformité de la numérisation de tous les types d'informations et présenté les grands pans de la science informatique.
- 3 Même si les modèles de calcul sont de nature conceptuelle et théorique, je les mettrai toujours en relation avec leurs impacts pratiques. Dans l'industrie informatique comme ailleurs, les ingénieurs ne changent de méthode que lorsqu'ils y sont obligés par les surcoûts dus à la perte de

maîtrise de leur sujet. L'influence des progrès présentés ici reste donc lente. Mais elle est inéluctable, tant les difficultés pratiques rencontrées augmentent avec l'explosion du nombre d'applications, la complexité croissante des machines et réseaux, et le coût des bogues et des problèmes de sécurité. L'amélioration indispensable de la qualité des processus informatisés passera par le développement de la science fondamentale décrite ici.

- 4 Si modéliser le calcul est indispensable pour maîtriser les applications informatiques, ce n'est bien sûr pas suffisant. Il faut aussi dominer la science algorithmique et la technologie du génie logiciel, c'est-à-dire de la création et de la maintenance des programmes. Beaucoup des inventions importantes de la programmation moderne (structures de données, modules, interfaces, objets, aspects, etc.) aident significativement le développement humain des applications, mais n'ont qu'un impact limité sur les calculs réellement exécutés. Elles ne seront donc pas considérées ici.



© P. Imbert, Collège de France

- 5 *La nécessité des modèles*

Pourquoi parler de plusieurs principes et modèles de calcul, alors que tous les ordinateurs actuels fonctionnent de la même façon et ne

semblent différer que par leur marque, leur vitesse et leur prix ? C'est qu'il convient de distinguer immédiatement deux niveaux fort différents : celui de la *pensée* du calcul, humaine, et celui de *l'exécution* du calcul, mécanique. La pensée algorithmique est l'apanage de nos cerveaux lents mais pleins d'intuition ; l'exécution est le fait de notre électronique hyper-rapide mais totalement dénuée de jugeote. Maîtriser le chemin de l'une à l'autre est difficile. »

RÉSUMÉS

Gérard Berry, chercheur à l'Institut national de recherche en informatique et automatique (INRIA), Président de la commission d'évaluation de l'INRIA, a donné sa leçon inaugurale le 19 novembre 2009. Son cours intitulé « Penser, modéliser et maîtriser le calcul » a commencé le 25 novembre 2009.

INDEX

Mots-clés : informatique

Ouverture de la chaire Informatique et sciences numériques

Michel Cosnard

NOTE DE L'ÉDITEUR

Le 10 novembre dernier, le Collège de France et l'Institut national de recherche en informatique et automatique (INRIA) ont présenté à la presse les objectifs poursuivis en créant une chaire dédiée à l'informatique et aux sciences numériques.



De gauche à droite : Prs Pierre-Louis Lions, Gérard Berry, Pierre Corvol et M. Michel Cosnard

- 1 Personne ne peut nier l'importance de l'informatique dans notre société. Notre monde devient toujours plus numérique, c'est une évidence. Pas un jour ne se passe sans que chacun d'entre nous n'ait recours, que ce soit dans sa vie privée ou dans sa vie professionnelle, à un appareil ou un service qui témoigne de cela. Nous évoluons dans un monde d'ordinateurs ou plus précisément de circuits électroniques. Outre notre ordinateur personnel ou de bureau, nous côtoyons des machines que nous pouvons assimiler à cette grande famille. Appareils électroménagers, voiture, avion, téléphone portable... sont des cousins de nos ordinateurs. Tous intègrent des puces électroniques qui fonctionnent à partir de logiciels pour réaliser toute une série de tâches prédéfinies.
- 2 À la longue liste d'objets intégrant des programmes informatiques, il faut bien évidemment ajouter les services toujours plus nombreux dont nous bénéficions. Après l'introduction de l'ordinateur personnel dans les années 1980, l'apparition d'Internet au milieu des années 1990 a donné lieu au bouleversement le plus visible en permettant à des centaines de millions de machines d'être connectées. Cette mise en réseau à la croissance continue s'est doublée d'une numérisation des informations mais aussi des produits potentiellement transférables sur Internet. Information et support ne font plus qu'un, révolutionnant complètement des industries comme celles du disque par exemple.
- 3 Il s'agit là d'exemples issus de notre quotidien qui traduisent une évolution profonde de notre société. Car si nous nous « divertissons » ou « consommons numérique », c'est aussi que nous « produisons numérique » voire « concevons numérique ». Rares sont les objets et procédés complexes qui ne sont pas le fruit d'une conception assistée par ordinateur.
- 4 Au-delà de l'ingénierie numérique, la modélisation numérique, la simulation et la visualisation ont transformé pratiquement tous les

domaines scientifiques. Les sciences numériques sont au cœur de la plupart des grands défis interdisciplinaires de notre époque.

- 5 La révolution du numérique représente des enjeux importants, que ce soit sur le plan économique et le plan sociétal. En France, l'annonce début avril 2008 d'un futur plan de développement de l'économie numérique capable de placer la France parmi les grandes nations numériques à horizon 2012 ou plus récemment encore l'écho donné aux débats sur l'élaboration de la loi HADOPI sont emblématiques de ce constat. Ces deux événements soulignent le poids économique associé aux technologies numériques d'un côté comme l'évolution des usages et la nécessité d'accompagner leur évolution de l'autre. On estime notamment à 28 % la part de recherche et développement mondiale consacrée aux sciences et technologies de l'information et de la communication (STIC). Or, que ce soit dans l'optique de créer de la valeur avec des entreprises leaders ou dans celle d'accompagner les nouveaux usages liés aux nouvelles technologies afin de garantir leur acceptation, un même pré-requis s'impose : comprendre les fondements de l'informatique, savoir quels principes régissent ce monde numérique qui nous entoure. De l'ignorance naît l'impossibilité de créer dans un cas, la dépendance voire la crainte et la méfiance vis-à-vis d'un monde inconnu dans l'autre.
- 6 Expliquer la numérisation du monde, donner à nos concitoyens les clés nécessaires à une meilleure compréhension de cette nouvelle société prend dès lors tout son sens. Cela conditionne leurs facultés à appréhender leur environnement de vie, à l'accepter, à en devenir acteur, voire créateur. Nous sommes convaincus que la « fracture numérique » dépasse la seule question de l'équipement, elle relève aussi de schémas de pensée, d'une fracture dans la capacité à faire sienne une autre manière de concevoir notre univers.
- 7 En créant une chaire « Informatique et sciences numériques » au sein du Collège de France, nous franchissons une étape dans la reconnaissance de l'informatique comme une discipline scientifique autonome et

soulignons, par là même, tout l'enjeu de lui consacrer un plus large enseignement. Il n'est plus légitime de devoir attendre une spécialisation dans le cadre d'études supérieures pour bénéficier d'une explication des fondamentaux de l'informatique. Cet enseignement doit s'étendre à des publics plus jeunes. Depuis cette année, le programme de mathématiques en classe de seconde intègre une des notions clés de l'informatique : l'algorithmique. C'est un premier pas, nous nous en réjouissons, mais il faut aller encore plus loin.

AUTEUR

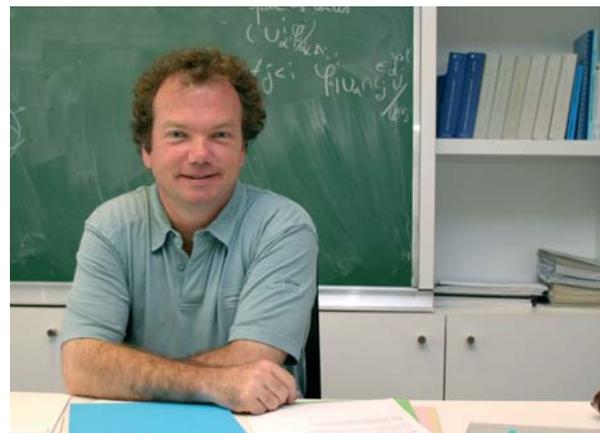
MICHEL COSNARD

Président directeur-général de l'INRIA

UNE ERREUR FÉCONDE DU MATHÉMATICIEN HENRI POINCARÉ

Le prix en l'honneur des 60 ans du roi Oscar et la découverte des orbites homoclines.

Pr Jean-Christophe Yoccoz
titulaire de la chaire d'Équations différentielles et systèmes dynamiques depuis 1997



« ... For, in respect to the latter branch of the supposition, it should be considered that the most trifling variation in the facts of the two cases might give rise to the most important miscalculations, by diverting thoroughly the two courses of events, very much as, in arithmetic, an error which, in its own individuality, may be inappreciable, produces, at length, by dint of multiplication at all points of the process, a result enormously at variance with truth. ... »

Edgar Allan Poe
The mystery of Marie Roget, 1843

« ... Car, relativement à la dernière partie de la supposition, on doit considérer que la plus légère variation dans les éléments des deux problèmes pourrait engendrer les plus graves erreurs de calcul, en faisant diverger absolument les deux courants d'événements ; à peu près de la même manière qu'en arithmétique une erreur qui, prise individuellement, peut être inappréciable, produit à la longue, par la force accumulative de la multiplication, un résultat effroyablement distant de la vérité... »

Trad. Charles Baudelaire, 1864

La citation précédente est sans doute une des premières descriptions de ce qui a, beaucoup plus récemment, été baptisé « effet papillon » : l'idée qu'à cause du caractère instable des évolutions dynamiques associées au système météorologique, le battement d'ailes d'un papillon pourrait sur le long terme être à l'origine de tempêtes et autres cataclysmes. Dans la bouche du chevalier Dupin, c'est à la logique d'une enquête policière plutôt qu'à la météorologie qu'est associée ce phénomène.

Le héros de notre histoire, Henri Poincaré (1854-1912) naît à Nancy, 11 ans après la parution de la nouvelle de Poe. Reçu premier à l'École polytechnique, il soutient en 1879 une thèse dont l'une des parties, le « Mémoire sur les propriétés des fonctions définies par les équations

différentielles », annonce une des directions que prendront ses recherches. Après un bref passage à Caen, il est de retour à Paris dès 1881 et occupera à la Sorbonne à partir de 1886 une chaire de « Physique mathématique et Calcul des probabilités ».

Henri Poincaré est le plus grand mathématicien de son temps, l'un des 4 ou 5 plus importants de tous les temps. Son œuvre s'étend aussi à la physique. Avec Lorentz et Einstein, il est le codécouvreur de la théorie de la relativité restreinte. Par ailleurs, ses textes de philosophie des sciences exercent encore aujourd'hui une influence considérable. Son œuvre proprement mathématique est immense, de la géométrie à l'analyse et la topologie. Il est aussi le fondateur de la théorie des systèmes dynamiques ; c'est à cette partie de ses travaux que se rattache l'épisode qui nous intéresse ici.

Stockholm est certainement l'une des plus belles villes du monde, tout particulièrement au printemps où l'éclosion de la nature et la mer partout présente y créent une atmosphère exceptionnelle. À quelques kilomètres du centre, Djürsholm abrite au bord d'un bras de mer de splendides résidences, dont l'Institut Mittag-Leffler. Cet institut, avec la superbe bibliothèque autour duquel il s'organise, était il y a un siècle la demeure de Gösta Mittag-Leffler (1846-1927), le second personnage de notre histoire. C'est aujourd'hui l'un des hauts lieux de la recherche mathématique en Europe.

Mittag-Leffler fut un mathématicien de tout premier ordre, spécialiste d'analyse complexe, disputant avec le chimiste Alfred Nobel la première place dans le monde scientifique suédois de l'époque. Après un doctorat à Uppsala, il a voyagé à Paris, Berlin, Göttingen, collaborant avec Hermite, Weierstrass, Schering. Il a fondé au début des années 1880 la revue *Acta Mathematica*, qui est toujours aujourd'hui l'une des trois ou quatre revues les plus prestigieuses en mathématiques au plan international.

Mittag-Leffler a su convaincre le roi Oscar de Suède et de Norvège (1829-1907) de soutenir financièrement la fondation d'*Acta*. Le roi, qui a été lui-même étudiant à Uppsala, est un mécène généreux pour l'activité scientifique. Mittag-Leffler propose donc au souverain de financer un prix qui célèbrerait son soixantième anniversaire.

Le jury est constitué de Mittag-Leffler lui-même, de Charles Hermite (1822-1901) et de Karl Weierstrass (1815-1897). La prééminence de ces deux mathématiciens de la génération précédente au sein des écoles française et allemande garantit au prix une large audience.

L'annonce officielle est faite à la mi-1885 ; la date limite de soumission est fixée au 1^{er} juin 1888. Le mémoire vainqueur sera publié dans les *Acta mathematica*, et récompensé d'une médaille d'or accompagnée de 2 500 couronnes (Le salaire annuel de Mittag-Leffler est de 7 000 couronnes). Les candidats peuvent traiter l'un des 4 sujets proposés, ou un sujet libre de leur choix. Sur les 12 mémoires reçus, 6 se prévalent de cette possibilité, tandis que 5 se rattachent au premier sujet proposé, le problème des n corps en mécanique céleste.

Hermite a contribué à la fondation des *Acta Mathematica*. Poincaré a été étudiant de Hermite, il a publié un article dans chacun des 5 premiers volumes de la revue. Il connaît Mittag-Leffler et n'a pas fait mystère de sa volonté de participer au concours. Malgré l'anonymat des soumissions, Mittag-Leffler n'a pas grand mal à identifier son collègue français comme l'auteur d'un mémoire qui se détache très nettement du lot. Ce mémoire, intitulé *Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique* fait très rapidement l'unanimité du jury. Le résultat est proclamé le 20 janvier 1889. L'autre mémoire distingué par le jury est l'œuvre de Paul Appell et porte sur le développement en séries trigonométriques des fonctions abéliennes.

Le mémoire de Poincaré aurait dû être publié dans les *Acta mathematica* en octobre 1889. Il en sera autrement...

Lars Phragmen (1863-1937) est un jeune mathématicien suédois que Mittag-Leffler a chargé de la lecture détaillée des mémoires soumis. À la suite de ses commentaires, le mémoire de Poincaré, long de 160 pages initialement, s'est enrichi de 90 pages de notes supplémentaires. Vers juillet 1889, Mittag-Leffler transmet à Poincaré une demande d'éclaircissement de Phragmen. Poincaré s'aperçoit que les objections de Phragmen sont fondées, et découvre en reprenant le corps de son argumentation qu'il a commis une erreur

sérieuse dans une autre partie du texte. Début décembre, il annonce à Mittag-Leffler que la rectification de l'erreur nécessite des changements substantiels dans son mémoire.

Craignant peut-être pour sa réputation scientifique, qui est moins établie que celle de Weierstrass, Hermite ou Poincaré lui-même, Mittag-Leffler récupère discrètement les quelques exemplaires du mémoire initial qu'il avait distribués à un cercle restreint de mathématiciens et astronomes. Il obtient de Poincaré que celui-ci règle les frais d'impression du mémoire initial, soit 3 500 couronnes, 1000 de plus que le montant du prix. La version révisée, longue de 270 pages, est prête en avril 1890 et paraîtra dans les *Acta mathematica* en novembre 1890.

Voilà pour les circonstances historiques, pour lesquelles le livre de June Barrow-Green cité en référence⁽¹⁾ m'a été précieux. Venons-en au contenu scientifique de l'épisode : je vais essayer d'expliquer l'erreur de Poincaré, la découverte à laquelle la rectification de cette erreur l'a mené, et le retentissement de cette découverte sur les mathématiques d'aujourd'hui.

Il faut d'emblée affirmer que même si l'on retranche au mémoire tout ce qui touche à l'erreur et à sa révision, le contenu en reste extraordinairement riche. Poincaré lui-même en développera les idées dans les trois tomes des *Méthodes Nouvelles de la Mécanique Céleste*, qui paraîtront entre 1892 et 1899, et marqueront une refondation complète du domaine. On trouve aussi, dans la première partie du mémoire, ce qu'on appelle aujourd'hui le théorème de récurrence de Poincaré ; ce résultat constitue l'acte fondateur de la théorie ergodique, branche cousine des systèmes dynamiques. Erreur ou pas, le prix était amplement mérité. Mais de tout ceci, je ne vais pas parler.

Un système dynamique, c'est un espace des phases avec une équation d'évolution ; les points de l'espace des phases décrivent les états possibles du système considéré ; l'équation d'évolution gouverne les changements d'états sur le court terme. Le but de la théorie est de comprendre l'évolution sur le long terme.

Souvent, un état peut-être déterminé par un nombre fini de paramètres et l'équation d'évolution est une équation différentielle décrivant la variation infinitésimale de ces paramètres. Poincaré, dès ses premiers travaux dans le domaine, va introduire un changement de point de vue fondamental. Ses prédécesseurs traitaient les équations différentielles comme des équations, et cherchaient à en représenter les solutions par des formules toujours plus

1. June BARROW-GREEN, « Poincaré and the three-body problem » (1977), *AMS-LMS History of mathematics*, Vol. 11.

sophistiquées. Poincaré va s'apercevoir que, pour la plupart des équations différentielles, on ne peut disposer d'aucune formule raisonnable. Il va traiter les équations différentielles comme des objets géométriques, une révolution conceptuelle qui ouvre des perspectives complètement inédites. C'est dans cet esprit que j'ai complètement évité les formules dans ce qui suit.

La mécanique céleste traite du mouvement des corps célestes – étoiles, planètes, satellites naturels ou artificiels, astéroïdes... – sous l'action de la gravitation classique, à l'exclusion de tous autres phénomènes physiques. La loi de gravitation universelle de Newton stipule que la force d'attraction mutuelle de deux corps est proportionnelle à chacune de leurs masses, et inversement proportionnelle au carré de leur distance.

Dans le problème des n corps, les corps célestes sont assimilés à des masses ponctuelles sans diamètre. L'état du système est donc déterminé par les trois coordonnées de position et les trois coordonnées de vitesse de chacun des corps : l'espace des phases est de dimension égale à $6n$; l'équation d'évolution est l'équation différentielle du second ordre qui traduit la loi de gravitation universelle.

Lorsqu'il y a seulement 2 corps, il n'est pas difficile de résoudre ces équations. Les solutions en ont en fait été découvertes par Kepler, par l'observation céleste, plus d'un siècle avant que Newton n'écrive ses équations. Chacun des corps parcourt une ellipse, le centre de masse occupant un des foyers de ces ellipses homothétiques ; l'aire parcourue par le rayon joignant le centre de masse à l'un des corps est balayée à vitesse constante (on peut avoir aussi une hyperbole ou une parabole au lieu d'une ellipse, mais les corps s'échappent alors à l'infini).

La situation considérée par Poincaré dans son mémoire est le problème restreint des trois corps, le cas le plus simple après celui de deux corps. Dans ce problème restreint, on fait les hypothèses suivantes. On suppose d'abord que l'un des corps, appelons-le m est de masse nulle. Il n'influence donc en rien le mouvement des deux autres corps, appelons-les m_1 et m_2 , mais subit l'attraction gravitationnelle de ces corps. On suppose de plus que les corps m_1 et m_2 , dont le mouvement doit obéir aux lois de Kepler, se déplacent à vitesse uniforme sur des cercles concentriques (dont le centre est le centre de gravité de ces deux corps). On cherche à comprendre la trajectoire du corps m , et on ne s'intéresse qu'aux trajectoires contenues dans le même plan que celles de m_1 et m_2 . On suppose enfin que le rapport des masses de m_2 et m_1 est faible ; on note μ ce petit paramètre.

Pour déterminer l'état du système, il faut connaître les deux coordonnées de position et les deux coordonnées

de vitesse du corps m dans le plan où se déroule le mouvement. L'espace des phases est donc de dimension 4. Le plus simple est en fait de se placer dans un repère tournant qui accompagne la rotation uniforme des corps m_1 et m_2 . Dans ce repère, ces deux corps deviennent immobiles, ce qui simplifie l'écriture des forces de gravitation, mais introduit un terme correspondant à la force de Coriolis. Néanmoins, le système d'équations différentielles obtenu a la forme générale, dite hamiltonienne, associée à la plupart des systèmes d'origine mécanique. Une conséquence fondamentale de cette propriété est la conservation au cours du temps d'une certaine fonction, le hamiltonien, calculable à partir de l'état du système. Cela veut dire que les solutions, qui sont des courbes dans l'espace des phases paramétrées par le temps, sont tracées sur les hypersurfaces (de dimension 3) représentant les différents niveaux possibles du hamiltonien (dans les situations classiques de la mécanique, le hamiltonien n'est rien d'autre que l'énergie totale du système).

Fixons le niveau du hamiltonien. Nous avons donc une hypersurface de dimension 3 sur laquelle sont tracées des courbes paramétrées par le temps. Dans cette hypersurface, Poincaré considère une surface Σ (de dimension 2) transverse à la famille de courbes. Les équations d'évolution se traduisent par une transformation T de cette surface Σ dans elle-même : étant donné un point x de Σ , on considère la courbe solution passant par x à l'instant 0 et on désigne par $T(x)$ le premier point où cette courbe solution rencontre à nouveau Σ . Il s'agit donc à présent de comprendre les itérations successives de cette transformation T de la surface Σ . On est passé d'une dynamique à temps continu en dimension 3 à une dynamique à temps discret en dimension 2.

Lorsque le paramètre μ , rapport des masses de m_2 et m_1 , est nul, il est facile d'analyser complètement la dynamique. Le corps m_1 est immobile à l'origine et le corps m , ne subissant pas l'attraction de m_2 décrit une ellipse (ou une hyperbole, ou une parabole ; mais c'est le cas de l'ellipse qui nous intéresse dans la suite) dont l'origine est un foyer. Dans le repère tournant, cette ellipse présente un mouvement de rotation apparent traduisant la rotation uniforme de m_2 autour de l'origine. Il y a donc superposition de deux mouvements périodiques : la rotation du grand axe de l'ellipse (dans le repère tournant) à une vitesse angulaire uniforme et le déplacement sur l'ellipse du corps m en balayant les aires à vitesse uniforme (deuxième loi de Kepler). Les périodes des deux mouvements sont indépendantes et en général incommensurables : le mouvement dans son ensemble n'est alors pas périodique. On dit que le système est *complètement intégrable* et que la dynamique correspondante est *quasipériodique*.

Pour la dynamique de la transformation T sur la surface Σ , cela se traduit de la façon suivante. La surface Σ est feuilletée par un système de courbes fermées ; chacune de ces courbes est invariante par la transformation T ; de plus, chacune de ces courbes peut être paramétrée par une coordonnée angulaire de façon que la transformation T s'exprime comme une rotation dans cette coordonnée. L'angle de cette rotation dépend de la courbe considérée, et correspond au rapport des périodes des deux mouvements périodiques dans le cas du temps continu. Lorsque cet angle compté en nombre de tours, est un nombre rationnel, chaque point de la courbe est périodique sous l'action de T . Lorsqu'au contraire cet angle est irrationnel, et c'est le cas pour la plupart des courbes, les images successives d'un point de la courbe forment un ensemble dense dans la courbe.

Que se passe-t-il lorsque le paramètre μ n'est pas nul, mais simplement très petit ? Dans quelle mesure va-t-on retrouver certains aspects du cas $\mu = 0$? Poincaré analyse d'abord le cas des orbites périodiques. Considérons pour fixer les idées le cas d'une courbe de Σ , invariante par T lorsque $\mu = 0$, pour laquelle l'angle de la rotation induite par T s'annule. Tous les points de cette courbe sont donc fixés par T lorsque $\mu = 0$. Lorsque μ est petit mais non nul, Poincaré montre que seul un nombre fini de points (très voisins de cette courbe) sont encore fixés par T , et correspondent donc à des orbites périodiques pour le système en temps continu (dans le repère tournant).

Une analogie avec un système mécanique plus simple, le pendule, est utile. On considère le mouvement dans un plan vertical d'une barre rigide fixée à une de ses extrémités. En l'absence de pesanteur (correspondant au cas $\mu = 0$ pour le problème restreint des 3 corps), on a un mouvement de rotation uniforme ; en particulier toutes les positions sont des positions d'équilibre. Par contre, en présence de pesanteur, il n'y a plus que deux positions d'équilibre. La position verticale basse est un équilibre stable, la perturbation de cet équilibre conduit à de petites oscillations. La position verticale haute est un équilibre instable ; si, à un temps infiniment lointain dans le passé, la barre s'éloigne de cet équilibre avec une vitesse infiniment petite, elle effectuera un tour complet pour revenir à l'équilibre à un temps infiniment lointain dans le futur avec une vitesse infiniment faible. Ce comportement remarquable est qualifié de doublement asymptotique par Poincaré ; le vocabulaire moderne est homocline.

Revenons aux points fixés par la transformation T sur la surface Σ . Poincaré montre que la moitié d'entre eux sont stables et l'autre moitié sont instables, au moins au niveau infinitésimal. Le passage de la stabilité infinitésimale à la stabilité locale ne sera obtenu que vers

1960 grâce aux succès de la théorie KAM (pour Kolmogoroff-Arnold-Moser) ; ce n'est pas ici notre sujet. Poincaré étudie de plus près les points fixes instables. Pour chacun de ces points fixes, Poincaré démontre qu'il existe une courbe remarquable tracée sur Σ passant par ce point fixe, dite stable ou positivement asymptotique, caractérisée par la propriété suivante : quand on itère la transformation T à partir d'un point de cette courbe, la suite de points obtenue ainsi converge vers le point fixe. Il existe de même une courbe, dite instable ou négativement asymptotique, caractérisée par la propriété duale : quand on itère l'inverse T^{-1} de la transformation T à partir d'un point de cette courbe, la suite de points obtenue ainsi converge vers le point fixe. Chacune de ces courbes est invariante sous l'action de la transformation T . Dans l'exemple du pendule pesant, les trajectoires homoclines associées à l'équilibre instable constituent à la fois la courbe stable et la courbe instable (il y a deux trajectoires homoclines suivant le sens de rotation du tour effectué).

Les courbes positivement et négativement asymptotiques des points fixes instables de la transformation T coïncident-elles, comme c'est le cas pour le pendule pesant ? Dans le cas du pendule pesant, outre un calcul direct, un argument de portée plus générale est le suivant : on a affaire à une dynamique en temps continu dans un espace des phases bidimensionnel ; le théorème d'unicité des solutions d'équations différentielles garantit alors que les deux courbes asymptotiques sont égales dès qu'elles se rencontrent (en un point distinct du point fixe auquel elles sont associées).

Poincaré va chercher à déterminer la position de ces courbes positivement et négativement asymptotiques, en effectuant des développements par rapport aux puissances successives du petit paramètre μ (plus exactement, de la racine carrée de μ). Dans la version initiale du mémoire, il montre que les deux courbes coïncident au premier ordre en $\sqrt{\mu}$; il affirme aussi que les développements en les puissances successives de $\sqrt{\mu}$ sont convergents. Dans la version corrigée du mémoire, il montre que les deux courbes coïncident à tous les ordres en $\sqrt{\mu}$; si les développements étaient effectivement convergents, cela permettrait évidemment de conclure que les deux courbes sont égales. Hélas, la convergence, qu'il pensait être conséquence de principes généraux valables dans des situations similaires, n'a pas lieu : lui-même le montrera dans la version corrigée !

On peut penser que Poincaré, en rédigeant la version initiale du mémoire, avait vérifié que les deux courbes coïncident à tous les ordres en $\sqrt{\mu}$ et donc (convaincu qu'il était alors de la convergence des développements) qu'elles étaient égales. Pour éviter le calcul délicat de ce développement à tous les ordres, il va chercher un

raccourci en complétant le calcul (facile) au premier ordre en $\sqrt{\mu}$ par un argument de nature topologique. À la base de cet argument se trouve la propriété que T préserve les aires, propriété héritée de la nature hamiltonienne du système initial. L'argument montre effectivement que les deux courbes doivent se rencontrer (en un point distinct du point fixe instable). En temps continu, pour le pendule pesant, cela implique que les deux courbes coïncident. Mais pas en temps discret, comme c'est le cas pour la transformation T !

En résumé, les arguments, grâce auxquels Poincaré pensait initialement pouvoir conclure que les courbes positivement et négativement asymptotiques coïncident, permettent seulement de prouver que ces courbes se rencontrent en des points distincts des points fixes auxquels elles sont associées. En général, en ces points d'intersection, les droites tangentes aux deux courbes sont distinctes ; les trajectoires correspondantes sont dites homoclines transverses.

Quand on cherche, comme Poincaré lui-même l'a fait, à tracer dans toute leur extension des courbes positivement et négativement asymptotiques présentant des intersections homoclines transverses, on s'aperçoit rapidement que le fait que ces courbes soient invariantes par la transformation T force une géométrie d'une complexité redoutable. Si Poincaré est bien conscient de cette complexité, il reviendra aux successeurs de Poincaré, George D. Birkhoff (1884-1944) et Steve Smale (né en 1930) de commencer à l'analyser.

Un des outils conceptuels fondamentaux, introduit par Alexandre Liapounov (1857-1918), est la mesure du taux de divergence (ou convergence) exponentielle des trajectoires au niveau infinitésimal. Pour le pendule pesant, cette divergence est toute entière concentrée au point d'équilibre instable. En présence de points d'intersections homoclines transverses, cette divergence exponentielle va se manifester pour toutes les trajectoires correspondant aux points d'intersection. C'est une telle divergence exponentielle qui caractérise les dynamiques de type chaotique qui sont à la base de l'« effet papillon ».

Le fer à cheval de Smale est un modèle simplifié de la transformation T où l'on est capable de décrire complètement le système d'intersections homoclines transverses associé à un point fixe instable. Un codage géométrique simple permet d'associer à chaque point d'intersection des courbes positivement et négativement asymptotiques une suite de 0 et de 1 (paramétrée par les entiers relatifs, et ne comportant qu'un nombre fini de 1). Inversement, toute suite de 0 et de 1 ayant ces propriétés est associée à un point d'intersection. La suite associée à l'image $T(x)$ d'un point d'intersection x est simple-

ment la suite associée à x décalée d'un cran vers la gauche. Quand on ne considère que la partie de la suite paramétrée par les entiers positifs ou nuls (cela revient à se concentrer sur l'évolution future en oubliant le passé), le passage de x à $T(x)$ revient à multiplier par 2 le nombre dont la suite tronquée est le développement binaire : on retrouve la citation de Poe...

Malgré tous les progrès accomplis depuis une cinquantaine d'années dans notre analyse des systèmes dynamiques chaotiques (hyperboliques est le terme généralement utilisé par les mathématiciens), on aurait tort de croire que le problème restreint des 3 corps est aujourd'hui compris de façon satisfaisante. Une question centrale de la théorie des systèmes dynamiques, et qui est complètement ouverte à l'heure actuelle, est la suivante : choisissons au hasard un point de la surface Σ , et observons son orbite par les itérations successives de la transformation T . Y-a-t-il une probabilité non nulle (sur le choix du point initial) pour qu'on observe le long de cette orbite une divergence exponentielle des orbites au niveau infinitésimal ? La théorie KAM mentionnée auparavant nous garantit qu'à l'inverse il y a une probabilité non nulle de ne pas observer de divergence exponentielle car la dynamique de l'orbite sera de nature quasi-périodique. ■

Le Pr Jean-Christophe Yoccoz a donné cette conférence à la Bibliothèque nationale de France le 13 avril 2005.

Ce texte a été publié dans la *Gazette des mathématiciens*, numéro 107, 2006, p. 19-26. Avec l'aimable autorisation de publication de la Société mathématique de France.

Prix Lichnérowicz pour la géométrie de Poisson

Lauréats 2010

Marco Gualtieri et **Xiang Tang**

Ce prix a été créé en 2008 en hommage
à André Lichnérowicz, titulaire de la chaire
de Physique mathématique de 1952 à 1986.

Pour des états intriqués multiparties, l'environnement peut affecter des propriétés locales telles que l'excitation et les cohérences de chaque partie, ainsi que des propriétés globales telles que l'intrication de l'état. Les études sur la décohérence mentionnées ci-dessus conduisent à des questions naturelles au sujet de la dynamique de l'intrication. Quelle est la loi de dégradation ? Est-il possible d'introduire un taux de dégradation dans ce cas ? Comment la dégradation de l'intrication est-elle corrélée avec le nombre de parties intriquées ? Quelles est la robustesse de l'intrication de différentes classes d'états intriqués ? Comment la dynamique de l'intrication sous l'influence de l'environnement affecte-t-elle des applications comme la téléportation et la métrologie quantique ?

Ce sont quelques unes des questions qui ont été abordées au cours de cette série de quatre conférences :

- Le concept d'intrication. Caractérisation de l'intrication. Quantification de l'intrication. Méthodes pour augmenter la quantité d'intrication ; filtration, distillation. Intrication contrainte.
- Dynamique des systèmes ouverts, canaux quantiques et opérations de filtration. Dynamique de l'intrication dans les systèmes à deux qubits : résultats théoriques et expérimentaux.
- Dynamique de l'intrication pour les systèmes multiparties. Introduction à la métrologie quantique : borne de Cramér-Rao, information de Fisher, distinguabilité des états, rôle de l'intrication en métrologie quantique.
- Métrologie quantique et bruit : cadre général d'évaluation de la limite de précision ultime pour l'estimation des paramètres. Application à l'interféromètre optique et à la spectroscopie atomique.

Marco Gualtieri a soutenu son doctorat de mathématiques à l'université d'Oxford en 2004 sous la direction de Nigel Hitchin. Après avoir occupé des postes de chercheur post-doctorant au MSRI à Berkeley, au Fields Institute de Toronto, puis au MIT, il a été nommé au poste de professeur assistant à l'université de Toronto. Ses importants travaux sur la géométrie généralisée ont été la source d'inspiration de nombreuses publications sur ce sujet.

Il avait déjà établi dans sa thèse les fondements de la théorie des structures complexes généralisées ainsi que des structures kählériennes généralisées, et il a ensuite développé la géométrie généralisée et ses applications à la physique, indépendamment ou en collaboration avec Gil Cavalcanti, Henrique Bursztyn et Vestislav Apostolov. Plus récemment, il a étudié les D-branes dans les variétés complexes généralisées et leurs relations avec la géométrie non-commutative, ainsi que d'autres généralisations des géométries classiques.

Xiang Tang est titulaire d'un Ph.D. en mathématiques soutenu à l'université de Californie à Berkeley en 2004 sous la direction d'Alan Weinstein. Il a poursuivi ses recherches post-doctorales à l'université de Californie à Davis avant de devenir professeur assistant à Washington University à Saint-Louis. Ses travaux ont porté principalement sur les théorèmes de l'indice sur les espaces singuliers, où il utilise à la fois les outils de géométrie non-commutative (cohomologie cyclique, K-théorie, théorèmes généraux de l'indice de Connes-Moscovici et Nest-Tsygan) et les structures de la géométrie de Poisson. Parmi ses contributions importantes, obtenues indépendamment ou en collaboration, se trouvent une nouvelle démonstration de la conjecture d'Atiyah-Weinstein sur l'indice des opérateurs intégraux de Fourier et l'indice relatif des structures CR, l'étude des structures de Poisson non-commutatives sur les orbifolds, l'étude de diverses structures de type Hopf et la théorie de l'indice sur les orbifolds.

Qu'y a-t-il de nouveau aujourd'hui dans le travail d'un mathématicien ?

Échange entre Alain Connes et Jean-Christophe Yoccoz



Entretien **Jean-Christophe Yoccoz** Le travail des mathématiciens a changé et nous travaillons de plus en plus de manière collective. Il y a une cinquantaine d'années, les gens voyageaient moins. Ils entretenaient des correspondances postales, mais les collaborations n'étaient pas aussi courantes. La plupart des articles étaient signés d'un seul auteur. C'était encore le cas à mes débuts. Aujourd'hui, il y a beaucoup plus de congrès et de travaux collectifs. Cette évolution s'est produite au cours de notre génération et s'est intensifiée depuis 10 ou 15 ans. Les articles cosignés par deux ou trois auteurs sont devenus la norme. Pour ma part, j'ai différents collaborateurs, en France, au Brésil, en Italie. Nous nous voyons assez régulièrement, ce qui suppose des voyages.

Alain Connes Comme dans d'autres domaines, cette évolution produit des effets pervers : il faut désormais filtrer une information devenue pléthorique. D'une part, on a moins de temps à consacrer à chaque article et d'autre part, il se développe une redondance considérable, comme dans le domaine de la physique théorique, par exemple. C'est un peu moins vrai en mathématiques ; néanmoins, la communication se fait à un niveau plus superficiel. En contrepartie, internet et les moteurs de recherche ont modifié le paysage en profondeur. Auparavant, on valorisait beaucoup une certaine forme d'érudition mathématique. Aujourd'hui, Google fournit instantanément toutes les références dont on peut avoir besoin sur à peu près n'importe quel sujet. C'est un outil formidable qui soulage énormément la mémoire. C'est une sorte de mémoire collective – métaphoriquement, bien sûr, car ce n'est la mémoire de personne, mais chacun peut y accéder et y puiser ce qu'il cherche. C'est un très grand progrès.

JCY Il faut préciser que même si le nombre d'acteurs a augmenté dans notre discipline, il reste très faible par rapport à d'autres domaines comme la biologie. Qui plus est, dans le même temps, le champ disciplinaire mathématique a connu une grande expansion. De ce fait, les mathématiciens sont peu nombreux à travailler sur le même problème dans le monde. La situation est très différente de celle qui prévaut lorsqu'il s'agit par exemple de trouver un vaccin contre le Sida : étant donné l'urgence de l'enjeu, on comprend qu'il y ait un grand nombre d'équipes mobilisées pour essayer de résoudre un tel problème.

En mathématiques, sauf sur quelques problèmes particulièrement palpitants, la règle est plutôt l'absence de concurrence. C'est donc un domaine particulier notamment du fait de sa démographie et d'une quasi absence de pression économique.

Pr Alain CONNES
Analyse et géométrie

Pr Jean-Christophe Yoccoz
Équations différentielles et systèmes dynamiques



Le travail en commun correspond à une évolution assez générale des sciences. La production de connaissances est devenue collective dans beaucoup de domaines. En médecine, en physique, les grandes expérimentations, comme celles du LHC au CERN, requièrent la collaboration de plusieurs centaines, voire de milliers de chercheurs, ingénieurs, techniciens, etc. de différentes disciplines. Elles ne peuvent plus être maîtrisées en totalité par un individu.

JCY En mathématiques, les collaborations sont d'ampleur plus modeste. Mais la classification des groupes simples, par exemple, a mobilisé environ 200 auteurs et représente environ 10 000 pages, répartis en un grand nombre d'articles de 50 à 100 pages. À l'échelle de notre discipline, c'est un travail aux dimensions énormes, où en effet personne ne contrôle totalement l'ensemble de la preuve, parce qu'elle est simplement trop longue. Reste qu'en mathématiques, les signataires d'un article savent et comprennent tout ce qu'il contient, ce qui n'est pas le cas dans des articles présentant des recherches interdisciplinaires de grande envergure. Un mathématicien n'utilise jamais un théorème dont il n'a pas compris la démonstration.

La question de la preuve mathématique a souvent intéressé les philosophes. Wittgenstein, par exemple, dit qu'on doit avoir de la preuve une perception unifiée. Est-ce possible pour des preuves aussi longues ?

AC Il peut y avoir des preuves en apparence très longues qui restent maîtrisables. Un mathématicien, s'il connaît bien le sujet, va y repérer des points stratégiques. En effet, une démonstration n'est pas homogène, il y a des articulations essentielles, c'est là que les choses se passent. Le mathématicien doit avoir la capacité de repérer ces points cruciaux et ensuite de hiérarchiser la démonstration en quelque sorte, de manière à en extraire l'essentiel, de telle sorte qu'elle se mette à exister en tant qu'entité propre. L'un des aspects essentiels du travail mathématique est un travail de hiérarchisation. En outre, certaines complications se dissipent au cours de l'histoire. Quand on examine par exemple les écrits de Descartes et la manière dont il utilisait en son temps les coordonnées dites « cartésiennes », on a l'impression d'une grande complication, notamment parce que les nombres négatifs n'étaient pas d'utilisation courante. Une fois qu'on a su manipuler les nombres réels, puis les nombres complexes, une fois qu'on a compris la hiérarchie des structures, que l'on a adopté les bonnes notations, toute cette complication, qui était pour ainsi dire sans contenu, a disparu pour laisser place à une grande simplicité.

Il y a donc un énorme travail de simplification qui est l'objet d'un effort constant et qui sera sûrement réalisé pour la classification des groupes simples. Tant que ce processus est en cours, on n'a pas encore vraiment fini de comprendre, on n'a

pas vraiment hiérarchisé les concepts importants, et les choses paraissent compliquées.

Il y a donc d'une part un travail historique collectif de hiérarchisation et de simplification, et d'autre part le travail propre du mathématicien qui a la connaissance d'un domaine et une sorte de virtuosité de la preuve et de la compréhension.

JCY Ou une technique, qui demande une pratique constante pour conserver sa fluidité. Ce volet technique de l'activité est nécessaire, mais pas suffisant.

AC L'activité mathématique exige une pratique quotidienne. Si l'on s'interrompt trop longtemps, le savoir-faire s'érode. Les automatismes se perdent. C'est heureusement transitoire. On peut comparer cela à l'expérience des musiciens : Arthur Rubinstein disait « quand j'arrête de jouer une journée, je l'entends, quand j'arrête deux jours, le public l'entend. »

Par ailleurs, il y a une part tout aussi importante de l'activité mathématique qui, elle, est stable : celle qui consiste à manipuler des images mentales. Qu'un profane essaie de lire un article, il ne verra qu'une collection de formules sans signification. Mais un mathématicien qui a travaillé suffisamment dans un certain domaine – forcément limité – a construit des images mentales qui sont mobilisées dès qu'il aborde des questions relatives à ce champ d'activité : le sens apparaît immédiatement, il saute aux yeux.

JCY Même dans un domaine familier, pour certains articles difficiles du fait de leur longueur ou de leur technicité, il arrive qu'on ait du mal à comprendre jusqu'au moment où une image mentale se forme brusquement et permet de dépasser le mot à mot abstrait du déchiffrement des formules.

À quoi correspond cette image mentale ? Est-elle la représentation de quelque chose ou au contraire une pure construction ? Pour beaucoup de gens, les mathématiques sont comme une langue étrangère, mais tout le monde partage un savoir de base fait de nombres et d'objets géométriques élémentaires, qui semble être une sorte de production de l'évolution, un bagage mathématique inné de notre espèce. Vos images mentales renvoient-elles à des objets de même nature, mais plus complexes ?

JCY Les nombres entiers sont des images concrètes de ce genre, que tout le monde partage. Je ferais une analogie avec la physique. Certains postulats de physique classique permettent d'associer des images à la théorie, comme en balistique, où l'on peut voir les trajectoires des objets. On conserve là un rapport assez simple à l'observation, et on appréhende des propriétés élémentaires, comme le sont les propriétés des nombres entiers ou de la géométrie. Mais il y a des domaines de la physique où l'observation est beaucoup moins immédiate, comme l'électromagnétisme ou la mécanique quantique.

Quant à la nature des objets mathématiques, la position platonicienne est dominante parmi les mathématiciens. Même ceux qui la contestent se comportent en pratique comme s'ils étaient platoniciens : ils découvrent et manipulent des objets mathématiques comme s'ils étaient réels.

AC Au départ, et jusqu'au XIX^e siècle, une grande partie des mathématiques était très proche de la physique. Mais il s'est produit une évolution à l'intérieur même des mathématiques. Sans chercher à garder une relation directe à la physique et au monde extérieur, les mathématiciens ont découvert un univers extraordinaire. Prenons l'exemple ce qu'on appelle le monde *p*-adique, dans la théorie des nombres : c'est un monde qui existe en autant de versions qu'il y a de nombres premiers. Le monde réel correspond à une seule de ces versions. Il y a donc autant de ces mondes que de nombres premiers, et ces mondes ont une cohérence aussi belle, aussi éclatante, que le monde « réel » de la physique. Les mathématiques ne sont absolument pas limitées à la géométrie ou au nombre, elles sont une source extraordinaire de création de concepts. En réalité, elles englobent tout, c'est-à-dire que la plupart des qualités que l'on rencontre dans le monde réel, si on les comprend vraiment, ont, je le pense, une formulation mathématique.

On aurait pu penser que les mathématiques sont créées par l'homme en un processus adaptatif, comme une adaptation de l'homme à la réalité, ce qui expliquerait ce fait stupéfiant que des relations intrinsèquement mathématiques et produites à partir d'objets purement mathématiques puissent rendre compte de phénomènes physiques comme si elles étaient les lois qui les régissent. Or, les mathématiciens ont en fait ouvert des portes, découvert des horizons qui n'ouvrent pas simplement vers le monde réel, mais vers bien d'autres mondes, incroyablement cohérents, mais qui n'ont aucune relation au monde « réel », au sens de la physique classique. Il faudrait dire plutôt aucune *réalisation* dans le monde réel...

JCY Oui, parce que l'informatique, par exemple, leur donne des applications nouvelles, et je ne pense pas seulement à des applications comme la cryptographie. L'informatique repose sur les mêmes principes de validation et de contrôle que les mathématiques. Je comparerais volontiers leurs relations à celles qui existent entre la chimie et la physique : la chimie est tournée davantage vers l'industrie et les applications ; de même, l'informatique est gouvernée par les applications. Mais elles ont le même principe de fonctionnement, respectivement, que la physique et les mathématiques. Et de même que les chimistes créent des produits qui n'existent pas forcément dans la nature, les informaticiens créent des choses qui ont une structure mathématique et qui n'existent pas dans le monde.

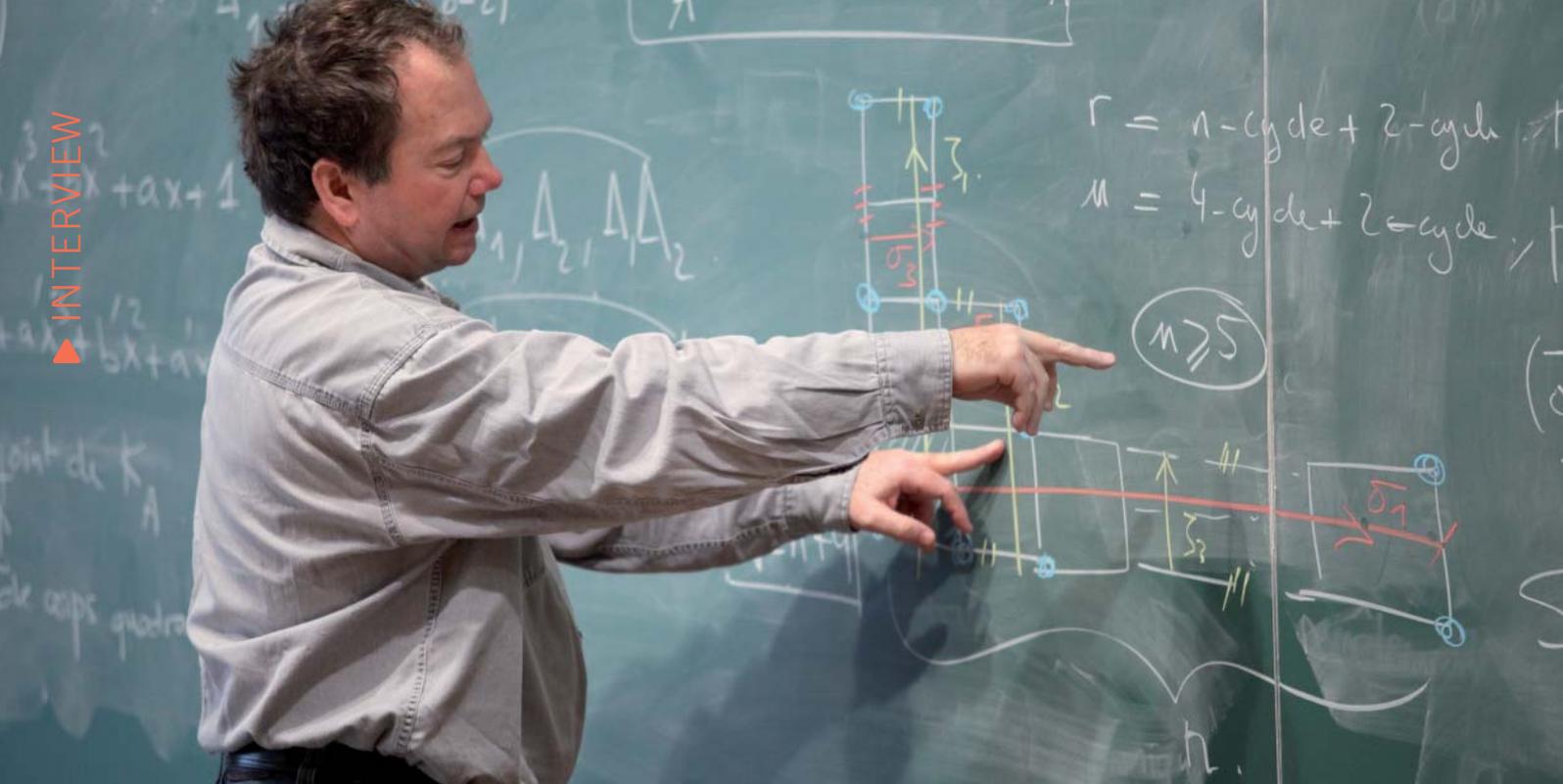
AC J'avoue avoir une confiance démesurée dans le pouvoir explicatif des mathématiques pour notre compréhension du

monde et une profonde aversion pour la tendance trop répandue à vouloir construire notre compréhension de la réalité sur le modèle classique qui est valide jusqu'à une certaine échelle, mais n'a plus de validité pour les objets microscopiques, sur lesquels règne le quantique. Le quantique a un pouvoir explicatif qui est bien loin d'être passé dans la culture de la société dans laquelle nous vivons. Pensez à l'électron ou aux équations de la physique quantique concernant l'électron : il y a là une merveille. À partir d'un point de départ extrêmement simple – le principe d'exclusion de Pauli, qui stipule que les électrons ne peuvent pas se trouver dans le même état quantique – on reconstitue le tableau périodique des éléments. C'est vertigineux ! Une telle explication ne rentre pas dans le schéma évolutionniste. Sans être aucunement mystique, je crois que la nature est beaucoup plus subtile et complexe qu'on ne le pense, mais qu'elle a des ingrédients extrêmement simples et que ces ingrédients sont de nature mathématique.

Notre perception par les sens ne nous donne qu'une image très partielle de la réalité, la couleur par exemple ne capture que trois paramètres dans l'infinité de ceux qui régissent la distribution d'intensité des fréquences de la lumière. Les mathématiques ont permis de simplifier, de modéliser des parties de la réalité extérieure, au point que l'on peut finir par douter de l'idée que les mathématiques seraient créées pour expliquer le monde extérieur, à partir du monde matériel qui nous entoure. J'en suis arrivé à imaginer un point de vue radicalement inverse, selon lequel c'est en fait le monde mathématique qui préexiste et c'est de ce monde que surgit une certaine image, celle que nous percevons dans le monde physique. Mais nous sommes bien loin de comprendre l'explication fondamentale, qui est, je pense, beaucoup plus simple et plus mathématique qu'on ne le croit.

Ces aspects de la culture scientifique, pourtant cruciaux, sont très peu diffusés et compris. Le premier pas, c'est la physique quantique : notre monde est envahi d'objets quantiques – laser, puces électroniques, etc. – mais nous n'avons pas intégré la dimension quantique dans notre culture. Nous vivons dans un monde quantique et nous continuons à penser comme si nous vivions dans un monde classique.

JCY Sur la question de la construction, j'ajouterais une autre analogie avec la physique : de la même façon que les physiciens créent des instruments, comme le télescope, pour explorer l'univers physique, les mathématiciens créent des instruments pour analyser des réalités mathématiques. Il y a une part de découverte et il y a une part d'invention. Les techniques mathématiques sont des créations humaines, au même titre que les instruments physiques.



Les mathématiques ont d'ailleurs permis de donner une réalité physique à des opérations logiques et mathématiques sous la forme de l'ordinateur. Quelle place occupe cet instrument dans les mathématiques d'aujourd'hui ? L'ordinateur est-il capable de démonstrations au même sens que le mathématicien ?

JCY Non. Tout d'abord, il faut indiquer que la question ne se réduit pas au seul problème des preuves. L'ordinateur est un outil d'exploration incomparable. Si l'on veut démontrer quelque chose, il faut avoir une certitude raisonnable que c'est vrai. L'ordinateur permet par exemple de découvrir des contre-exemples, de tester des propositions, etc. Il permet d'observer des phénomènes intéressants, ne serait-ce que par la réitération massive, impossible sans lui, de calculs complexes.

AC L'ordinateur démultiplie la puissance de calcul. Dans les travaux sur les anneaux de Witt, par exemple, on rencontre des polynômes très compliqués : il serait extrêmement long de les calculer et les manipuler à la main mais on obtient le résultat très facilement à l'aide d'un petit programme informatique, ce qui permet d'acquérir très vite une familiarité avec ces objets qui ont l'air exotiques au premier abord. Pourtant, cet usage de l'informatique pour l'exploration ne doit pas faire oublier un autre aspect très important, qui concerne les preuves formelles. L'ordinateur peut faire bien plus que traiter des cas particuliers : il est capable de faire des démonstrations générales. Il le fait de manière très efficace, non pas en tant que démonstrations, au sens de déductions logiques, mais en faisant fonctionner le calcul formel.

En pratique je l'utilise très souvent de la manière suivante. Dans un contexte donné, je veux savoir si une formule est vraie : tout seul, je ne peux la vérifier que sur un très petit nombre de cas et je suis encore à la merci d'une erreur de calcul. La machine est capable, elle, de la démontrer (par le calcul formel) pour des valeurs telles que toute erreur puisse être écartée tant la vérification est convaincante. Donc, après

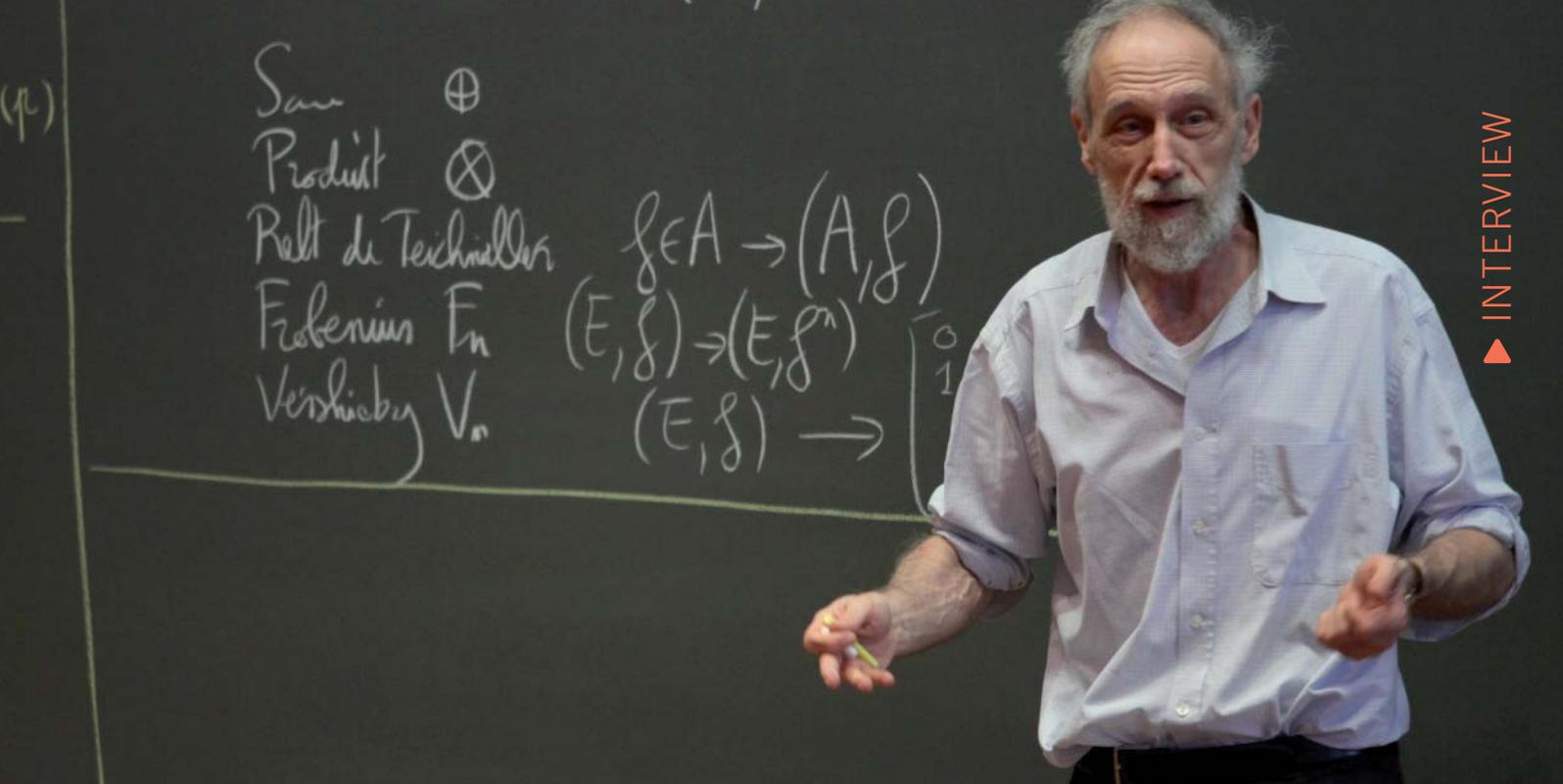
avoir expérimenté de la sorte, je suis sûr que c'est vrai. Bien sûr, il reste ensuite à trouver la démonstration directe, mais ce n'est pas le plus difficile. Il ne s'agit pas d'un test de cas particuliers : c'est un calcul formel qui m'indique que ma formule est vraie. Cette puissance de calcul formel offre des ressources exceptionnelles.

Au cours de l'histoire des sciences s'est posée la question de la fiabilité des instruments. Peut-on se fier à ce qu'on voit des corps célestes avec la lunette astronomique ? Ce qu'on voit au microscope est-il une image fiable de la réalité ou un artéfact ? Peut-on transposer cette question à l'ordinateur ? Sait-on ce que fait l'ordinateur ? Quelles sont ses limites ?

JCY Il y a une différence entre la simulation numérique, où les marges d'erreur ne sont pas totalement contrôlées, et la démonstration assistée par ordinateur, où en principe on contrôle les erreurs. Dans le premier cas, le rôle de l'ordinateur est de suggérer des réponses et des pistes de recherche, la validation de celles-ci restant à la charge du mathématicien. Dans le deuxième cas, le mathématicien confie à l'ordinateur ce processus de validation. Mais les erreurs peuvent se trouver dans l'écriture du programme...

Souvent, les preuves par ordinateur sont fondées sur l'exploration d'un nombre gigantesque de cas, comme dans le cas du théorème des quatre couleurs (qui stipule qu'on peut colorier n'importe quelle carte découpée en régions connexes de sorte que deux régions limitrophes reçoivent toujours deux couleurs distinctes). De ce fait, même si on peut être sûr que c'est vrai, ce ne sont pas des preuves satisfaisantes pour un mathématicien.

AC Il y a des limites à l'utilisation de l'ordinateur pour produire des énoncés – y compris des preuves – de manière formelle. On ne peut pas omettre la question du sens, qui à mes yeux est largement aussi importante que celle de la nature des objets mathématiques. La question cruciale est de com-



prendre pourquoi certains énoncés ont un sens, tandis que d'autres, fussent-ils vrais et prouvés presque mécaniquement par l'ordinateur, sont totalement inintéressants et dépourvus de sens.

Il y a deux activités humaines qui pour le moment échappent totalement à l'ordinateur et qui sont une part intégrante et vraiment fondamentale des mathématiques : premièrement, l'esprit humain est capable, souvent dans des situations très complexes, après avoir fait beaucoup d'expérimentations, de calculs, etc., de dégager un concept. C'est un point essentiel.

La seconde activité inaccessible à l'ordinateur, c'est le raisonnement par analogie. Le mathématicien est capable, lorsqu'il est confronté à une difficulté donnée, de reconnaître que la situation n'est pas très différente d'une autre qu'il a rencontrée dans un autre contexte, parfois très éloigné, et de se servir de cette analogie pour résoudre le nouveau problème. Cela concerne également le sens. C'est difficilement objectivable : on sait qu'il y a quelque chose d'analogue, mais cela relève d'une intuition et non d'une perception explicite et bien formulée. Il faudrait beaucoup de temps pour la cristalliser, de même qu'il est difficile, dans la phase de création de concept, de donner une définition fixée. Il y a là tout un système de maturation et de distillation réalisée par l'esprit humain. C'est un pouvoir extraordinaire, dont l'ordinateur me semble très éloigné.

L'ordinateur introduit donc une nouvelle manière de travailler, mais pas une rupture qualitative. De fait, l'histoire des mathématiques a un aspect cumulatif et construit un ensemble cohérent, tandis que d'autres sciences sont sujettes à des bouleversements, à des renversements de paradigme qui peuvent conduire à laisser à l'abandon toute une partie de l'édifice, devenu pratiquement inutilisable.

JCY L'histoire des mathématiques présente une singularité. En physique ou en biologie, avant d'arriver à des concepts fondamentaux comme l'électron ou l'ADN, il a fallu des

siècles. Les objets qui sont maintenant considérés comme fondamentaux n'ont émergé que tardivement. En mathématiques, c'est l'inverse. Au commencement, il y a les nombres entiers ou les formes géométriques élémentaires. Ce sont les concepts mathématiques essentiels à partir desquels on bâtit des concepts de plus en plus sophistiqués, comme une pyramide de connaissances posée sur la pointe. Les concepts qui sont à la base de l'édifice sont aussi les premiers du point de vue historique. C'est pourquoi il est si crucial qu'il n'y ait pas d'erreur : la démonstration fixe les choses, elle constitue une validation et permet de bâtir sur un fonds solide. C'est différent en physique par exemple, où la théorie a toujours ses limites – on le voit dans le cas de la mécanique classique, par exemple – et où l'on peut revenir sur ces théories.

AC De fait, en physique théorique, les règles « culturelles » ne sont pas du tout les mêmes. Dans un article de physique théorique, la justification rigoureuse n'a pas un poids aussi important qu'en mathématiques. Dans les deux cas, il faut convaincre, mais les modalités sont différentes. Contrairement au physicien, le mathématicien ne peut pas se passer d'une démonstration rigoureuse. C'est une caractéristique générale des mathématiques.

complexité $\approx n^2$

Bernard Chazelle

L'algorithmique et les sciences

Extraits de
la leçon
inaugurale
18 octobre
2012

On rapporte du grand physicien danois, Niels Bohr, cette anecdote peut-être apocryphe :
- Professeur Bohr, je vois que vous avez un fer à cheval accroché au mur. Ne me dites pas

que vous croyez à ce genre de choses !

- Rassurez-vous, je n'y crois pas du tout, mais on m'a dit que ça marche même quand on n'y croit pas.

Ainsi en va-t-il de la révolution algorithmique. Au-delà du scepticisme ou de l'engouement du jour pour la dernière nouveauté informatique se cache un de ces changements de paradigme chers à Kuhn. Outil conceptuel subversif, l'algorithmique ouvre la possibilité d'un regard nouveau sur les sciences et les technologies qui s'étend au-delà de ses applications pratiques. Ce cours se propose d'expliquer les éléments constitutifs de cette révolution intellectuelle en marche.

L'algorithmique doit son nom à Abū 'Abdallāh Muhammad ibn Mūsā al-Khwārizmī, fer de lance de la renaissance abbasside à Bagdad au IX^e siècle : un pedigree épris de zèle révolutionnaire. Vous ne retrouverez guère cette ferveur chez le passant sommé de vous définir le mot algorithmique. Un algorithmique, vous dira-t-il, c'est cette formule péniblement apprise sur les bancs d'école qui vous permet de multiplier deux nombres en alignant des chiffres en rang d'oignons. Tout le monde sait additionner, soustraire, et multiplier, ce qui fait grimper le nombre d'algorithmes universellement connus à trois – ou à quatre, si l'on compte les rescapés de l'ère numérique sachant encore diviser. Un algorithmique est une séquence d'instructions à suivre pour arriver au résultat voulu par une série d'étapes simples et ennuyeuses. Ne vous laissez pas intimider par votre calculette. Elle ne connaît pas plus l'arithmétique qu'un cheval à Longchamp ne connaît la PMU. Ses algorithmes lisent, écrivent, et effacent sans comprendre quoi que ce soit.

Un algorithmique se définit indépendamment de la taille des données. Multiplier des nombres de 10 chiffres ou de 10 milliards suit non seulement le même principe mais le même mode d'emploi mot-à-mot. Seul le temps d'exécution diffère. La multiplication de deux nombres de 10 chiffres produit une grille de 10 rangées de 10 ou 11 chiffres chacune, et requiert un nombre d'étapes élémentaires au plus proportionnel à 10×11 . En gé-

néral, multiplier deux nombres de n chiffres chacun nécessite un nombre d'étapes au plus proportionnel à $n(n+1) \approx n^2$: on dit alors que la *complexité* de l'algorithmique est de l'ordre de n^2 . Que le nombre d'étapes soit égal à n^2 , $3n^2$, ou $17n^2 + n$ n'importe guère : seul compte l'ordre de grandeur, n^2 . On n'ignore pas ces facteurs constants par paresse mais par un sens aigu des priorités. Ceux-ci souvent reflètent des détails de mise en œuvre extrinsèques à l'algorithmique en question (tels que la base numérique pour la multiplication). Une autre raison de s'en débarrasser est de rendre à César ce qui est à César. Si votre calculette multiplie si vite, est-ce le fait d'un algorithmique hors pair ou d'un processeur turbochargé ? En règle générale, les facteurs constants sont attribuables à la puissance de l'ordinateur et les ordres de grandeur (tels que n^2) à la complexité de l'algorithmique.

La multiplication d'école est d'une complexité d'ordre n^2 . Peut-on faire mieux ? La réponse, affirmative, est à même de surprendre. Un algorithmique de Schönhage et Strassen atteint une complexité d'ordre légèrement supérieur à n (pour être précis, d'ordre $n \log n \log \log n$). Il est utile en pratique pour la factorisation des grands entiers. La méthode, améliorée récemment par Martin Fürer¹, est basée sur un vieil algorithmique, la transformée de Fourier rapide (FFT), un pilier du traitement du signal présent dans tous vos gadgets électroniques. Aussi étrange que cela puisse l'être, le même algorithmique qui vous permet d'écouter de la musique et d'interpréter vos examens de IRMf va vous aider à multiplier des grands nombres très vite. La polyvalence fait la grandeur de l'algorithmique, et la FFT de Gauss, redécouvert par Cooley et Tukey dans les années soixante, est un des plus grands. En collaboration avec Nir Ailon, j'ai montré comment randomiser la FFT pour exploiter le principe d'incertitude, un concept central en mécanique quantique, et faire de la recherche de voisins en très haute dimension².

Le reste de cette leçon pourrait faire l'inventaire des algorithmiques qui, peut-être à votre insu, ont changé votre vie. Mais mon ambition est plus élevée. Elle est de vous convaincre que l'algorithmique n'est pas tant un objet utile, qu'une façon différente de penser.

1. Fürer, M. *Faster integer multiplication*, SIAM J. Comput., 39 (2009), 979-1005.

2. Ailon, N., Chazelle, B. *The fast Johnson-Lindenstrauss transform and approximate nearest neighbors*, SIAM J. Comput. 39 (2009), 302-322.

Bernard CHAZELLE
Professeur à l'université
de Princeton, chaire
Eugene Higgins
d'Informatique

Leçon inaugurale à paraître
aux Éditions Fayard et en ligne
sur : <http://lecons-cdf.revues.org/>
Vidéos des cours :
www.college-de-france.fr

La chaire reçoit
le soutien de l'INRIA

Produite et animée par Philippe Petit, l'émission Croisements a été organisée en partenariat avec le magazine Le Point, sur une idée originale de France Culture.

Diffusée durant l'été, elle reposait sur l'échange et la rencontre inattendue de deux professeurs, qui croisent leurs connaissances et leurs points de vue.



Le Point



COLLÈGE
DE FRANCE
1530



Alain Connes | Stanislas Dehaene

Le goût des mathématiques

Comment nous vient le goût des mathématiques ?

Stanislas Dehaene – Dès les premières années de vie de l'enfant, il y a des mathématiques. Dans la psychologie et dans l'organisation même du cerveau, il existe des structures qui sont proto-mathématiques, et qui font de nous des mathématiciens en puissance. Prenons l'exemple des indiens Mundurucus en Amazonie. Ils n'ont pas de langage pour parler des mathématiques : leurs nombres s'arrêtent à cinq, ils n'ont pas de mots pour parler des parallèles, des points ou des carrés. Néanmoins, quand on leur expose, en une minute, des concepts mathématiques élémentaires, on s'aperçoit que, comme l'enfant, ils ont les bonnes intuitions. Tous les concepts sont là en puissance.

Comment évolue l'esprit mathématique dans la société moderne ?

Alain Connes – Les mathématiques ont réussi à capturer dans leurs filets des concepts qui sont autrement absolument impossibles, par défaut de langage ; elles parviennent à le faire avec une précision inégalée, quand bien même les définitions gardent un aspect enfantin, c'est-à-dire que ce sont des choses qui restent simples. D'une certaine manière, les mathématiques ont pris le relais de la philosophie dans l'élaboration des concepts. Par exemple, dans le domaine de la bourse, on ne s'intéresse plus désormais aux simples nombres, mais aux fonctions. Il y a quantité de notions mathématiques comme la convexité, la croissance, ou la dérivée première, qui sont des concepts qui trouvent un sens par rapport à des phénomènes actuels tels que la bourse ou le PIB d'un pays.

SD – La capacité des mathématiques à créer des concepts nouveaux ou des objets méthodologiques nouveaux pour le cerveau est un point tout à fait crucial. L'enseignement des mathématiques est fondamental, parce qu'il donne au cerveau de l'enfant des extensions pyramidales de ces concepts.

Les mathématiques peuvent-elles être le langage de l'univers ?

Peuvent-elles capturer la physique ?

AC – Un des grands acquis de la physique du xx^e siècle, c'est la mécanique quantique. Un énoncé, presque de nature philosophique, résume bien le contenu de cette mécanique quantique : la réalité est en fait la superposition de tous les possibles imaginaires. Quand on parle de la réalité, on a toujours en tête une explication rationnelle au sens classique du terme. Or, la merveille de la mécanique quantique, c'est que, précisément, tous les possibles ont un rôle. Il n'y a pas une *seule chose* qui va se produire ; à chaque possible, on associe un nombre imaginaire sur un cercle, et la réalité est la somme de tous ces nombres imaginaires. Autrement dit, la physique fonctionne en tenant compte de tous les possibles. C'est quelque chose qui n'est pas encore bien compris ni accepté.

Les mathématiques peuvent-elles prétendre à décrire la totalité du réel ?

SD – Du point de vue du psychologue cognitif, le cerveau commence avec une histoire évolutive. Nous avons hérité, comme d'autres espèces animales, de concepts fondamentaux qui sont ceux de noms, d'espaces, de temps, une certaine forme de logique ou de probabilité ; tous ces concepts ont été sélectionnés dans notre cerveau parce qu'ils sont adéquats pour la survie de l'individu. Dans un deuxième temps, et cela est propre à l'espèce humaine, est apparue la construction de systèmes de symboles, puis d'objets nouveaux, sélectionnés pour leur adéquation avec la physique, et avec nos propres structures mentales – c'est le fameux concept de la boîte à outils mathématique.

AC – Ce qui est étonnant dans les mathématiques du xx^e siècle, c'est que, justement, elles arrivent à aller au-delà du monde physique ; en fin de compte, on a l'impression que le monde physique est beaucoup plus à l'intérieur des mathématiques que l'inverse. Au bout d'un moment naît le sentiment que le monde mathématique est un monde incroyablement structuré, distinct des élaborations du cerveau, alors que le monde physique se situe à l'intérieur. Il faut arriver à distinguer entre les constructions du cerveau (qui sont très importantes car elles nous permettent d'accéder aux mathématiques), et le monde mathématique tel qu'il est.

Pr **ALAIN CONNES**

Analyse et géométrie

Pr **Stanislas DEHAENE**

Psychologie cognitive
expérimentale

Pr Gérard Berry

L'informatique du temps et des événements

La nouvelle chaire d'informatique

« Algorithmes, machines et langages » que j'ai l'honneur de tenir au Collège de France est sa première chaire permanente d'informatique.

Elle prolonge l'introduction de l'informatique dans la chaire d'Innovation technologique Liliane Bettencourt puis la création de la chaire Informatique et sciences numérique, auxquelles j'ai eu aussi l'honneur de participer. La création d'une chaire permanente est une grande nouvelle pour ma communauté, car elle donne la plus haute des consécration à la discipline autonome qu'est devenue la science informatique.

L'informatique comporte cinq sous-domaines principaux : les *interfaces* permettant de numériser l'information du monde réel et d'agir sur lui, les *données numérisées*, devenues innombrables, les *algorithmes* qui permettent de manipuler conceptuellement ces données, les *langages* qui permettent de spécifier formellement ces algorithmes et de les écrire sous forme de programmes exécutables, et les *machines* qui exécutent ces programmes. J'ai choisi ce titre pour la chaire car je me suis surtout intéressé aux trois derniers domaines et à leurs nombreuses interactions.

Dans les premières années, je compte consacrer mes cours et ma recherche au traitement informatique du temps et des événements, crucial dans des domaines d'applications variés : logiciels de contrôle en temps-réel de systèmes de transports, de systèmes industriels et d'objets très divers, systèmes électroniques sur puces qui remplacent les circuits monofonctions du XX^e siècle, simulateurs informatiques de systèmes physiques ou industriels complexes, orchestration de services Web pour construire de nouvelles applications par composition de services existants, composition et interprétation musicale mêlant interprètes humains et ordinateurs.

De façon étonnante, l'informatique classique ne parle quasiment pas du temps et ne gère les événements qu'à partir de primitives de programmation pour le moins rustiques et sans sémantique claire. En pointe dans ce domaine, la recherche française a développé depuis les années 1980 de nouveaux langages de programmation dits synchrones qui sont bien définis et compris mathématiquement, s'adaptent bien aux domaines précités et connaissent de beaux succès industriels. Mais les applications grandissent vite, et beaucoup de recherches restent à conduire pour étendre les principes



initiaux de ces langages à des situations plus riches comme les circuits multi-horloges, les systèmes de contrôle géographiquement distribués, ou la coordination correcte entre simulateurs indépendants de parties de systèmes.

Je montrerai d'abord que la langue parlée est agréablement fleurie mais fort incompétente pour parler précisément du temps, avec d'un côté son « temps qui passe vite » et de l'autre ses « longues années ». Je montrerai aussi que l'identification usuelle du déroulement du temps avec la droite réelle des mathématiques est trop limitée pour les applications informatiques ; il faut y considérer le temps à différents niveaux d'abstraction en reliant événements ponctuels et durées par la notion d'*épaisseur de l'instant*, cruciale pour comprendre le fonctionnement des circuits électroniques et des programmes temps-réel. Je généraliserai le traitement du temps physique exprimé en secondes à celui de *temps multifformes* engendrés par la répétition d'événements de même type, unifiant ainsi des expressions comme dans dix secondes, dans dix pas ou au dixième appui sur un bouton. Je montrerai que ces notions peuvent être avantageusement incorporées dans des langages de programmation à la fois parfaitement définis mathématiquement et efficacement implémentables par traduction en codes logiciels standards ou en circuits électroniques. J'aborderai la relation encore mal comprise entre temps continu et temps discret, clefs pour la simulation correcte des systèmes complexes. Enfin, j'étudierai comment raisonner sur les programmes temporels et événementiels à l'aide de logiques temporelles ou d'autres formalismes mathématiques, et comment prouver formellement leur correction – autre domaine où la recherche française est de premier plan. ■

Extraits de la leçon inaugurale du 28 mars 2013



Leçon inaugurale à paraître aux Éditions Fayard et disponible sur le site www.college-de-france.fr à la page du Professeur.



Pr Gérard BERRY
Algorithmes, machines
et langages



Conférences et prix Peccot

Plusieurs donations successives (en 1886, en 1894, en 1897, en 1902) ont permis de créer d'abord des bourses, transformées par la suite en prix, puis, à partir de 1900, une charge de cours, au bénéfice de mathématiciens âgés de moins de trente ans s'étant signalés dans l'ordre des mathématiques théoriques ou appliquées.

Les conférences

Le Collège de France accueille trois chargés de cours pour l'année 2012-2013 :

- **Valentin FÉRAY**, chargé de recherche au CNRS, a été invité par l'Assemblée des professeurs à donner une série de leçons sur le sujet suivant : « Approche duale des représentations du groupe symétrique », les lundis 4 et 11 février 2013.
- **Peter SCHOLZE**, professeur à l'Université de Bonn (Allemagne), a été invité par l'Assemblée des professeurs à donner une série de leçons sur le sujet suivant : « A p-adic Analogue of Riemann's Classification of Complex Abelian Varieties », les lundis 4, 11 et 18 mars et le vendredi 22 mars 2013.
- **Christophe GARBAN**, chargé de recherche au CNRS, UMPA, ENS (Lyon), a été invité par l'Assemblée des professeurs à donner une série de leçons sur le sujet suivant : « Autour de la percolation presque-critique et de l'arbre couvrant minimal dans le plan », les lundis 18 et 25 mars, 8 et 15 avril 2013.

Le prix

Depuis 1885, 77 mathématiciens ont obtenu cette distinction : Liouba Bortniker, Jacques Hadamard, Élie Cartan, Jules Bocquet, Jules Drach, Louis-Emmanuel Leroy, Adolphe Bühl, Gabriel Mesuret, Pierre Fatou, René-Maurice Fréchet, Henri Galbrun, Osée Marcus, Jean Chazy, Albert Laborde-Scar, Paul Frion, Gabriel Péliissier, René Garnier, Emmanuel Fauré-Fremiet, Émile Terroine, Roux, Maurice Gevrey, F. Lafore, Joseph Marty, Georges Giraud, Maurice Janet, Coty, Paul Lévy, Gaston Julia, Léon Brillouin, Marcel Courtines, Szolem Mandelbrojt, Yves Rocard, Wladimir Bernstein, Henri Cartan, André Weil, Jean Dieudonné, Paul Dubreil, René de Possel, Jean Leray, Georges Bourion, Jean-Louis Destouches, Jacques Solomon, Claude Chevalley, Frédéric Roger, Daniel Dugué, Gérard Petiau, Hubert Delange, Jacques Dufresnoy, Laurent Schwartz, Jacqueline Ferrand, Roger Apéry, Jacques Dery, Jean-Louis Koszul, Jean Combes, Jean-Pierre Serre, Paul Malliavin, Maurice Roseau, Bernard Malgrange, François Bruhat, Pierre Cartier, Paul-André Meyer, Marcel Froissart, Michel Demazure, Gabriel Mokobodzki, Hervé Jacquet, Haïm Brézis, Alain Connes, Grégory Chodnovsky, Jean-Pierre Demailly, Jean-Benoît Bost, Noam Elkies, Laurent Lafforgue, Philippe Michel, Vincent Lafforgue, Cédric Villani, Gaëtan Chenevier, Peter Scholze. ■

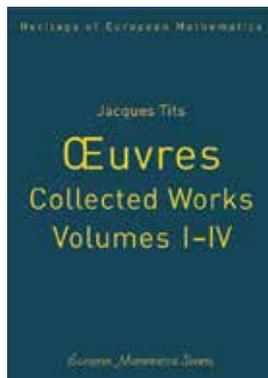
Peter Scholze, lauréat du prix Peccot pour l'année 2012/2013



Né en 1987 à Dresde en Allemagne, Peter Scholze soutient sa thèse de doctorat portant sur les « Espaces perfectoides » en 2012, à l'Université de Bonn, sous la direction du Professeur Rapoport. Il est depuis juillet 2011 *Clay Research Fellow* du Clay Mathematics Institute, et, depuis octobre 2012, Professeur à l'Université de Bonn.

Une grande partie de la recherche de Peter Scholze porte sur la géométrie p-adique, p désignant un nombre premier. La géométrie p-adique est analogue à la géométrie usuelle, mais la notion de distance y est différente, car elle est reliée à la divisibilité par p. Par conséquent, la géométrie p-adique se trouve fortement liée aux phénomènes de la théorie des nombres. Néanmoins, beaucoup de théorèmes dans la géométrie usuelle ont des équivalents dans la géométrie p-adique. Les preuves de ces théorèmes sont en revanche très différentes, et nécessitent de nouvelles idées. La théorie des « Espaces perfectoides » que Peter Scholze propose apparaît alors comme un outil permettant de démontrer des théorèmes difficiles dans la géométrie p-adique. Ce qu'il faut retenir, c'est que les espaces perfectoides peuvent relier la géométrie p-adique, qui est très *arithmétique* par la nature des nombres p-adiques, à une théorie beaucoup plus *géométrique*.

Publication des œuvres de Jacques Tits



Voir publications p. 73

Jacques Tits, professeur honoraire au Collège de France, a occupé la chaire de « Théorie des groupes » de 1973 à 2000. D'origine belge, il a également enseigné à Bruxelles et à Bonn, avant de prendre la nationalité française en 1974, pour pouvoir être nommé professeur titulaire au Collège de France*.



Jacques Tits, promu officier de la Légion d'honneur en 2008.

Deux publications majeures mettent à l'honneur l'œuvre de Jacques Tits. En novembre 2013, quatre volumes de ses *Œuvres* ont été publiés par la European Mathematical Society. Ils reproduisent la totalité des articles qu'il a écrits entre 1949 et 2006. Fin 2013, la Société mathématique de France a de son côté édité ses *Résumés de cours au Collège de France (1973-2000)*. Ce dernier volume rassemble les résumés qu'il publiait chaque année dans l'annuaire *Cours et travaux du Collège de France*, et décrit, soit les travaux d'autres mathématiciens (notamment Grigory Margulis ou Robert Griess), soit des résultats originaux qui n'ont souvent pas été publiés ailleurs.

Ces publications sont un témoignage de l'originalité des idées de Jacques Tits, et de leurs nombreuses applications. Ces idées prennent leur origine dans ses tout premiers travaux, à Bruxelles, vers 1950; il cherchait alors à traduire en langage géométrique (celui qu'il préfère) certaines constructions de la théorie des groupes, à la Élie Cartan et Hermann Weyl. Cela l'a amené à inventer la notion d'« immeuble » (dont les constituants portent les noms de « chambres », d'« appartements », etc.), qui s'est révélée indispensable dans des questions a priori éloignées du projet initial. La classification de ces objets l'a occupé pratiquement jusqu'à la fin de ses cours au Collège de France, en 2000.

On lui doit aussi de très beaux résultats isolés, comme « l'alternative de Tits », qui affirme qu'un groupe linéaire de type fini n'a le choix qu'entre deux possibilités très différentes : il est résoluble (à groupe fini près); il est libre non abélien (à groupe fini près). Pas de milieu ! ■

Jean-Pierre SERRE

*Invoquant l'exemple de Jacques Tits, André Miquel, administrateur du Collège de France de 1991 à 1997, a souhaité ouvrir les chaires du Collège de France aux professeurs étrangers, ce qui est le cas depuis 1992.

Deux prix Abel au Collège de France

Remis par le gouvernement norvégien, le prix Abel, créé en 2002, est considéré comme la distinction internationale la plus élevée en mathématiques. Deux professeurs du Collège de France se sont vu remettre cette récompense. En 2003, Jean-Pierre Serre, titulaire de la chaire d'Algèbre et géométrie de 1956 à 1994, a reçu le prix Abel la première année de son attribution. Il fut ainsi récompensé « pour avoir joué un rôle central dans l'élaboration dans leur forme moderne de plusieurs domaines des mathématiques comme la topologie, la géométrie algébrique et la théorie des nombres » (voir *La lettre du Collège de France* n° 8, juillet 2003, p. 15).

En 2008, c'est au tour de Jacques Tits de recevoir cette prestigieuse récompense scientifique. Le prix Abel lui fut remis par le roi Harald V de Norvège, ainsi qu'à son corécepteur, le mathématicien américain John Griggs Thomson, « pour leurs travaux dans la formation de la théorie moderne des groupes » (voir *La lettre du Collège de France* n° 23, juin 2008, p. 19).



Jean-Pierre SERRE
Professeur honoraire,
chaire d'Algèbre et géométrie
de 1956 à 1994

► Lorsqu'il a été question de l'objet de la fondation, notre idée a été de nous inspirer du premier métier d'une banque privée, préserver et transmettre un patrimoine, pour en faire la mission de la Fondation de l'Orangerie : la préservation et la transmission des patrimoines et des savoirs.

Comment choisissez-vous de soutenir un projet ?

N. S. La définition, volontairement très large, de l'objet de notre fondation nous permet de soutenir des initiatives dans tous les domaines : la santé, la culture, l'éducation, avec une approche spécifique, la préservation et la transmission des savoirs et d'un patrimoine. Ainsi, dans le domaine de la santé, on ne financera pas la construction d'un bâtiment mais on retiendra plutôt un programme de formation de personnels soignants.

Ensuite, nous avons une procédure et des critères de sélection stricts. Nos premiers critères sont bien entendus liés à la nature du projet, son public et son impact. Mais nous sommes aussi attentifs à la bonne gouvernance de l'organisme qui porte le projet et à son professionnalisme, valeurs essentielles à la réussite du projet et aux suivis que nous assurons pour nos donateurs.

Une fois un programme repéré, il doit être présenté et validé par les trois collèges qui composent la Fondation de l'Orangerie : le collège des fondateurs, celui des experts indépendants et le collège de donateurs.

En quoi les projets du Collège de France que vous avez choisi de soutenir répondent-ils aux attentes de vos donateurs ?

N. S. Il y a une véritable histoire entre la Fondation de l'Orangerie et le Collège de France. Un des tous premiers projets soutenus par la Fondation a été la numérisation des archives de Claude Lévi-Strauss. À cette occasion, nous avons pu prendre la mesure de l'implication des donateurs. C'est notamment l'engagement de l'un d'entre eux qui nous a incité à retenir ce projet qui, par ailleurs, correspondait parfaitement aux objectifs que nous nous sommes donnés de préservation et de transmission des savoirs. C'est à nouveau la conviction et l'investissement de nos donateurs qui nous a permis d'accompagner le Collège de France dans cette entreprise vaste et ambitieuse qu'est la numérisation et la diffusion de ses archives sur la plateforme dédiée, Salamandre. ■

Propos recueillis par Julie BÉRET, direction des Affaires culturelles

Nathalie SAUVANET
Directrice de la Fondation de l'Orangerie pour la philanthropie individuelle



Inria et le Collège de France renouvellent leur partenariat

En novembre 2009, la chaire « Informatique et sciences numériques » était créée par le Collège de France en partenariat avec Inria, pour une période de cinq ans.

Cette création, symbole fort de reconnaissance de la science informatique, avait été rendue possible grâce au soutien de Pierre Corvol, alors administrateur du Collège de France, et de professeurs permanents, en particulier Pierre-Louis Lions (chaire « Équations aux dérivées partielles et applications »). De très grands scientifiques, exerçant en France ou aux États-Unis, ont successivement occupé cette chaire, faisant découvrir quelques-unes des facettes de la science informatique et de ses applications.

Gérard Berry, premier titulaire de la chaire, s'est tout d'abord demandé en 2010 comment « Penser, modéliser et maîtriser le calcul informatique ». Belle inauguration d'une chaire qui a su mettre en relation, grâce à ses titulaires successifs, enjeux de société et état de l'art des sciences du numérique. Gérard Berry a posé la problématique de façon très large et très précise à la fois, interrogeant les notions de calculabilité, de parallélisme et de modèle. Il a ensuite, en pédagogue chevronné, promené cette conférence inaugurale devant différents publics dans différents pays et dans différentes langues.

En 2011, Martin Abadi, spécialiste de la sécurité informatique, a quitté momentanément la Silicon Valley pour rejoindre le Collège de France. L'enjeu des questions de sécurité informatique, à l'heure du Web et de la généralisation des systèmes ouverts, a été au cœur de son enseignement. Les questions d'identité, d'anonymat, de protection des données privées ont été évoquées, les modèles généraux de sécurité, les techniques et mécanismes de protection, leurs prétentions, leurs limitations et leurs failles ont été démontrés.

Serge Abiteboul a présenté en 2012 une autre facette de la recherche en sciences du numérique : la science des données, un sujet essentiel face à l'accroissement et à la « massification » des données. En 2013, Bernard Chazelle est venu de Princeton pour mettre en exergue le potentiel des algorithmes dans le développement des autres sciences (physique, biologie...). Enfin, le 10 avril prochain, Nicholas Ayache terminera ce cycle de cinq ans en décrivant le « patient virtuel » et les enjeux de ce qu'il est convenu d'appeler la médecine numé-





Gérard Berry, Penser, modéliser et maîtriser le calcul informatique (2009-2010)



Martin Abadi, La sécurité informatique (2010-2011)

rique, tributaire de la recherche en informatique, associant recherche médicale de haut niveau, imagerie, modélisation et simulation.

Au vu de la qualité des titulaires de la chaire et du succès rencontré par leurs cours, le Collège de France et Inria ont décidé de renouveler leur partenariat pour une nouvelle période de trois ans, grâce au fort soutien de Serge Haroche, administrateur du Collège de France, de Pierre Corvol, maintenant président de la Fondation du Collège de France, et de plusieurs professeurs permanents. Il nous reste à souhaiter qu'au cours de ces trois années, une des grandes femmes scientifiques de nos domaines aura l'honneur de prononcer une leçon inaugurale.

Et la relève est en marche : Sylvain Arlot, jeune chercheur de l'équipe-projet Willow, a assuré en 2011 l'un des deux cours Peccot, attribués à des mathématiciens de moins de 30 ans. Et Jonathan Touboul, de l'équipe-projet Mycenae, poursuit des travaux dans le cadre du Centre Interdisciplinaire de Recherche en Biologie au Collège de France, où il contribue, dans une logique transdisciplinaire, à mettre au jour le fonctionnement des aires corticales et, par là, à comprendre les comportements normaux et pathologiques du cerveau.

Parmi les professeurs permanents se trouve maintenant un certain Gérard Berry ! En effet, en 2012, le Collège de France a décidé de créer une nouvelle chaire permanente, « Algorithmes, machines, langages », et son titulaire est précisément le premier titulaire de la chaire annuelle « Informatique et sciences numériques ». Inria se réjouit de cette initiative et en remercie chaleureusement le Collège de France.

Nous espérons que l'existence de ces chaires liées à l'informatique et aux sciences du numérique, dans cette prestigieuse institution qu'est le Collège de France, aidera à l'introduction de leur enseignement dans le système éducatif. S'il faut se féliciter de l'existence d'une spécialité « Informatique et sciences du numérique » dans certaines terminales scientifiques, il faut œuvrer pour que de tels enseignements soient proposés partout et à tous. Le monde devient numérique, a dit Gérard Berry, il est donc essentiel pour notre pays d'offrir à toutes et à tous les principales clés de ce nouveau monde. Il en va de la place de la France dans ce monde numérique, tant d'un point de vue sociétal, que scientifique et économique. ■

Michel COSNARD



Serge Abiteboul, Sciences des données : de la Logique du premier ordre à la Toile (2011-2012)



Bernard Chazelle, L'algorithmique et les sciences (2012-2013)



Nicholas Ayache, Des images médicales au patient numérique (2013-2014)

Michel COSNARD
 PDG d'Inria (Institut national
 de recherche en informatique
 et en automatique)



Le 27^e Congrès international des mathématiciens s'est tenu à Séoul du 13 au 21 août 2014. Cette manifestation, qui a lieu tous les quatre ans (avec des interruptions dues aux deux guerres mondiales) depuis le Congrès inaugural de Zurich en 1897, rassemblait plus de cinq mille participants et est la plus importante dans le champ des sciences mathématiques.

Les médailles Fields 2014

C'est au congrès de Paris en 1900 que David Hilbert proposa une liste de vingt-trois problèmes qui ont eu une influence profonde sur le développement des mathématiques au xx^e siècle. Le 28^e Congrès International des Mathématiciens aura lieu à Rio de Janeiro en août 2018. Depuis celui d'Oslo en 1936, le Congrès international des mathématiciens est le moment où l'Union mathématique internationale décerne les médailles Fields, entre deux et quatre lors de chaque Congrès. Cette distinction récompensant les travaux de mathématiciens de moins de 40 ans est considérée comme la plus prestigieuse en mathématiques. Les lauréats cette année étaient Manjul Bhargava, Martin Hairer, Maryam Mirzakhani et Artur Avila.

Né au Canada dans une famille originaire du Rajasthan, Manjul Bhargava est professeur à l'université de Princeton, où il a obtenu son Ph.D sous la direction d'Andrew Wiles. Ses travaux portent sur la théorie des nombres, ayant en particulier obtenu des résultats remarquables sur le rang moyen des courbes elliptiques. Martin Hairer est de nationalité autrichienne. Il étudie des problèmes de physique mathématique où l'aléa joue un rôle majeur, modélisés par des équations aux dérivées partielles stochastiques.

Après un doctorat à l'université de Genève sous la direction de Jean-Pierre Eckmann et un passage au *Courant Institute* (New York), il est maintenant professeur à l'université de Warwick. Maryam Mirzakhani est la première femme à recevoir la médaille Fields. De nationalité iranienne, elle a obtenu un Ph.D de l'université de Harvard sous la direction de Curt McMullen. Elle est maintenant professeur à l'université de Stanford. Ses recherches portent principalement sur la géométrie et la dynamique des espaces de modules de courbes algébriques complexes et de différentielles quadratiques ou abéliennes.

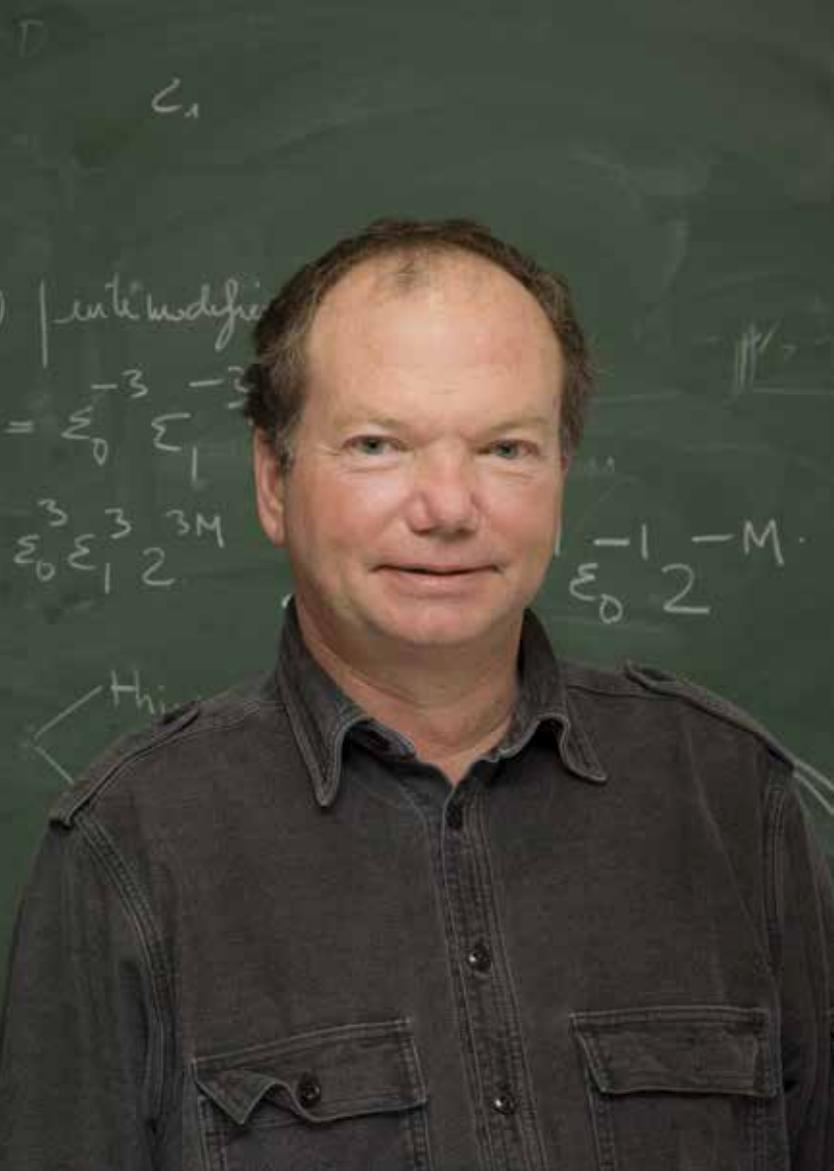
Artur Avila

En raison de ses liens avec le Collège de France, je consacrerai plus de place à Artur Avila. Il est né à Rio de Janeiro en 1979. Il obtient en 1995 (ainsi que Maryam Mirzakhani) une médaille d'or aux Olympiades internationales de mathématiques.

Il obtient son doctorat en 2001, à l'*Instituto Nacional de Matematica Pura e Aplicada* (IMPA) de Rio de Janeiro, sous la direction de Wellington de Melo. De 2001 à 2003, il sera, en guise de séjour postdoctoral, maître de conférences associé au Collège de France dans ma chaire d'Équations différentielles et systèmes dynamiques. Il entre au CNRS comme chargé de recherches en 2003, et y deviendra directeur de recherches dès 2008. Il a été titulaire du cours Peccot du Collège de France en 2005 et obtenu de nombreuses distinctions internationales avant la médaille Fields, dont le

Pr Jean-Christophe YOCCOZ
Équations différentielles
et systèmes dynamiques





Artur Avila et le Pr Jean-Christophe Yoccoz

prix Salem en 2005, un prix de la Société Européenne de Mathématiques en 2008, le prix Herbrand de l'Académie des Sciences en 2009 et le prix Michael Brin en 2011.

Artur Avila partage son temps entre la France, dont il a acquis la nationalité récemment, et le Brésil, l'IMPA étant une unité mixte internationale du CNRS depuis 2006.

La théorie des systèmes dynamiques est le cadre de la plupart des travaux d'Artur Avila. La problématique de cette discipline fondée par Henri Poincaré à la fin du XIX^e siècle est de comprendre le comportement à long terme de systèmes dont l'évolution à court terme est connue. Les outils conceptuels mis en œuvre dépendent du degré de prédictibilité des systèmes dynamiques considérés. Pour des systèmes hautement prédictibles, les méthodes dites de renormalisation se sont avérées très puissantes. Il s'agit d'effectuer sur les systèmes considérés une suite de changement d'échelles, tant en espace qu'en temps. La succession de ces changements définit une nouvelle évolution dont les propriétés éclairent celles du système initial. Artur Avila et ses collaborateurs ont grandement contribué à la compréhension de la dynamique de ces transformations de renormalisation.

Pour des systèmes de nature plus chaotique, les exposants de Lyapunov constituent une mesure quantitative du taux de perte d'information provoquée par l'évolution. De nombreux travaux d'Artur Avila sont consacrés à la question centrale de la nullité ou non de ces exposants. ■

Pr Jean-Christophe YOCOZ

Les médailles Fields au Collège de France

Quatre professeurs du Collège de France ont reçu la médaille Fields

Jean-Pierre Serre

Chaire d'Algèbre et géométrie

Médaille Fields 1954 pour ses travaux dans le domaine de la topologie mathématique

Alain Connes

Chaire d'Analyse et géométrie

Médaille Fields 1982 pour ses travaux sur les algèbres d'opérateurs

Pierre-Louis Lions

Chaire d'Équations aux dérivées partielles et applications

Médaille Fields 1994 pour ses travaux sur les équations de Boltzmann

Jean-Christophe Yoccoz

Chaire d'Équations différentielles et systèmes dynamiques

Médaille Fields 1994 pour ses travaux sur les systèmes dynamiques

Une chaire d'accueil du Collège de France à Rio de Janeiro

Les relations entre le Collège de France et le Brésil sont anciennes et s'inscrivent dans la continuité des contacts établis par Lévi-Strauss dans les années 1930, principalement à l'université de São Paulo, où une première chaire d'accueil a été créée en 1998, connue aujourd'hui sous le nom de « chaire Lévi-Strauss ».

La chaire de Rio de Janeiro est une initiative plus récente, qui remonte à 2009, au moment de l'année croisée France-Brazil, au cours de laquelle une dizaine de professeurs avaient participé à des manifestations scientifiques. Les deux institutions ont choisi de la placer sous les auspices de Claude Bernard. Elle est coordonnée, côté français, par les professeurs Jean-Christophe Yoccoz et Roger Chartier. Côté brésilien, plusieurs personnalités sont impliquées, notamment le Professeur Nelson Maculan, informaticien, le professeur Luiz Davidovich, physicien et membre du Comité international d'Orientation Scientifique et Stratégique du Collège de France (COSS) et enfin l'académicien Jacob Palis, président en exercice de l'Académie brésilienne des sciences et ancien membre du COSS. Le 17 novembre dernier, la convention a été reconduite jusqu'en 2019 au cours d'une cérémonie à laquelle le Collège de France était représenté par le Pr Pierre Rosanvallon.

Tony Cragg

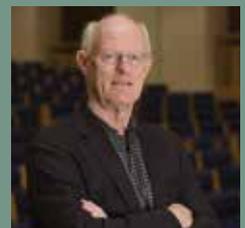
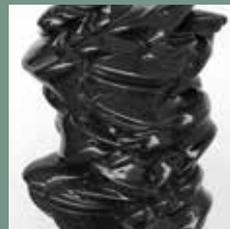
au Collège de France

12 œuvres à découvrir
jusqu'en mars 2015

Invité sur la chaire de Création artistique du Collège de France en 2013-2014, Tony Cragg a donné un cycle de cours sur le thème « sculpture et langage » que vous pouvez retrouver sur le site www.college-de-france.fr

En complément de ses cours, l'artiste a prêté douze de ses œuvres au Collège de France. Elles y seront exposées dans la cour d'honneur et le foyer jusqu'en mars 2015.

Les sculptures ne sont visibles que durant les heures de cours.





Gérard Berry médaillé d'or du CNRS

► Le prochain numéro de La lettre du Collège de France publiera des extraits du discours qu'il a prononcé lors de la remise de cette distinction. De nombreux professeurs du Collège de France ont reçu la médaille d'or du CNRS dans les dix dernières années : Alain Connes en 2004, Serge Haroche en 2009 ou Philippe Descola en 2012.

Gérard Berry, titulaire de la chaire Algorithmes, machines et langages, est le lauréat de la plus prestigieuse récompense scientifique française : **la médaille d'or du CNRS**.



Alain Fischer Japan Prize 2015

La Japan Prize Foundation a souhaité récompenser Alain Fischer, directeur de l'Institut *Imagine*, pour ses travaux pionniers sur la thérapie génique.

Le Pr Fischer en a démontré la puissance thérapeutique sur le déficit immunitaire combiné sévère lié au chromosome X.



© Fondation internationale Prix Balzan

Ian Hacking Prix Balzan

Le professeur Ian Hacking, titulaire de la chaire Philosophie et histoire des concepts scientifiques de 2001 à 2006, a reçu le prix Balzan 2014, pour ses contributions fondamentales à la philosophie et à l'histoire des sciences naturelles et sociales, pour l'ampleur thématique de ses recherches, pour une perspective épistémologique originale, centrée sur une version du réalisme scientifique et contrastant avec le paradigme dominant dans la philosophie des sciences du siècle dernier. Ian Hacking est l'un des plus importants philosophes contemporains des sciences naturelles et sociales. Ses travaux portent sur une reconstruction et une interprétation généalogique de théories et de concepts scientifiques majeurs. Le fil conducteur des recherches de Ian Hacking est de mettre en évidence les circonstances culturelles, sociales, institutionnelles, cognitives et pratiques, dans lesquelles nous pouvons repérer l'apparition ou l'émergence historique de manières de voir les choses, de styles de raisonnement et de théories sur nous et sur le monde qui modèlent les orientations contemporaines dans le cadre de la connaissance scientifique.



Clément Sanchez Grand Prix ENI

Clément Sanchez, titulaire de la chaire Chimie des matériaux hybrides, a reçu la prestigieuse récompense du Grand Prix ENI 2014, dans la section « Protection de l'environnement ».

La chimie des matériaux hybrides consiste, par exemple, à doter un simple morceau de verre transparent de la souplesse et de l'éclatante couleur d'un pétale de fleur afin de créer un matériau possédant des propriétés mécaniques et optiques très performantes. Et le champ des possibles (en technologies de l'information, médecine, énergie, cosmétiques, construction, transports...) n'a de limites que celles de notre imagination : dans le domaine de l'environnement, nous pouvons ainsi élaborer des cellules photovoltaïques sur substrats durs ou flexibles, des capteurs capables de détecter des matériaux toxiques, des photocatalyseurs permettant de dépolluer un liquide, des adsorbants ayant le pouvoir de capter le CO₂, des catalyseurs permettant de transformer les hydrocarbures lourds en essence tout en dépensant un minimum d'énergie, etc.

Gérard Berry, médaille d'or 2014 du CNRS

La place de l'informatique dans les sciences

À la fin du XX^e siècle, l'informatique a réalisé une percée fulgurante, due aux progrès exponentiels de l'électronique bien sûr, mais aussi au fait que la science informatique est une science de construction qui ne rencontre pas les obstacles des sciences naturelles, dont les objets d'étude ne dépendent pas de nous. Mathématique dans sa théorie, mais avec un système de pensée qui lui est propre, l'informatique implémente sans délai ses découvertes dans les systèmes artificiels qu'elle construit. Un bon exemple est celui des premiers moteurs de recherche, développés en quelques mois, immédiatement mis en service, et qui ont changé le monde.

J'ai longtemps vu les scientifiques classiques considérer l'informatique comme un outil précieux mais pas comme une science à part entière. La matière et l'énergie ont effectivement dominé les siècles précédents, l'information restant vue comme une question secondaire. Mais les choses changent : de plus en plus de scientifiques comprennent que l'informatique est en train de bouleverser profondément leur propre discipline et même leur façon de penser. La simulation sur ordinateur est utilisée partout. Elle devient fondamentale pour la compréhension profonde des phénomènes et pas seulement pour leur imitation. Les algorithmes deviennent aussi importants que les équations pour comprendre les lois de la nature. Les astronomes construisent leurs instruments et leurs algorithmes de façon coordonnée. De plus en plus de biologistes voient la cellule comme une machine à information, le code génétique fournissant le programme de la vie et la biochimie la machine de calcul. La médecine est révolutionnée par l'imagerie médicale et la modélisation des organes. Cependant, comparée, par exemple, à celle des USA, la science française reste globalement méfiante par rapport à cette évolution mentale. Un de mes objectifs actuels est de contribuer à réduire cette méfiance.

Les vraies clefs sont dans le fondamental

Le succès de nos travaux est d'abord dû au suivi opiniâtre de fils conducteurs secrétés par des questions fondamentales, celles qui se définissent simplement,

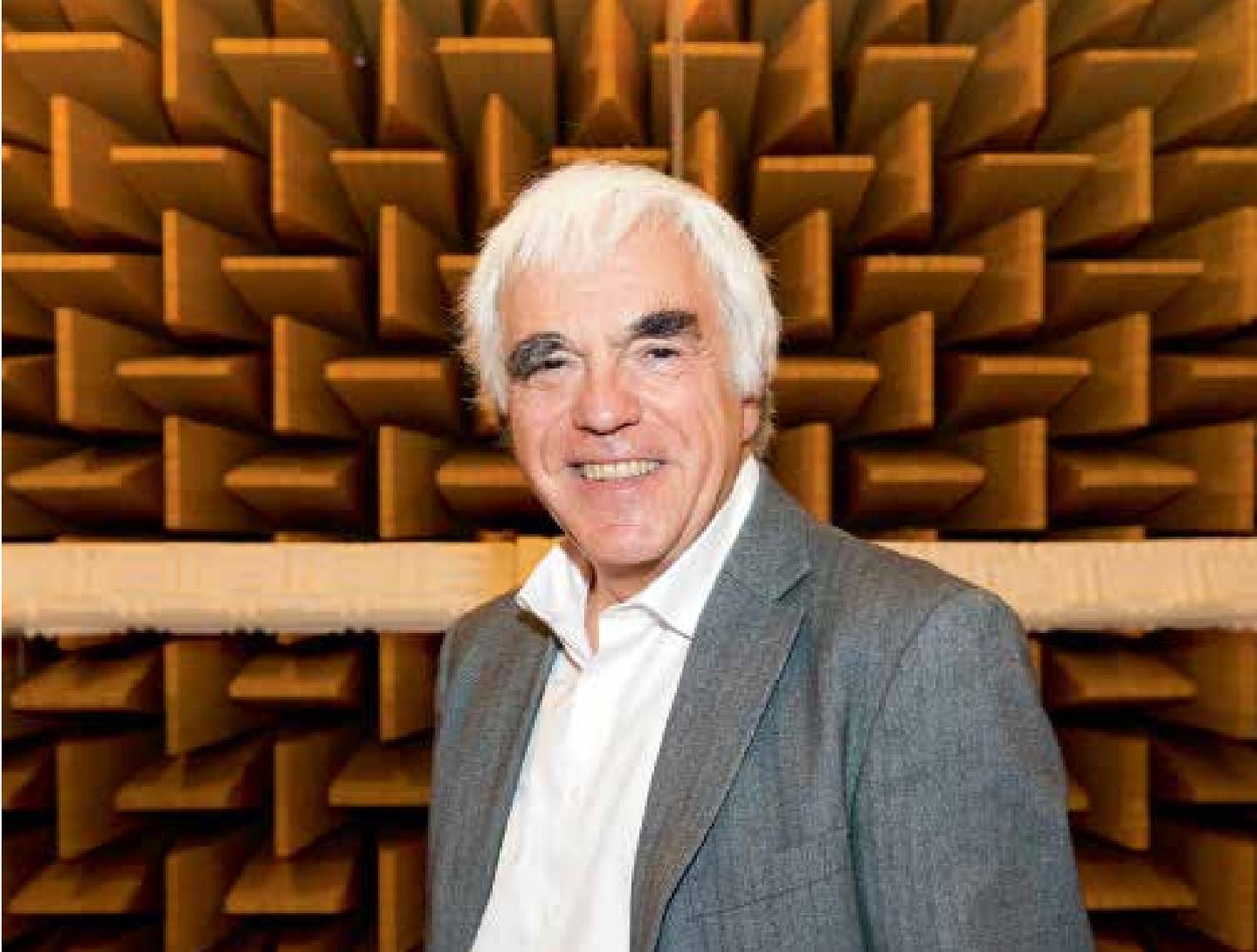
donnent du travail pour des dizaines d'années, et dont la solution conduit à des impacts imprévisibles au départ. Attention : fondamental n'est pas synonyme de théorique. Théorie, expérimentation et applications ont toujours été à égalité dans mes préoccupations. Par ailleurs, dans mes réalisations, j'ai toujours refusé les compromis pratiques litigieux qui font gagner du temps mais peuvent se payer cher par la suite. Pour moi, tout point peu clair est une bonne raison de remettre sur le tapis l'analyse fondamentale du problème. Pour juger de la qualité de nos résultats et réalisations, j'ai toujours cherché l'avis d'interlocuteurs variés, chercheurs, ingénieurs, et même compositeurs de musique. La confrontation des points de vue rend toujours scientifiquement plus modeste.

Je tiens à dire qu'aucune de nos avancées décisives n'était réellement programmable, et que seule la recherche d'air frais et d'autres points de vue dans d'autres disciplines a été soigneusement organisée.

Le chemin du fondamental à l'application

Les applications réelles se reconnaissent au fait que les interlocuteurs finaux ont des préoccupations différentes de celles des chercheurs. Elles peuvent concerner l'industrie, mais aussi la santé, l'éducation, les arts, ou d'autres domaines de recherche. Elles demandent du temps, de la persévérance et de l'ouverture. Et, si on les vise, il faut se méfier de deux attitudes également improductives : s'accrocher à un sujet théorique infécond en prétendant perpétuellement qu'il finira par avoir des applications, ou, à l'inverse, développer des prototypes jamais finis ni exportés rien que pour prouver la valeur d'un concept. Chercheur ne doit pas être synonyme d'amateur. De plus en plus de mes collègues suivent ce type de chemin allant du fondamental à l'application, avec des succès majeurs que je ne peux détailler ici.

Mes travaux initiaux ont été financés par deux GRECO du CNRS. Ces structures légères et efficaces, fondées sur la confiance, étaient bien dotées et gérées directement par les chercheurs. À la fin des années 1990, mon laboratoire recevait chaque année des chèques de 70 000 \$ d'Intel, 50 000 \$ de Cadence et 30 000 \$ de Synopsys, toutes



sociétés américaines chez qui j'étais consultant. Pas de paperasse, mais de la confiance exigeante. Mes interlocuteurs me demandaient de faire la recherche qu'ils ne savaient pas faire, pas de résoudre leurs problèmes du jour. L'efficacité de cette méthode a été claire, je pense. Nous n'avons, hélas, pas encore cette habitude en France.

L'évolution du financement de la recherche

En dehors des financements européens de type ERC qui donnent des montants élevés avec beaucoup de liberté, et auxquels les succès français sont excellents, le financement de la recherche est de plus en plus lié à des appels d'offres majoritairement orientés vers l'innovation, temporellement limités et à taux de succès constamment décroissant. Même si je comprends l'intention, je me demande si son implémentation ne risque pas de pousser le balancier trop loin avec des effets pervers potentiellement dangereux.

Même avec les simplifications en cours, une énergie considérable est consacrée à l'organisation de consortiums plus ou moins bien ficelés, à la rédaction de propositions dont plus de 80% sont rejetées, et à leur évaluation a priori et a posteriori. Les chercheurs sont tentés de récupérer leur financement de base qui a beaucoup maigri en montant des projets incrémentaux et quelquefois déjà réalisés. Les industriels peuvent être tentés de construire des partenariats

avec des chercheurs plutôt pour partager de l'argent public que pour investir vraiment dans la recherche. Tous ces points ne favorisent pas les projets vraiment ambitieux. Enfin, les contraintes sur l'utilisation des fonds indiquent encore une absence de confiance envers les chercheurs.

D'expérience personnelle, je pense que les bonnes intentions des organismes de financement devraient être davantage accompagnées d'analyses fines et approfondies de leurs effets pervers, qui peuvent conduire à ce que la routine soit mieux financée que la créativité.

L'évaluation de la recherche

De 2009 à 2012, j'ai présidé la commission d'évaluation d'Inria, qui conduit les concours d'entrée et les promotions, et gère l'évaluation des équipes. Ce fut un travail difficile mais exaltant. Je salue l'implication personnelle de mes vice-présidents et des membres nommés ou élus qui ont donné de leur temps et de leur énergie à cette activité bien respectée dans l'institut.

Plusieurs points m'ont surpris. D'abord, l'augmentation du nombre et du niveau des candidatures. Ensuite, la pression déraisonnable qui pèse sur les jeunes, en particulier pour les publications ; il devient, hélas, courant de publier dès qu'on a une idée, même un peu mince. J'ai orienté mon action ainsi : favoriser l'évaluation de la créativité, de l'originalité

et de la vision par rapport au conformisme scientifique et au comptage brutal des publications et contrats ; favoriser l'ouverture vers le monde extérieur, qu'elle soit applicative, collaborative ou reliée à la diffusion des connaissances ; s'intéresser au moins autant au potentiel d'avenir qu'aux réalisations passées.

À travers cette expérience, je pense que l'évaluation scientifique est un art difficile mais possible, à condition de ne se laisser gouverner ni par les traditions qui tendent à favoriser les sujets déjà bien établis, même s'ils ronronnent un peu, ni par les modes qui poussent des sujets attrayants par leur nom mais pas forcément par leur contenu, ni par les seuls indicateurs chiffrés. Aucune méthode bureaucratique ne pourra évaluer la créativité.

Réflexions sur l'enseignement scolaire de l'informatique

Je terminerai par un sujet qui me tient à cœur, celui de l'enseignement de la science informatique dans le primaire et le secondaire. Cette question occupe actuellement tous les pays et devient brûlante en France. En 2013, j'ai d'ailleurs coordonné un rapport de l'Académie des sciences, écrit de façon collégiale entre chercheurs et enseignants.

Un enseignement optionnel de la programmation au Lycée avait été mis en place en 1981 mais paradoxalement supprimé en 1999, au moment même du plein essor de l'informatique. Un enseignement centré sur les usages a ensuite été introduit, sanctionné par le Brevet Informatique et Internet. Bien sûr, savoir bien utiliser les instruments et réseaux informatiques est indispensable. Mais utiliser, comprendre et construire sont des activités bien différentes. Non, il ne suffit pas d'apprendre les bonnes commandes sur son ordinateur ou sa tablette sans chercher à comprendre pourquoi et comment cela marche (ou pas). Se contenter de cette attitude revient à se poser en stricts consommateurs de technologies développées ailleurs. Heureusement que nous ne l'avons pas fait pour la physique, la chimie et la biologie. Sinon, nous n'aurions ni chercheurs ni ingénieurs, ni Airbus ni TGV, ni nouveaux médicaments, ni industrie de pointe en général. L'enseignement est indispensable pour donner le goût des sciences.

Or, les industries et services liés à l'informatique sont parmi les premiers du monde en termes de dynamique et d'emploi, et l'informatique tient une place de plus en plus grande dans toutes les autres industries et professions. Une position de pur consommateur devient intenable dans un pays resté heureusement ambitieux comme le nôtre. Comment accepter que nos bacheliers aient une connaissance nulle de l'informatique et des vraies raisons de ses impacts, alors même qu'ils l'utiliseront, en dépendront, et pour beaucoup en créeront tous les jours ? Le but de l'éducation n'est-il pas de former les enfants au monde de demain et pas à celui d'aujourd'hui, qui n'existera plus demain ?

Beaucoup d'adultes peinent à intégrer l'informatique dans leur champ conceptuel et pratique. Mais les enfants n'ont pas ces problèmes. Un ami m'a rapporté l'histoire d'une

petite fille de 10 ans qui a demandé à sa maman : « Tu m'as dit que quand tu avais mon âge tu n'avais pas d'ordinateur. Alors, comment faisais-tu pour aller sur Internet ? ». Comme elle est née après l'informatique, les ordinateurs et Internet sont pour elle une partie normale de la nature préexistante, au même titre que la montagne, la mer, le vélo ou le chat. L'impact le plus profond de l'informatique est ainsi que le schéma mental des enfants actuels ne sera plus le même que celui de leur parent. L'enseignement ne peut l'ignorer.

Le système n'est heureusement plus au point mort. Après une préparation réunissant inspecteurs, professeurs et chercheurs, un enseignement optionnel de vraie informatique en terminale scientifique a été mis en place en 2012 et a déjà touché plus de 40 000 élèves. Des discours récents du président de la République et de la ministre de l'Éducation nationale ont explicitement reconnu la différence entre usage et science, quelquefois réduite cependant à la programmation (renommée codage pour la circonstance), et des consultations sont en cours pour faire évoluer l'enseignement général dans le bon sens, du primaire au baccalauréat. Les trois clefs sont la formation des professeurs, évidemment essentielle mais quasiment absente pour l'instant, les qualifications de ces professeurs, qui doivent à terme être les mêmes que pour les autres matières, et la relation à établir avec les autres disciplines, tout cela sous contraintes budgétaires. Rien n'est simple, mais j'affirme ici solennellement que ce n'est pas en les laissant vieillir davantage que les problèmes s'arrangeront. Il est vraiment temps de bouger en grand et de mettre l'intérêt de nos enfants et de notre pays devant les peurs de tous ordres. D'autres pays comme l'Angleterre l'ont déjà décidé, c'est donc possible.

Pour terminer je rappellerai qu'il faut encore et toujours tordre le cou aux préjugés de genre. J'ai récemment rencontré de jeunes bacheliers auxquelles on a explicitement dit dans leur lycée que l'informatique n'est pas un métier de femme. L'une l'a cru et y a renoncé. C'est aussi inadmissible que complètement faux. Ce problème crucial doit être pris à la racine, donc très tôt dans l'enseignement.

En conclusion, moi-même et toute ma communauté sommes conscients que cette médaille d'or est un acte de reconnaissance fort pour la science informatique autant qu'une récompense personnelle. Après des relations parfois houleuses, la collaboration entre le CNRS, Inria et les universités s'intensifie de jour en jour, et les chercheurs sont de plus en plus ouverts aux autres sciences, à l'industrie, à l'éducation et à la diffusion des connaissances. C'est ce que nous pouvons faire de mieux. Serrons les coudes, continuons sur ce chemin, et faisons entrer nos enfants dans le monde du XXI^e siècle, qui sera incontestablement informatisé en grand. ■

Pr Gérard BERRY
Algorithmes, machines et langages



GÉOMÉTRIE ALGÈBRE

Je voudrais tout d'abord remercier les Professeurs de mathématiques du Collège de France, Alain Connes, Pierre-Louis Lions et Jean-Christophe Yoccoz, pour m'avoir proposé de candidater sur une chaire de géométrie algébrique, et l'Assemblée des Professeurs pour m'y avoir élue. Les mathématiciens enseignant ou ayant enseigné au Collège de France sont de très grandes figures des mathématiques, dans mon domaine particulièrement Jean-Pierre Serre dont l'œuvre a eu un immense impact sur la géométrie algébrique et ses développements ultérieurs par Grothendieck. Jean Leray a de son côté influencé indirectement mais de façon inestimable les développements du sujet en posant les fondements de la théorie des faisceaux. Je suis donc infiniment honorée par la confiance qui m'est ainsi accordée.

J'ai choisi de consacrer cet exposé inaugural à la description d'une partie de mon domaine de recherche, la topologie des variétés algébriques complexes, qui est en contact avec des domaines des mathématiques extérieurs à la géométrie algébrique, comme la topologie, la géométrie analytique, et la géométrie différentielle. La notion de variété est partagée par tous les géomètres, différant seulement par la régularité des fonctions qu'on y considère - allant des fonctions continues (variétés topologiques) aux fonctions rationnelles (géométrie algébrique). Le point de départ est la notion de coordonnées cartésiennes qui permettent de repérer un point par une suite de nombres.

Ces coordonnées sont très utiles aux géographes et aux voyageurs mais aussi aux mathématiciens qui les utilisent pour faire du calcul différentiel. Malheureusement la plupart des espaces intéressants (y compris la sphère, la surface de la terre) n'admettent pas un système global de coordonnées. (Certains espaces topologiques n'admettent même pas de coordonnées locales.) On se contente donc, filant la métaphore géographique, d'un atlas formé de différentes cartes locales, dans lesquelles on dispose de *coordonnées locales*. Ces cartes recouvrent notre espace mais ont des recouvrements et les

applications dites de changement de carte, définies sur l'intersection de deux cartes, décrivant les nouvelles coordonnées en fonction des anciennes, dictent la régularité et la structure topologique globale de la variété.

Une structure complexe sur une variété X est un système de cartes sur X , qu'on appelle coordonnées holomorphes locales, à valeurs dans des ouverts de l'espace vectoriel complexe à n dimensions, tel que les applications de changements de cartes soient *holomorphes*. D'après Cauchy, les fonctions holomorphes sont aussi les fonctions analytiques complexes au voisinage de tout point. Des exemples de variétés complexes sont donnés par l'espace projectif et ses sous-variétés analytiques fermées, qui sont en fait également algébriques par le théorème de Chow, généralisé plus tard par Jean-Pierre Serre, et les tores complexes, qui ne sont en général pas du tout algébriques, ne contenant en fait aucune sous-variété complexe propre de dimension positive. Ces variétés ont en commun une propriété, l'existence d'une *métrique de Kähler*.

La topologie algébrique a introduit des invariants algébriques permettant de décider si deux espaces topologiques sont homéomorphes. Nous nous intéressons ici à la cohomologie de Betti, calculée par exemple comme la cohomologie singulière. Lorsqu'on calcule cette dernière à coefficients réels, on peut utiliser sur une variété les théorèmes de Rham, qui les décrivent comme l'obstruction à ce qu'une forme différentielle fermée soit exacte. Sur une variété kählérienne compacte, le théorème de décomposition de Hodge explique comment la structure complexe se reflète sur la cohomologie, donnant lieu à la notion de structure de Hodge développée par Griffiths. De ce fait les variétés kählériennes compactes obéissent à des contraintes topologiques sévères. Cependant j'ai montré en 2004 que les variétés projectives complexes étaient encore plus restreintes topologiquement. Ceci est dû au fait que leurs structures de Hodge doivent admettre des polarisations. Les structures de Hodge comportent une information très fine sur les variétés considérées et deux ensembles

de conjectures (Hodge-Grothendieck d'une part, Bloch-Beilinson d'autre part) les relient aux cycles algébriques, que l'on peut voir comme un analogue de la cohomologie, calculé en utilisant seulement les sous-variétés algébriques d'une variété. Le cours de cette année portera sur divers aspects de la théorie des structures de Hodge, allant de leurs applications topologiques à leurs applications (très largement conjecturales) à la théorie des cycles algébriques.

Le Professeur Claire Voisin a reçu le 21 septembre 2016 la plus prestigieuse récompense scientifique française, la médaille d'or du CNRS. Cette récompense couronne ses contributions majeures en géométrie algébrique complexe.

Résumé de la leçon inaugurale du 2 juin 2016

L'intégralité de la leçon inaugurale est consultable sur le site www.college-de-france.fr, à la page du Professeur.

Leçon inaugurale à paraître aux éditions Fayard.

DÉCOUVERTES, INVENTION, INNOVATION : QUELS LIENS AVEC LA RECHERCHE FONDAMENTALE ?

Le progrès dans la compréhension du monde qui nous entoure est un bien inaliénable et un bénéfice collectif. Le partage de la connaissance nous enrichit tous et n'appauvrit personne. Pour autant, certains prônent une vision utilitariste de la recherche qui, selon eux, devrait être mise au service de l'innovation pour participer à la croissance collective. Nous verrons que ces visions ne sont pas incompatibles, loin de là, mais que nous devons respecter la démarche spécifique qui guide la recherche fondamentale, comme celle qui guide les innovations, afin de pouvoir tirer le meilleur parti de leur enrichissement mutuel. J'aime bien prendre des exemples pour asseoir mon raisonnement et je n'y dérogerai pas aujourd'hui [...].

Posons-nous la question suivante : quel est le lien entre la recherche fondamentale, l'invention et l'innovation ? Passe-t-on de l'une à l'autre de façon linéaire et hiérarchique ? Il n'en est rien. Les interactions entre découvertes, inventions et innovation sont à la fois plus subtiles et beaucoup plus riches. En réalité, ce sont des allers et retours constants entre ces domaines qui en font la richesse et permettent de faire progresser à la fois la recherche fondamentale et les innovations [...]. Abordons tout d'abord la grande histoire, celle qui relie la machine à calculer inventée au ^{xvii} siècle et les ordinateurs du ^{xx} pour culminer à l'ère du numérique au ^{xxi} siècle. L'histoire commence par une invention, celle de Blaise Pascal qui, voyant son père passer de longues heures à faire des calculs, eut l'idée d'inventer une machine à calculer mécanique : la pascaline. Cette invention n'a pas été une innovation en tant que telle, puisqu'elle n'a jamais été fabriquée à plus de quelques prototypes. Malgré les tentatives d'en réduire le coût de fabrication pour pouvoir la vendre, la

pascaline n'a, en quelque sorte, jamais rencontré son marché. Pascal n'était donc pas un « entrepreneur ». Comme on le verra souvent, les inventions résultent de convergences entre d'autres innovations, des inventions ou des découvertes qui n'ont souvent pas de rapports évidents entre elles. C'est le cas des débuts de l'ordinateur. Le métier à tisser Jacquard, une vraie innovation, est arrivé plus d'un



La machine à calculer de Blaise Pascal, Agence Meurisse, © gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France.

siècle après l'invention de la machine à calculer. Pour faciliter le travail des enfants, Joseph Marie Jacquard eut l'idée de rendre programmables les métiers à tisser. Pour cela, et en utilisant une fois encore la convergence entre plusieurs technologies, il a su concevoir une mécanique programmée avec des cartes perforées. Le succès a été important et des métiers Jacquard ont été fabriqués et vendus partout dans le monde pendant plusieurs siècles.

Charles Babbage fut l'un des premiers à penser à rendre une machine à calculer programmable. Mathématicien à l'université de Cambridge et passionné de technologies, il eut l'idée d'utiliser un système identique à celui des métiers Jacquard pour programmer une machine à calculer. Cependant, sa machine a fait dépenser à l'État anglais, ainsi qu'à lui-même, beau-

coup d'argent, mais n'a jamais fonctionné de son vivant. Il a fallu attendre plus de trente ans après sa mort pour que son fils en montre un exemplaire fonctionnant sur la base des plans de son père. Comme nous allons le voir, cela a malgré tout permis de lancer les bases de la science informatique grâce à Ada Lovelace. Lady Lovelace est à elle seule un exemple de convergence : son père, Lord Byron, un poète excentrique, s'était marié avec sa mère Annabella, très rigoureuse et passionnée de mathématiques. Cette passion, elle l'a manifestement transmise à sa fille en espérant contrecarrer le caractère un peu fantasque hérité de son père. Le résultat a été particulièrement réussi car, en travaillant avec Babbage, et de façon visionnaire, elle a jeté les bases des sciences informatiques. Dans une célèbre note, en annexe de la traduction d'une présentation en italien de la machine de Babbage, elle a non seulement proposé une méthode (un programme d'ordinateur en quelque sorte) pour calculer les nombres de Bernoulli sur une machine à calculer programmable, définissant ainsi ce qui sera ensuite l'algorithme, mais elle a aussi théorisé le fait que tout objet pouvant être représenté par des symboles (tel que la musique ou les images) pourrait être manipulé par un ordinateur. Elle a aussi abordé la question qui consiste à savoir si un ordinateur pourrait être considéré comme intelligent, thème qui suscite encore de nombreux débats.

Cette chaire reçoit le soutien de la Fondation Bettencourt-Schueller.

Extraits de la leçon inaugurale prononcée le 2 mars 2017.

L'intégralité de la leçon inaugurale est consultable sur le site www.college-de-france.fr, à la page du professeur.

La leçon inaugurale est publiée en coédition avec Fayard, coll. « Leçons inaugurales », n° 268, mai 2017.

GÉOMÉTRIE ALGORITHMIQUE : DES DONNÉES GÉOMÉTRIQUES À LA GÉOMÉTRIE DES DONNÉES

LA CONCEPTION ASSISTÉE PAR ORDINATEUR

L'histoire de la géométrie algorithmique commence dans les années 1970 avec la conception assistée par ordinateur (CAO). Il s'agit de résoudre un problème industriel : créer un outil informatique simple qui permette aux dessinateurs de modéliser des surfaces en trois dimensions (3D), comme des carrosseries de voitures, et qui facilite la programmation des machines à commande numérique. [...] En utilisant l'informatique, science de l'immatériel, les ingénieurs ont franchi un pas décisif : la CAO s'affranchit des maquettes physiques, lourdes et encombrantes, et des représentations 2D réductrices-plan, des plans industriels, coupes ou projections. Elle leur substitue une véritable représentation 3D, virtuelle mais effective. Ces nouveaux modèles objectivent la représentation de formes tridimensionnelles et en simplifient radicalement le traitement, la reproduction et la transmission. Ils ouvrent de nouveaux champs d'application aux créateurs de formes tridimensionnelles - ingénieurs, médecins ou artistes.

L'INVENTION DE LA NUMÉRISATION 3D

Une deuxième étape décisive dans le développement de la modélisation 3D fut l'invention, dans les années 1980, de capteurs permettant de numériser des formes tridimensionnelles. Plus besoin de palpeurs et de systèmes mécaniques complexes ; pour la première fois, des systèmes simples, rapide et précis permettait de mesurer des formes tridimensionnelles. Les progrès de la numérisation 3D ont ensuite été spectaculaires. Des descendants du prototype de François Germain et Georges Kryzé se trouvent aujourd'hui

sur les étagères de grandes surfaces et seront bientôt intégrés dans nos téléphones portables. De nombreux autres systèmes de numérisation 3D ont été inventés, révolutionnant de nombreuses applications : la tomographie, très utilisée en imagerie médicale ainsi qu'en géophysique, en astrophysique et en mécanique des matériaux ; la télédétection par laser



(Lidar) ; la microscopie confocale, couramment utilisée en biologie et en science des matériaux ; la cryomicroscopie électronique qui permet d'étudier la structure de complexes macromoléculaires. On mesure aujourd'hui de façon routinière des formes tridimensionnelles, de l'échelle atomique à l'échelle astronomique, donnant ainsi accès à une dimension inaccessible à l'œil humain. Cette « fabrique du regard » en 3D (pour reprendre l'expression de Monique Sicard) ouvre des applications inédites. Le monde numérique n'est maintenant plus limité au texte, au son et aux images, et les représentations numériques de formes tridimensionnelles jouent un rôle central dans de très nombreux domaines. Citons, parmi bien d'autres, l'ingénierie, la cartographie, le cinéma et les jeux vidéo,

l'architecture, la préservation du patrimoine culturel, l'exploration pétrolière, la médecine ou encore la conception de médicaments.

LA QUESTION DE LA COMPLEXITÉ ALGORITHMIQUE

[...] L'approche des ingénieurs de la CAO est avant tout destinée à la modélisation de formes relativement simples mais elle ne permet pas de modéliser les formes complexes de la nature ou les statues de Michel-Ange. L'apparition de données 3D va changer la perspective. Les formes sont très variées, les données massives : plusieurs millions de points peuvent être nécessaires pour représenter précisément un objet complexe. La taille des données et la complexité des algorithmes deviennent alors critiques. Ces questions sont au centre de la géométrie algorithmique qui veut étudier les interactions entre géométrie et calcul et qui analyse de manière systématique les problèmes géométriques du point de vue algorithmique.

Extraits de la leçon inaugurale prononcée le 23 mars 2017.

La chaire Informatique et sciences numériques a été créée en partenariat avec l'Institut national de recherche en sciences du numérique (Inria).

L'intégralité de la leçon inaugurale est consultable sur le site www.college-de-france.fr, à la page du professeur.

La leçon inaugurale est publiée en coédition avec Fayard, coll. « Leçons inaugurales », n° 269, septembre 2017.

LE DROIT EUROPÉEN A-T-IL UNE HISTOIRE ? EN A-T-IL BESOIN ?

Réponse en deux temps : premièrement, si l'on considère l'histoire du temps présent, qui coïncide en l'occurrence avec la période ayant débuté au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, avec la Convention européenne des droits de l'homme et les traités ayant créé les communautés européennes, ces actes ont été fondamentaux pour la création et le développement de nouveaux ordres juridiques, dans un contexte historique qui marque une césure dans la culture occidentale européenne. En outre, ces ordres juridiques ont progressivement envahi l'ensemble des matières dans les ordres juridiques nationaux. Il est trop tôt pour apprécier dans quelle mesure ce mouvement se consolidera ou non, mais il est d'ores et déjà possible d'avancer qu'à aucune autre époque les droits particuliers qui, sous différentes formes, ont toujours constitué le socle de la tradition juridique en Europe, n'ont été exposés aussi fortement et aussi rapidement à une coordination d'une telle envergure. Malgré tout, cette européanisation des droits particuliers – avant tout, à notre époque, nationaux – reste redevable de l'élan politique qui a porté la construction européenne. Pour reprendre une ancienne formule appliquée à la diffusion du droit romain en Europe sous l'Ancien Régime : quoique de nombreux juristes prétendent que cette européanisation juridique correspond à un impératif rationnel (*imperio rationis*), cette européanisation demeure fragile et redevable d'une autorité politique efficace et ne s'impose donc toujours que *ratione imperii*.

Dans un second temps, celui de la très longue durée d'une civilisation forgée durant la transition des périodisations historiographiques, de l'Antiquité au second Moyen Âge, et qui devient pleinement reconnaissable au cours des premiers siècles du second millénaire de l'ère

chrétienne : c'est cette civilisation occidentale, celle de la chrétienté latine, qui s'est construite politiquement autour d'un État de droit. Le modèle de gouvernance publique (*bon gouvernement, gutes Regiment, buon governo*, etc.), à cette époque, s'est articulé autour du binôme qualifié de « police et justice », dont le droit est l'axe central et le trait d'union. Cette gouvernance a embrassé la complexité des pouvoirs particularistes concurrents à différents échelons politiques. Pour ce faire, elle s'est forgée un mode de fonctionnement à partir de textes de droit romain. C'est ce mode de fonctionnement, qui a subi des transformations profondes au fil des siècles, que l'on désigne par *ius commune*. Ces transformations du *ius commune* comme système permettant de coordonner la gouvernance complexe des particularismes constituent la tradition européenne de l'État de droit.

Il était sans doute facilement prévisible qu'un historien du droit réponde affirmativement à la question : le droit européen a-t-il une histoire ? Mais pour autant : en a-t-il besoin ? Si la question signifie « les différents acteurs qui produisent les droits européens de nos jours doivent-ils, pour que leur travail relève de la bonne gouvernance, connaître cette histoire ? », alors mieux vaut l'ignorer ! – tout comme la grande majorité des juristes ne se soucient guère de l'histoire de leur discipline, ce qui ne les empêche pas d'être des juristes efficaces, du moins performants. En revanche, si la question signifie : « les acteurs qui produisent les droits européens peuvent-ils faire l'économie des structures, principes et notions juridiques du passé dont l'ordre juridique européen, avec sa complexité d'échelons de gouvernance est issu ? », alors il devient fort difficile de concevoir une *tabula rasa* juridique tout en maintenant un État de droit. En outre, comme je



l'indiquais en introduction, il ne semble pas y avoir de précédent historique. Il serait même conceptuellement impossible de créer un ordre juridique qui ne serait pas tributaire d'un droit antérieur. Je ne crois pas en une théorie qui soutiendrait qu'un droit puisse être créé de toutes pièces, à l'instar d'un nouveau « jeu », régi par des règles inédites. Ainsi, tout droit a besoin de son histoire, en ce sens que tout droit a nécessairement une histoire, qui peut être une préhistoire ou, comme le démontrent les recours au droit comparé, l'histoire plus ou moins partagée d'un autre droit dans laquelle il est ancré. Cependant, cela ne signifie pas que le droit ne puisse pas être sapé et finalement remplacé par d'autres normativités. Et c'est en ce sens que l'État de droit n'est jamais un acquis et qu'il peut lui aussi disparaître.

Extraits de la leçon inaugurale
prononcée le 20 avril 2017.

L'intégralité de la leçon inaugurale est
consultable sur le site www.college-de-france.fr,
à la page du professeur.

La leçon inaugurale est publiée en coédition
avec Fayard, coll. « Leçons inaugurales »,
n° 271, septembre 2017.

L'ALGORITHMIQUE

LA RESTAURATION VISUELLE EN PERSPECTIVES

Qu'est-ce qu'un algorithme ? Sans le savoir nous connaissons des algorithmes depuis longtemps. On apprenait autrefois à lire avec la méthode syllabique, en apprenant d'abord à reconnaître les lettres puis en combinant les lettres pour former des syllabes, les syllabes pour former des mots, en alignant des mots pour former des phrases, les phrases pour former des textes. Lorsqu'un enfant peut lire un texte à haute voix, on espère qu'il peut également le comprendre. Cette façon de procéder pour l'apprentissage de la lecture part de l'idée que tout enfant est capable d'apprendre ses lettres, et qu'ensuite, chaque nouvelle étape suit l'étape précédente en faisant un petit effort supplémentaire. C'est une façon de résoudre le problème de l'apprentissage de la lecture, en le décomposant en problèmes plus simples. Or, un algorithme, c'est une méthode pour résoudre un problème de façon constructive en le décomposant en briques de base faciles à manipuler. Ainsi, la méthode syllabique peut être interprétée comme une sorte d'algorithme.

L'ALGORITHMIQUE PAR L'EXEMPLE : GREFFES DE REINS

Les algorithmes interviennent dans les contextes les plus variés, par exemple pour organiser les greffes de reins par dons croisés, de façon à satisfaire le maximum de malades en attente de greffe. On modélise ce problème, dans un premier temps, par un problème de théorie des graphes, celui du couplage maximum dans les graphes, et on le résout par l'algorithme d'Edmonds. Cela peut être amélioré par une modélisation affinée

posant le problème de calcul du nombre maximum de triangles dans un graphe, qui est *NP-difficile* (donc ne peut être résolu de façon efficace si la conjecture affirmant que P est différent de NP est vraie), mais pour lequel il existe des heuristiques basées sur la programmation linéaire en entiers et qui sont assez efficaces sur ces cas en pratique. Que faire des problèmes *NP-difficiles* ?

Le problème du voyageur de commerce en est l'exemple le plus célèbre. Il s'agit de trouver le plus court chemin pour visiter un ensemble donné de villes. Le voyageur a une liste d'adresses où il doit faire des visites, avec un plan qui lui donne toutes les distances et durées des trajets. Il doit planifier son itinéraire pour se

rendre à toutes les adresses de la liste, mais avec un parcours aussi court que possible. La solution la plus simple serait de regarder toutes les solutions possibles, calculer la longueur de chaque solution, et choisir la meilleure. Cet algorithme n'est pas rapide. S'il y a deux fois plus de lieux à visiter, combien de solutions examiner ? C'est le nombre de façons d'ordonner les lieux. Cela augmente énormément lorsque la taille du problème double, et ce n'est donc pas un algorithme raisonnable. Même pour un problème avec quelques centaines de lieux à visiter, si l'on devait exécuter cet algorithme et attendre qu'il trouve la meilleure solution, cela prendrait jusqu'à la fin des temps, ou du moins jusqu'à la fin de vie du soleil ! En pratique, il n'y a pas de différence entre un algorithme qui terminera son calcul à la fin des temps, et un algorithme qui exécuterait une boucle infinie et ne s'arrêterait jamais de calculer. Le message est clair : un bon algorithme se doit d'être rapide. Les critères de qualité des

algorithmes varient selon le contexte, mais celui-là est toujours présent : il faut obtenir le résultat après un temps raisonnable. Pour contourner l'obstacle formidable de la *NP-difficulté*, l'une des approches concerne l'approximation. Au lieu de chercher le tour le plus court possible, on se contente de chercher un tour qui soit suffisamment court, par exemple au plus 5% plus long que nécessaire. Si on accepte ainsi une marge d'erreur sur la qualité du résultat, en compensation pour ce petit sacrifice, on obtient un algorithme qui peut être beaucoup plus rapide. C'est le domaine des algorithmes d'approximation.

Les algorithmes ont un impact majeur sur la société. Les algorithmes de graphes aident les médecins à organiser les greffes de reins, quoique se posent des questions d'efficacité. L'algorithme APB a pu aider les étudiants à trouver des formations universitaires, quoique se posent des questions d'équité et de sincérité. Les algorithmes pourraient avoir un impact sur le découpage électoral ces prochaines années, quoique se posent alors des questions de représentativité.

On observe parfois des dysfonctionnements, mais les algorithmes n'en sont pas directement responsables. Ils ne font que résoudre le problème qu'on leur donne, et ce problème n'a pas toujours été posé dans une perspective algorithmique. Les conséquences pour les individus peuvent être tangibles, et c'est pourquoi il faut espérer que la perspective algorithmique fera partie de la culture des adultes de demain.

Extraits de la leçon inaugurale
prononcée le 16 novembre 2017.

La chaire Informatiques et sciences numériques
a été créée en partenariat avec l'Institut national
de recherche en sciences du numérique (Inria).

L'intégralité de la leçon inaugurale est
consultable sur le site www.college-de-france.fr,
à la page du professeur.

La leçon inaugurale est publiée en coédition
avec Fayard, coll. « Leçons inaugurales »,
n° 273, mars 2018.

PRIX ET DISTINCTIONS

CLAIRE VOISIN

Chaire Géométrie algébrique

PRIX ET DISTINCTIONS

EDITH HEARD

Chaire Épigenétique et mémoire cellulaire

MÉDAILLE D'OR DU CNRS 2016 SHAW PRIZE 2017

Première mathématicienne à rentrer au Collège de France, Claire Voisin est titulaire de la chaire de géométrie algébrique depuis juin 2016.

Elle a reçu le 14 décembre 2016 la médaille d'or du CNRS, plus haute récompense scientifique française, et s'est vue décerner le 23 mai 2017 le prix Shaw, équivalent du « prix Nobel asiatique » en mathématiques. Un prix qu'elle partage avec János Kollár, professeur au département de mathématiques de l'université de Princeton (États-Unis).



De manière générale, le domaine de recherche de Claire Voisin se situe entre la géométrie algébrique et la géométrie complexe kählérienne. Ses travaux ont considérablement fait avancer la compréhension emblématique de toute une partie de la géométrie algébrique, allant de la théorie de Hodge à la théorie des motifs. Claire Voisin est admise à l'École normale supérieure en 1981, à l'âge de dix-neuf ans. Elle obtient l'agrégation de mathématiques en 1983, puis elle soutient sa thèse de géométrie algébrique sous la direction d'Arnaud Beauville à l'université d'Orsay en 1986. Elle poursuit ensuite sa carrière au CNRS, et devient 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 kählériennes 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 recherches ont été récompensées 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, membre étranger des académies Leopoldina (Allemagne), dei Lincei (Italie) de l'Academia Europea membre honoraire de la London Mathematical Society et membre de la National Academy of Science.

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 est reconnue dans la communauté mathématique pour avoir une connaissance « extraordinaire » des variétés algébriques, objets d'études de la géométrie algébrique.

LE PRIX SHAW

Récompense internationale gérée et administrée par la fondation du prix Shaw de Hong Kong et le fond de charité Sir Run Run Shaw, tous deux dédiés à la promotion de l'éducation, de la recherche scientifique et technologique, des services médicaux et de bien-être, à la culture et aux arts. Établi en novembre 2002 sous les auspices de M. Run Run Shaw, le prix honore des individus, sans distinction de race, nationalité, genre ou croyance religieuse, qui ont accompli des percées significatives dans la recherche académique et scientifique ou ses applications et dont le travail a eu pour conséquence un impact positif profond sur l'humanité.

GRAND PRIX INSERM 2017

GRAND PRIX INSERM 2017

Le grand prix Inserm 2017 a été décernée à Edith Heard pour ses travaux sur l'épigénétique. La cérémonie annuelle des prix Inserm s'est déroulée le 30 novembre 2017 au Collège de France, en présence de Frédérique Vidal, ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, Cédric Villani, député, et Gérard Longuet, sénateur, président et premier vice-président de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST). Née le 5 mars 1965 à Londres, Edith Heard a suivi des études en sciences naturelles à l'université de Cambridge au Royaume-Uni et a préparé son doctorat au Imperial Cancer Research Fund de Londres. Elle a ensuite rejoint l'Institut Pasteur en 1990 pour un stage postdoctoral sur l'inactivation du chromosome X. Depuis, mis à part un séjour aux États-Unis en 2000-2001 (Cold Spring Harbor Lab), elle n'a plus quitté la recherche française. Professeure au Collège de France depuis 2012, elle dirige aujourd'hui à l'Institut Curie, l'unité mixte de recherche Génétique et biologie du développement ainsi que l'équipe Épigenèse et développement des mammifères. Elle mène ses recherches sur l'inactivation du chromosome X, et sa régulation épigénétique au cours du développement ainsi que sa dérégulation dans les cellules cancéreuses. L'épigénétique est la conséquence de marques posées sur l'ADN ou des pro-

téines qui l'entourent, et vont influencer l'expression des gènes.

L'équipe d'Edith Heard a découvert en 2012 en collaboration avec des chercheurs américains, une organisation inattendue des chromosomes : la chromatine qui allie ADN et protéines, s'organise selon des domaines



© Inserm / Patrick Delapierre.

topologiques d'association qu'ils ont baptisés TAD (*Topologically Associating Domains*). Ces derniers rangent l'ADN dans une sorte de « fil de laine » qui formerait plusieurs pelotes. Chacune correspondrait à un TAD. Cet « effet pelote » est responsable de la régulation des gènes. Au cours de la reproduction, la perte de ces pelotes provoque l'inactivation d'un chromosome X. Cette découverte a eu un impact important sur l'interprétation du génome et de l'épigénome.

Edith Heard a reçu de nombreuses distinctions pour ses travaux de recherche : la médaille d'argent du CNRS, en 2008, le prix Jean Hamburger de la ville de Paris, en 2009, l'ERC Advanced Investigator Award du Conseil européen de la recherche

en 2010 et le grand prix de la Fondation pour la recherche médicale (FRM) en 2011. Elle est en outre membre élu de la prestigieuse Organisation européenne de biologie moléculaire (EMBO) depuis 2005. Au-delà de ses activités de recherche et d'enseignement, Edith Heard s'est très tôt impliquée dans le développement du programme PAUSE piloté à l'échelle nationale par le Collège de France (présenté en p. 20-21 de ce numéro), qui vise à développer une science sans frontière, en accueillant en urgence les scientifiques en exil en provenance de pays où la situation politique ne leur permet plus d'exercer leur métier et met en péril leur vie et celle de leur famille.

En 2019, Edith Heard prendra la direction de l'European Molecular Biology Laboratory (EMBL), un événement significatif pour cette Européenne convaincue.

**COMMUNIQUÉ DE PRESSE INSERM /
COLLÈGE DE FRANCE**

La première définit son domaine d'enquête et sa question principale : peut-il y avoir une connaissance scientifique des faits humains ? Cette interrogation, Granger l'a formulée dès son mémoire d'études supérieures qui portait sur la théorie de la science chez Aristote, et il l'a retrouvée dans son grand livre sur le Stagirite : le domaine de la pratique, de la *poiésis*, qui est par définition celui de l'individuel, où l'on soigne Callias en particulier et non pas l'homme en général, peut-il se prêter à une connaissance scientifique ? La réponse de Granger fut toujours positive, contrairement à celle des philosophes de la tradition phénoménologique et herméneutique, qui tiennent absolument à distinguer les *Geisteswissenschaften* et les *Naturwissenschaften*, et contrairement aussi à toute la tradition du spiritualisme et du vitalisme français, qui, de Maine de Biran à Merleau Ponty en passant par Bergson, tient le vécu pour irréductible au concept. Mais, à la différence des positivistes, Granger ne pensait pas non plus que l'on pût soumettre les faits humains à des lois strictes. Très vite, en s'intéressant de très près à des sciences comme l'économie et la linguistique, il voulut comprendre comment elles s'appuient sur des modèles plutôt que sur des lois, en quoi leur manière de penser était plus sémantique et pragmatique que syntaxique, et s'attachait davantage aux modalités du possible et du probable qu'à celle du nécessaire, pour reprendre des distinctions qu'il a souvent commentées et articulées.

La deuxième thématique qui court comme un fil rouge à travers toute son œuvre est, elle aussi, aristotélicienne : comment appliquer des formes à des contenus et à des objets ? En particulier, comment appliquer les formes mathématiques et logiques à des contenus possibles, et, plus spécifiquement, dans les sciences de l'homme ? Granger a toujours simultanément refusé la conception platonicienne des formes comme abstraites et la conception positiviste, héritée du *Tractatus* de Wittgenstein, selon laquelle la forme, et tout particulièrement la forme logique, serait nécessairement vide et dénuée de contenu informatif, comme le sont les tautologies. Il y a bien, selon lui, un degré zéro du formel, qui s'incarne dans la logique propositionnelle où, pour reprendre les termes de Gonsseth, l'objet est « quelconque », mais dès qu'on fait intervenir, avec la logique du premier ordre et la quantification, des individus, des propriétés et des relations, les formes se lient à des objets possibles et à des objets virtuels, et elles constituent des mondes. Que l'infini soit introduit, et les contenus logiques rejoignent ceux des mathématiques. L'un des grands *leitmotivs* de toute l'œuvre de Granger est qu'il y a une *pensée formelle*, qui véhicule le sens en s'appliquant à des objets variés de toutes sortes de domaines et non plus à des objets « quelconques ». Les formes logiques et mathématiques ne sont donc pas des idées au sens platonicien : elles sont associées à des opérations qui définissent des modes de preuve. Comme on l'a souvent dit, Granger est bien, pour reprendre la fameuse distinction de Cavallès, un philosophe du concept et non un philosophe de la conscience. Mais, à la différence de Kant et des intuitionnistes, il ne conçoit pas les mathématiques comme une science qui n'opérerait que par construction de concepts dans l'intuition. Les concepts sont indissociablement objets *et* opérations, ce qui implique qu'on les traite comme des modes d'action. C'est, je crois, l'une des raisons pour lesquelles il fit tant pour introduire en France la philosophie pragmatiste de Peirce qui avait, avant lui, articulé, dans

sa philosophie des mathématiques, des distinctions de ce type (notamment entre le *théorématique* et le *corollaire*) ou encore enrichi la logique par une approche sémantique et sémiotique où figuraient en bonne place, à côté des symboles, icônes et indexicaux, ces formes de l'illocutoire et de l'ancrage, si chères aussi au philosophe de Jouques.

Ce souci d'application des formes se manifeste non seulement en mathématiques et dans les sciences sociales et humaines, mais aussi en philosophie. Toute son œuvre durant, Granger n'a cessé de réfléchir, en même temps qu'à celui de la science, au statut de la philosophie. Il a toujours refusé de ne voir en celle-ci qu'une servante des sciences comme de l'ériger en reine des sciences. Avec la même constance, il a rejeté les différentes versions du romantisme et de l'irrationalisme contemporains qui font de la philosophie une bonne à tout faire ou une catin, comme chez tous ces auteurs à qui elle sert de faire-valoir. Dans l'un des livres qu'il a produits dans sa courte mais très féconde période où il fut professeur au Collège de France, *La Connaissance philosophique*, il s'efforce de donner à la philosophie le statut d'une discipline capable de produire des connaissances, sans produire pourtant des vérités. Il y a là un profond paradoxe : comment une discipline qui prétend atteindre la connaissance peut-elle ne pas atteindre la vérité ? Il n'est pas sûr que Granger ait résolu ce paradoxe. Mais à sa décharge, il n'était pas le seul.

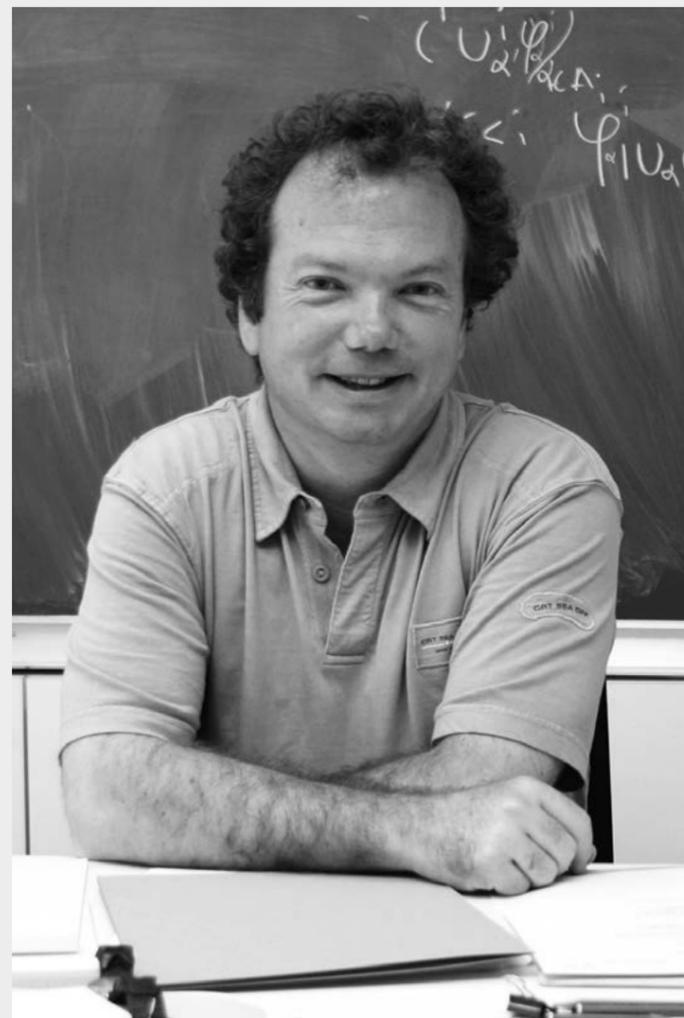
De quelle nature, finalement, est le rationalisme de Granger ? Ce n'est pas un rationalisme leibnizien, qui reposerait sur une métaphysique dogmatique. Encore moins une forme de nécessitarisme à la Spinoza, car bien qu'il ait décelé chez son professeur Cavallès cette tendance, Granger ne pouvait concevoir l'action humaine comme le déploiement d'une nécessité. On peut toujours choisir, ce qui fut le cas et de Jean et de « Gilles » ou ne pas choisir d'être un Résistant. Ce n'est pas non plus, bien qu'il y ait nombre d'échos kantien dans son œuvre, un projet transcendantal renouvelé, même si, dans un essai, il suggère la reprise possible d'un tel projet pour la science moderne. Ce n'est pas, comme chez Bachelard, un rationalisme appliqué à différents domaines. Peut-être faudrait-il plutôt dire, si ce terme n'était pas de nos jours la couverture de tant de marchandises douteuses, un rationalisme *pragmatiste* : car la raison, pour Granger, ne s'incarne pas seulement dans des principes immuables ; elle est, comme il le martèle, style et travail, ce qui implique que ses formes (mais non pas ses principes les plus profonds) évoluent. C'est à tout le moins un rationalisme pragmatique, au sens que donnait Aristote au terme « poïétique », renvoyant à un faire, à un travail, à un style, dont Granger voyait l'actualisation à la fois idiosyncrasique et générale dans toute œuvre de connaissance, ainsi qu'il le montre dans ce superbe chapitre de la *Philosophie du style* où le style de Descartes en mathématiques se voit comparé à celui de Desargues. Ce thème se lie de manière intime à celui de l'action, que Wittgenstein, à l'instar de Peirce, plaçait à l'origine de la connaissance, mais sans jamais accepter que la connaissance pût se réduire à l'action et au faire. La visée de l'idéal restait à l'horizon, et Gilles Gaston Granger lui fut toujours fidèle.

CLAUDINE TIERCELIN

Hommage prononcé lors de l'Assemblée du 26 mars 2017

Hommage à Jean-Christophe Yoccoz (1957 - 2016)

Chaire Équations différentielles et systèmes dynamiques (1996 - 2016)



Jean-Christophe Yoccoz nous a quittés le 3 septembre 2016. Il naît le 29 mai 1957 dans une famille d'universitaires. Son père, physicien, fut longtemps directeur de l'IN2P3 ; sa mère fut une traductrice reconnue de littérature russe et les deux frères de Jean-Christophe seront normaliens comme lui. Ses études sont brillantes : médaille d'argent puis d'or aux Olympiades de mathématiques de 1973 et 1974, il est reçu premier aux concours de l'École normale supérieure et de l'École polytechnique. Élève à l'ENS de 1975 à 1979, il est reçu premier à l'agrégation en 1977. Quelques-unes des qualités qui feront de lui le mathématicien que l'on sait sont immédiatement perceptibles dès le lycée : vitesse phénoménale, fulgurances, examen très rapide de toutes les stratégies possibles de résolution d'un problème et résolution quasi instantanée une fois la bonne stratégie identifiée. En outre, il aime la compétition en prenant toujours soin de ne pas blesser ses concurrents. Le goût de la compétition permet de mieux comprendre son amour pour les échecs et pour tous les sports.

En troisième année d'École normale supérieure, à l'occasion d'un DEA à Orsay, il rencontre celui qui deviendra son directeur de thèse, Michael Herman, qu'il rejoint en 1979 au Centre de Mathématiques de l'École polytechnique comme attaché de recherches au CNRS. Deux ans plus tard, il part à l'IMPA à Rio dans le cadre du service militaire en coopération où il fait la deuxième rencontre, après Michael Herman, essentielle pour son développement scientifique, à savoir Jacob Palis (et son école). Durant ces années, les résultats impressionnants s'accumulent et peu de temps après son retour à Paris comme chargé de recherche au CNRS toujours à l'École polytechnique il soutient en 1985 sa thèse d'État sous la direction de Michael Herman, dont le titre est « Centralisateurs et conjugaison différentiable des difféomorphismes du cercle ». Les succès mathématiques et les signes de reconnaissance aussi bien nationale qu'internationale s'accumulent à partir de ces années (médaille de bronze du CNRS en 1984, prix IBM de mathématiques en 1985, cours Peccot en 1987, prix Salem en 1988, conférencier au congrès de Kyoto (ICM 90), prix Jaffe de l'Académie des Sciences en 1991 sans oublier bien sûr la médaille Fields en 1994).

En quelques années, Jean-Christophe est devenu le leader mondial incontesté de ce que nous appelons « systèmes dynamiques ». En temps continu, il s'agit d'équations différentielles ordinaires comme par exemple les équations de Newton régissant le mouvement de corps tels que les planètes dans le système solaire. En temps discret, on considère tout simplement les itérations successives d'une application. Ce domaine important des mathématiques a été fondé par Poincaré et Jean-Christophe l'a considérablement développé et influencé. Pour comprendre le comportement en temps long de tels systèmes, tout particulièrement à la frontière du chaos et de la stabilité, Jean-Christophe a introduit de nouvelles méthodes et outils, comme par exemple les « puzzles de Yoccoz », combinant un profond sens géométrique ainsi qu'une aisance combinatoire stupéfiante. Mais il a également su pousser plus loin que tous des approches « classiques » grâce à une puissance analytique tout aussi impressionnante. À titre d'exemple, citons ses travaux qui étendent de manière que l'on peut qualifier de définitive les travaux antérieurs de Michael Herman sur la théorie KAM. Nommé professeur à l'université de Paris Sud à Orsay en 1988, il devient professeur au Collège de France sur la chaire Équations différentielles et systèmes dynamiques en 1996. Bien évidemment, de nombreuses responsabilités collectives lui seront confiées et

il les accomplira avec un grand dévouement. Rappelons qu'il fut longtemps le secrétaire de l'Assemblée des Professeurs de notre institution.

Même si ses capacités d'analyse étaient foudroyantes, Jean-Christophe avait besoin de s'évader et le faisait grâce aux livres, à la musique, aux activités sportives et aux échecs. Il affectionnait également de longues marches notamment dans le Finistère qu'il a tant aimé, qui lui permettaient de mettre en ordre ses réflexions mathématiques.

Mathématicien d'exception, Jean-Christophe était aussi un homme remarquable. Remarquable par sa gentillesse et son écoute des autres, remarquable par sa tolérance et sa loyauté, remarquable par sa discrétion et sa simplicité, remarquable par sa bonne humeur et ses grands éclats de rire, remarquable par son courage. Même dans les moments les plus éprouvants de sa maladie, il restait résolument optimiste et toujours curieux de tout : je me revois dans sa chambre d'hôpital à quelques jours d'intervalle interrogé sur les « blockchains » puis sur les règles du water-polo ! Inconditionnel du Brésil, sa femme tragiquement disparue très jeune était d'ailleurs brésilienne, ce grand pays a été capital pour lui aussi bien du point de vue de son épanouissement mathématique qu'humain. Passionné de sport (voile, ski, rugby, football, pétanque, échecs...), les jeux olympiques de Rio ne pouvaient donc être qu'un moment important pour lui. C'est d'ailleurs le souvenir que je conserve et veux conserver de lui, regardant ensemble à l'hôpital la retransmission des épreuves sportives et le plaisir amusé de reconnaître la route passant devant l'IMPA dans la terrible descente finale des épreuves cyclistes sur route... Le Collège de France a perdu un grand professeur et un grand scientifique.

PIERRE-LOUIS LIONS

Hommage prononcé lors de l'Assemblée du 26 mars 2017

« LES LUNDIS DU COLLÈGE DE FRANCE À AUBERVILLIERS (2006-2011) »

LE PROFESSEUR CARLO OSSOLA REND HOMMAGE À JACK RALITE

J'ai rencontré Jack Ralite à Stresa en 2004 à l'occasion d'un colloque organisé par le « World Political Forum », sous la présidence de Mikhaïl Gorbatchev (avec la participation, entre autres, de l'ancien secrétaire de l'ONU, Boutros Boutros-Ghali, de Benazhir Bhutto, Lionel Jospin, Michel Rocard, Hans-Dietrich Genscher) autour des pauvretés, défi mondial du XXI^e siècle.



L'idée jaillit dans son évidence : la pauvreté de culture est la mère et le fruit des autres pauvretés ; d'où l'hypothèse de délocaliser à Aubervilliers une série de cours du Collège de France. Ce projet, soutenu, dès le commencement, par Jean-Pierre Vernant et André Miquel, fut illustré et proposé à l'assemblée des professeurs par Jacques Glowinski, Administrateur du Collège. Les leçons, avec le partenariat du lycée Le Corbusier (sous l'impulsion de son proviseur Monique Parquier, d'Anne Teixier et Catherine Robert,

professeurs de philosophie) et sous le titre des « Lundis du Collège de France à Aubervilliers » ont eu lieu de 2006 à 2011, sur les thèmes suivants : *Classiques de la mémoire humaine*, 2006-2007, *Utopie et carnaval*, 2007-2008, *Concepts et réalité*, 2008-2009, *Les grandes civilisations*, 2009-2010, *Le travail : Expression de l'être humain*, 2010-2011 (avec la coordination de Claudine Joseph, mairie d'Aubervilliers, et de Marie-Hélène Lévi, Collège de France). Inoubliable également, la leçon donnée par Jean-Pierre Vernant à quelques semaines de sa mort¹, parue aux éditions Bayard, avec d'autres volumes qui témoignent de cette initiative ; laquelle a été ensuite diffusée, en région, grâce à Frédéric Namur et à la société Cap Cinéma à Moulins, avec le soutien de son maire, Pierre-André Périssol, et à Blois. Mais rien n'aurait réussi sans le dévouement passionné de Jack Ralite, qui

introduisait, par des textes inspirés, fondés historiquement et toujours attentifs au présent politique, chacune des conférences (le volume recueillant ses introductions paraîtra en automne 2018). Il aimait rappeler la réflexion d'Hannah Arendt : « Le sens d'une action n'est révélé que lorsque l'agir lui-même est devenu une histoire racontable ». Nous pouvons le faire, grâce à la conscience prophétique de ce serviteur du bien commun. Dans sa conférence finale, en 2011, *Travail et dignité*, il faisait appel à un principe qui a orienté la collaboration

UNE PERSONNALITÉ ENGAGÉE

Jack Ralite est né le 14 mai 1928 à Châlons-sur-Marne. Il a été élu député en 1973, puis nommé deux fois ministre (Santé et Emploi), dans les 2^e et 3^e gouvernements de Pierre Mauroy, de 1981 à 1984. Il fut maire d'Aubervilliers de 1984 à 2003 et sénateur de Seine-Saint-Denis de 1995 à 2011. Grand homme de culture, il a animé les « États généraux de la culture » dès leur création en 1987. Il a écrit des ouvrages sur Jean Vilar, Antoine Vitez, Louis Aragon ainsi que des articles sur la santé, la culture, les arts.

avec le Collège de France : « Le grain de la resymbolisation ». La matière ne suffit pas, le travail encore moins, si – à chaque instant – notre œuvre dans le monde n'est pas animée par l'élan vers le point non négociable qui n'a plus besoin ni du consensus ni de la rémunération d'autrui. Yves Bonnefoy, l'avait – dans sa conférence à Aubervilliers – précisé avec beaucoup de justesse : « J'appelle à une fusion par le haut ». Le jour de sa commémoration au Père Lachaise, le 24 novembre 2017, nous avons lu les vers de Jean Ristat qui scellent l'un de ses livres :

Ceci n'est pas oracle. J'enterre / Des siècles de résignation et de servitude. / J'appelle la douceur de la pluie sur mon corps / meurtri. [...] / Ô camarade / On a comme une impatience de printemps »

(Ode pour hâter la venue du printemps)

Nous serons persévérants dans cette impatience, cher Jack Ralite.

CARLO OSSOLA

¹ http://www.lemonde.fr/societe/article/2006/10/24/le-college-de-france-a-aubervilliers_827053_3224.html

SCIENCES DES DONNÉES ET APPRENTISSAGE EN GRANDE DIMENSION

L'objectif déclaré des sciences des données est d'extraire de la connaissance d'ensembles de données. En soi, il n'y a là rien de nouveau. Extraire de la connaissance de données est au cœur des méthodologies développées par les sciences et les sciences humaines, qui sont représentées au Collège de France aussi bien par la physique que par l'égyptologie, en passant par la biologie, l'économie ou l'anthropologie. Néanmoins, la perspective apportée par les mathématiques et l'informatique est différente. Un peu comme en philosophie, on veut non seulement comprendre les aspects généraux de cette extraction de connaissances, mais aussi traduire ces principes sous forme d'algorithmes pouvant être programmés sur des ordinateurs.



porter une vision et un langage communs à des sciences différentes, ce qui est la vocation et le charme des mathématiques appliquées.

MODÉLISATION, PRÉDICTION ET INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Pour développer un point de vue générale, on va considérer n'importe quel type de données numériques : sons, images, textes, données médicales, mesures physiques ou données issues de réseaux sociaux. Un point commun à toutes ces données est qu'elles incluent toutes un grand nombre de variables. L'enregistrement d'un son a environ 10^4 échantillons par seconde, une image a souvent plus d'un million de pixels, ce petit texte a 5×10^4 caractères, et bien sûr la physique reste la reine de la grande dimension avec des systèmes dont le nombre de variables dépasse 10^{24} (nombre d'atomes dans quelques grammes de matière). On verra que cette grande dimension est source de toutes les difficultés. Le traitement de données concerne indifféremment n'importe lequel de ces exemples et bien d'autres, même si je prendrai souvent des exemples d'images par simplicité.

On peut distinguer deux types de problèmes en sciences des données : la modélisation et la prédiction. Un modèle décrit la variabilité des données et permet d'en générer de nouvelles. On l'utilise pour comprimer et donc pour stocker des données avec le moins de mémoire possible, ou pour les transmettre efficacement. Avec un modèle, on peut aussi éliminer des erreurs

introduites dans les données, ou resituer des données complètes à partir de mesures partielles. Ainsi, on peut restaurer des images médicales de haute qualité avec un nombre de mesures réduites, afin de minimiser l'exposition des patients. La modélisation est au cœur du traitement du signal, qui a de nombreuses applications, notamment dans le domaine des télécommunications.

Une prédiction a pour but d'estimer la réponse à une question à partir de données. Ces prédictions sont faites par des algorithmes d'apprentissage statistique, qui sont à l'origine du renouveau de l'intelligence artificielle. Les applications sont considérables. En vision par ordinateur, on interprète le contenu des images, par exemple pour reconnaître une personne, un animal ou une ville. Des algorithmes traduisent des textes sur Internet. En médecine, ces techniques apportent une aide au diagnostic pour personnaliser les prescriptions à partir de données génomiques ou épigénétiques, par exemple en cancérologie. Sur un réseau social, les informations diverses ou des likes sont des données à partir desquelles on peut prédire des choix politiques, des préférences musicales, la consommation de crème au chocolat ou de drogues¹.

Les algorithmes d'apprentissage ont fait des progrès spectaculaires ces dernières années, non seulement grâce à l'accélération des vitesses de calcul des ordinateurs et aux masses de données collectées dans tous les domaines, mais aussi grâce à l'évolution des algorithmes. Les réseaux de neurones profonds ont obtenu des résultats spectaculaires, qui, dans certains cas, sont proches ou dépassent les performances humaines pour la vision, l'analyse de sons, l'analyse du langage, ou pour des jeux de stratégie comme le go, dont le champion du monde a été battu par un réseau de neurones. Pourtant, d'un point de vue mathématique, on comprend mal les raisons de ce succès.

Extrait de la leçon inaugurale prononcée le 11 janvier 2018, consultable dans son intégralité sur le site www.college-de-france.fr, à la page du professeur.

La leçon inaugurale est publiée en coédition avec les éditions Fayard, coll. « Leçons inaugurales », n°279, 2018.

MIGRATIONS ET SOCIÉTÉS



[...] La France est un pays d'immigration depuis le milieu du XIX^e siècle, contrairement à ses voisins. Épuisée par les guerres de la Révolution et de l'Empire, malthusienne avant l'heure¹, elle enregistrait à peine plus de naissances que de décès et manquait de bras pour développer les mines, la sidérurgie, le chemin de fer, les ports, les manufactures, l'agriculture vivrière². Elle ne s'est pas contentée pour cela de recourir aux voisins belges et italiens. Dans l'entre-deux-guerres, les Charbonnages de France ont puisé sans ménagement dans la main-d'œuvre polonaise. Ont suivi les Algériens, les Espagnols, les Portugais, les Marocains... Le boom des naissances de 1946 à 1974 n'a pas suffi : la France est restée dans l'après-guerre un pays d'immigration, tant elle avait besoin de « travailleurs de force » pour assurer les tâches ingrates de la reconstruction et de la croissance.

Les origines des immigrés se sont récemment diversifiées dans toute l'Union européenne, avec l'apport de l'Europe centrale, de l'Asie, de l'Amérique latine, de l'Afrique subsaharienne. En France, toute-

fois, le tarissement des flux espagnols et portugais a contribué à relever fortement la part du Maghreb et du reste de l'Afrique dans la population immigrée : elle est passée de 20 % en 1975 à 43 % en 2013, un phénomène perçu de tous.

Migration de « peuplement » ou migration de « remplacement » ? Dans notre pays, les immigrés qui s'installent dans la durée (entre la moitié et les deux tiers) ne remplacent pas la population existante, ils s'y ajoutent, tout comme leurs enfants. Et, peu à peu, ils s'y mêlent. La recherche économique l'a abondamment montré³, l'immigration a pour principal effet d'apporter du monde, de dilater notre économie. Ses effets nets sur le budget de l'État et la protection sociale restent neutres ou marginaux, car les migrants sont aussi des producteurs, des cotisants, des consommateurs de produits taxés. Elle permet aussi à nombre de natifs d'échapper aux emplois les moins prisés (nettoyage, construction, travail agricole, sécurité, soins aux personnes) et, ce faisant, de grimper dans l'échelle sociale.

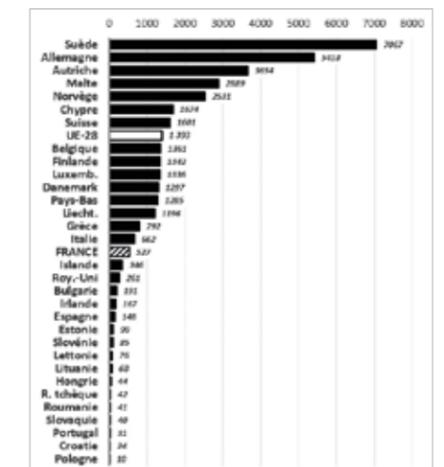
La part prise par les deux générations dans l'ensemble de la population est désormais telle que bien des questions reposant sur la distinction entre *eux* et *nous* deviennent absurdes. Autant il y a du sens à évaluer les dépenses de l'État ou des collectivités pour accueillir et former les nouveaux entrants, autant il est vain de vouloir chiffrer ce que l'immigration *nous* rapporte ou *nous* coûte sur plusieurs générations, comme certains ont prétendu le faire en inventant des clés de répartition budgétaires selon les origines. Quel sens y aurait-il à calculer le coût net d'un quart de la population pour les trois quarts restants ? C'est un peu comme si une fratrie de quatre personnes, dont une adoptée à l'étranger, voulait chiffrer ce que cette dernière coûte aux trois autres.

[...] Comme le rappelle l'OCDE, les flux migratoires n'ont rien de massif en France ; c'est leur accumulation au fil du temps qui finit par produire un changement massif. J'ai résumé naguère la dynamique migratoire du pays par une formule : « non pas une intrusion massive mais une infusion durable⁴ ». Si l'infusion se prolonge sur des décennies, *a fortiori* depuis le XIX^e siècle, et

même si un tiers au moins des immigrés repartent, elle finit par modifier les origines de la population, tout en favorisant un brassage progressif au fil des générations.

À dresser de tels constats, on s'expose à des réactions incrédules qui tournent vite au réquisitoire.

[...] À ce genre de suspicion, que peut-on opposer ? Cette profession de foi toute simple : *nous n'avons pas à être pour ou contre l'immigration*, pas plus qu'à nous prononcer pour ou contre le vieillissement, pour ou contre l'accélération des échanges. Qu'on le veuille ou non, nous devons *faire avec* l'immigration, tant elle est ancrée dans nos sociétés⁵. Cette neutralité engagée ne concerne pas uniquement les chercheurs. Le débat sur l'immigration gagnera en maturité si nous refusons la logique binaire du « pour ou contre », de la « bien-pensance » *versus* le « politiquement incorrect », de l'angélisme face au principe de réalité, et autres tenailles rhétoriques qui tuent le débat au lieu de l'animer.



Protections accordées par les pays européens aux demandeurs d'asile en 2016 : *nombres pour 1 million d'habitants* (Convention de Genève et protection subsidiaire, décisions de première et de seconde instance). Source : calculs personnels à partir des données d'Eurostat.

Extrait de la leçon inaugurale prononcée le 5 avril 2018, consultable dans son intégralité sur le site www.college-de-france.fr, à la page du professeur.

La leçon inaugurale est publiée en coédition avec les éditions Fayard, coll. « Leçons inaugurales », n° 279, 2018.

¹ W. Youyoua, M. Kosinskib et D. Stillwella, « computer-based personality judgments are more accurate than those made by humans », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 112, n° 2, 2015, p. 1036-1040.

¹ Au désespoir d'Alfred Sauvy, qui y consacra plusieurs de ses cours au Collège de France.

² Voir Jacques Vallin et Graziella Caselli, « Quand l'Angleterre rattrapait la France », *Population et sociétés*, n° 346, mai 1999.

³ Bilan limpide dans El Mouhoub Mouhoud, *L'Immigration en France. Mythes et réalités*, Paris, Fayard, 2017.

Pour la comparaison internationale, voir « L'impact fiscal de l'immigration dans les pays de l'OCDE », *Perspectives des migrations internationales*, Paris, OCDE, 2013, p. 133-202.

⁴ François Héran, *Le Temps des immigrés*, Paris, Seuil, coll. « La République des idées », 2007.

⁵ Des questions abordées aux derniers chapitres de mon livre op.cit., ainsi que dans *Parlons immigration en 30 questions*, 2^e éd. refondue, Paris, La Documentation française, 2016.

L'APPRENTISSAGE PROFOND, UNE RÉVOLUTION EN INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Yann LeCun, spécialiste de l'apprentissage automatique des machines (Machine Learning), est l'un des pères du Deep Learning (apprentissage profond), une méthode à laquelle il se consacre depuis trente ans, malgré le scepticisme qu'il rencontre au départ dans la communauté scientifique.

Le *Deep Learning*, qui fait appel à la fois aux connaissances en neurosciences, aux mathématiques et aux progrès technologiques, est aujourd'hui plébiscité comme une véritable révolution dans le domaine de l'intelligence artificielle. Il a déjà permis d'immenses progrès et de multiples applications dans les domaines de la reconnaissance faciale et vocale, de l'étiquetage d'images, du traitement automatisé du langage ou encore de la vision par ordinateur.

« Les cerveaux humain et animal sont "profonds", dans le sens où chaque action est le résultat d'une longue chaîne de communications synaptiques (de nombreuses couches de traitement). Nous recherchons des algorithmes d'apprentissage correspondants à ces "architectures profondes". Nous pensons que comprendre l'apprentissage profond ne nous servira pas uniquement à construire des machines plus intelligentes, mais nous aidera également à mieux comprendre l'intelligence humaine et ses mécanismes d'apprentissages », estime Yann LeCun.

Le *Deep Learning* fait l'objet d'importants investissements privés, notamment de la part des grands acteurs du net, mais aussi publics. « De plus en plus d'entreprises ont des

masses de données gigantesques à exploiter, trier, indexer, et cela demande des ressources considérables. L'intelligence artificielle et le *Deep Learning* peuvent aider à le faire de façon automatisée et plus efficace », confirme Yann LeCun qui reste prudent quant aux fantasmes que suscitent ces développements. « De grands progrès ont été faits notamment en matière de reconnaissance visuelle et vocale - dans la reconnaissance automatique d'images, des réseaux neuronaux artificiels ont produit des algorithmes meilleurs que ceux conçus par des ingénieurs humains - mais nous sommes très loin de ce qu'un cerveau peut faire et nous n'en avons pas la prétention. Les animaux et les humains peuvent apprendre à voir, percevoir, agir et communiquer avec une efficacité qu'aucune machine ne peut approcher. D'autre part, il s'agit pour l'instant d'un apprentissage purement supervisé : on entraîne la machine à reconnaître l'image d'une voiture par exemple en lui montrant des milliers d'images et en la corrigeant quand elle fait erreur. Les humains découvrent le monde de façon non supervisée. L'apprentissage non supervisé est le défi scientifique auquel nous nous attelons. Tant que nous n'y serons pas parvenus, nous serons incapables de construire des systèmes intelligents ».

De la reconnaissance des tumeurs cancéreuses à la sécurité routière, les développements de l'intelligence artificielle et du *Deep Learning* ouvrent de larges horizons que Yann LeCun exposera au Collège de France. Quant aux craintes générées par ces nouveaux domaines, il les comprend mais les modère, « Même si un jour on construit des systèmes par certains aspects plus complexes ou performants que les humains, ils vont être construits pour des tâches spécifiques. On associe trop souvent l'intelligence artificielle aux qualités et aux défauts humains. Il n'y a aucune raison que les machines que l'homme concevra aient comme lui des désirs, des pulsions et des défauts ! »

La chaire Informatique et sciences numériques a été créée en partenariat avec Inria

Extraits du communiqué de presse annonçant la venue de Yann LeCun au Collège de France, février 2016.

L'intégralité de la leçon inaugurale est consultable sur le site www.college-de-france.fr, à la page du Professeur.

Leçon inaugurale à paraître aux éditions Fayard.



SOMMET SUR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

29 MARS 2018

Dans le cadre de la publication du rapport du député Cédric Villani et de l'annonce de la stratégie nationale sur l'intelligence artificielle par le Président de la République, Emmanuel Macron, une journée de débats et de prises de paroles sur les enjeux et les opportunités de celle-ci a été organisée au Collège de France le 29 mars 2018. La manifestation a été ouverte par Cédric Villani et Mounir Mahjoubi, secrétaire d'État chargé du Numérique.

Programme de la journée

PREMIÈRE SÉQUENCE : RECHERCHE ET FORMATION

Comprendre l'intelligence humaine
Face à face entre Justine CASSELL, Carnegie Mellon Human Computer Interaction Institute de Pittsburgh et Laurence DEVILLERS, université Paris-Sorbonne

Attractivité de la recherche publique
Face à face entre Yann LeCUN, Facebook, New York University et Frédérique VIDAL, ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation

Limites et possibilités des réseaux de neurones
Face à face entre Stéphane MALLAT, Collège de France et Stuart RUSSELL, université de Californie (Berkeley)

DEUXIÈME SÉQUENCE : IMPACTS SOCIÉTAUX

Une intelligence artificielle peut-elle entrer à l'université ?
Keynote de Noriko ARAI, National Institute of Informatics, Tokyo.

Biais de données, défauts algorithmiques et impacts démocratiques
Keynote de Cathy O'NEIL, mathématicienne

Santé intelligente
Keynote de Ran BALICER, Calilte Research Institute, Israël

La donnée, le citoyen et l'intelligence artificielle
Face à face entre Latanya SWEENEY, université de Harvard et Mounir MAHJOUBI, secrétaire d'État chargé du Numérique

TROISIÈME SÉQUENCE : POLITIQUE ÉCONOMIQUE

Voir, entendre et comprendre
Discussion entre Fei Fei LI, université de Stanford, Grégory RENARD, dirigeant, X-Brain et Marie-Paule CANI, École polytechnique

La compétition mondiale en intelligence artificielle
Face à face entre Sam ALTMAN, co-fondateur OpenIA et Antoine PETIT, président du CNRS

Faire émerger des champions de l'intelligence artificielle
Face à face entre Demis HASSABIS, directeur général de Deepmind et Bruno LE MAIRE, ministre de l'Économie et des Finances



Le Président de la République Emmanuel Macron

La matinée a été consacrée à des interventions d'une quinzaine d'experts français et internationaux ainsi que de Frédérique Vidal, ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, et Bruno Le Maire, ministre de l'Économie et des Finances.



Frédérique Vidal et Yann LeCun

Parmi les intervenants, Stéphane Mallat, titulaire au Collège de France de la chaire Sciences des données, a participé à un échange avec Stuart Russell dans lequel il a rappelé qu'il est nécessaire de démystifier l'intelligence artificielle. Sa finalité est d'être capable de répondre à une question posée à partir de données, comme par exemple reconnaître un animal dans des images ou être capable de faire un diagnostic à partir de données bio-médicales. Il a expliqué que « Les algorithmes sont une séquence d'instructions qui ont la particularité d'inclure un très grand nombre de paramètres non déterminés à l'avance. Ceux-ci sont fixés dans la zone d'apprentissage. Ainsi, l'algorithme va essayer d'optimiser les paramètres pour ne pas faire d'erreurs. L'objectif tend à généraliser : l'algorithme doit être capable de trouver une bonne réponse pour

des données qu'il n'a jamais rencontrées auparavant, et de faire émerger une régularité à l'intérieur des données pour pouvoir extrapoler le résultat. Mais la difficulté que l'on rencontre est que les algorithmes fonctionnent à partir d'un très grand nombre de variables, et qu'ils devront retrouver des sources de régularité parmi ces millions de variables. Les chercheurs en algorithmique se penchent sur ce problème, en particulier sur les réseaux de neurones ».

PLUS DE MOYENS POUR LA RECHERCHE

Alain Prochiantz, administrateur du Collège de France, a ensuite pris la parole pour ouvrir la deuxième partie de la journée en indiquant que « Le rapport Villani soulève de nombreux points qui concernent, au-delà de l'intelligence artificielle, la recherche en général : embaucher davantage de jeunes chercheurs, prolonger la vie active de ceux qui la font vivre, renforcer les liens entre recherche et innovation, faire en sorte que l'industrie digère l'innovation pour augmenter le contenu technologique de son offre. Il y a urgence à trouver des



Alain Prochiantz

moyens financiers supplémentaires pour la recherche, en dépassant les 2,25 % du PIB affectés à la recherche et au développement car nombre de pays ont dépassé les 3 %. Dans la division mondiale du travail, l'enjeu est de rester dans le groupe qui croit en un avenir construit sur une économie de la connaissance. À côté de la question financière, il est également nécessaire de s'attacher à bousculer les conservatismes, de refuser de suivre ceux qui prétendent irréaliste et impossible ce qui est rationnel et nécessaire, tout en préservant les valeurs de la science. »

EXPÉRIMENTATION, PARTAGE, SOUVERAINETÉ : LES TROIS-MOTS CLÉS DU RAPPORT VILLANI

En préambule à son intervention, Cédric Villani a rappelé son plaisir et son émotion à revenir au Collège de France après avoir été titulaire du cours Peccot en 2002-2003. Il a ensuite présenté les grandes lignes du rapport rédigé à la suite de la mission d'information confiée par le Premier ministre sur la stratégie française et européenne en



Cédric Villani

intelligence artificielle. Cette mission était composée de Marc Schoenauer (directeur de recherche INRIA), Bertrand Rondepierre (direction générale de l'armement) et de Yann Bonnet (secrétaire général du Conseil national du numérique) et son équipe, Charly Berthet (responsable affaires juridiques et institutionnelles), Anne-Charlotte Cornut (rapporteur), François Levin (responsable affaires économiques et sociales) et Stella Biabiany-Rosier (assistante de direction). Fruit d'un travail de six mois, ce rapport synthétise de nombreuses sources en particulier le rapport France IA, le rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST), les travaux de la CNIL et du Conseil d'orientation pour l'emploi, de France Stratégie. 450 personnes ont été auditionnées en France et à l'étranger,

l'équipe de la mission s'est déplacée dans le monde entier. Une consultation publique s'y est ajoutée avec la participation de 1 600 personnes.

Ce travail, a souligné Cédric Villani, a soulevé un grand enthousiasme auquel il fallait donner du sens : « L'intelligence artificielle affecte désormais tous les aspects de nos vies sociales. Ce rapport aborde successivement la politique économique et celle des données, la recherche, l'emploi et la formation, l'inclusion, l'environnement, l'éthique, avec des accents particuliers sur l'éducation, la santé, la mobilité, l'agriculture et la défense.

Pour nous approprier l'intelligence artificielle, il faudra développer la recherche fondamentale et appliquée et l'interdisciplinarité. Nous devons soutenir cette recherche et améliorer la qualité d'environnement de nos chercheurs.

Le deuxième mot-clé est le partage. Le partage des connaissances est en effet à la base du progrès scientifique et technologique. C'est un partage international mais aussi un partage d'expérience entre la France et l'étranger, entre les sphères publiques et privées. C'est un partage entre experts et citoyens. Enfin, il s'agit également de partager des données, pour un bénéfice commun, qui représente une nouvelle forme de solidarité.

Le troisième axe est celui de la souveraineté. Il s'agira de protéger les citoyens par la loi dans le cadre européen du règlement général de la protection des données, de décider des secteurs que l'on favorise pour le bien public, de décider des valeurs que nous inscrivons dans les algorithmes. Il est enfin nécessaire de mettre en place les instances qui permettront un contrôle éthique indépendant des technologies numériques et de l'intelligence artificielle. »

Anja Karliczek, ministre fédérale de l'Éducation et de la Recherche d'Allemagne, Carlos Moedas, commissaire européen à



Anja Karliczek

l'Innovation et aux Sciences, ont, tous les deux, insisté dans leurs allocutions, sur l'importance et le rôle moteur de l'Europe sur le sujet de l'intelligence artificielle.



Le Président de la République Emmanuel Macron

LA STRATÉGIE NATIONALE SUR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

En fin de journée, le Président de la République Emmanuel Macron a clôturé le sommet en annonçant une stratégie française ambitieuse, ouverte et progressiste en matière d'intelligence artificielle. En effet, plus de 1,5 milliard d'euros seront investis durant le quinquennat pour soutenir la recherche dans ce domaine, dont près de 400 millions d'euros pour des appels à projets et des défis d'innovation de rupture financés par le Fonds pour l'Innovation et l'Industrie.

Le Président de la République a défini quatre axes principaux : « conforter l'écosystème de l'intelligence artificielle, en particulier en ce qui concerne les talents, pour développer un véritable réseau de recherche et d'expérimentation ; engager une politique résolue d'ouverture des données afin de favoriser l'émergence en France de champions de l'intelligence artificielle ou d'encourager leur développement ; mener une stratégie de financements et de projets à la fois



Carlos Moedas

publique, française et européenne qui permette dans certains secteurs d'accélérer notre présence et de réussir pleinement dans la compétition internationale, de la santé à la mobilité ; penser les termes d'un débat politique et éthique que l'intelligence artificielle alimente partout dans le monde mais dont nous devons poser les termes pour articuler une réflexion, des règles et une compréhension commune. »

Le Président de la République a également annoncé la mise en place d'un programme national pour l'intelligence artificielle, cordonné par l'INRIA, avec un réseau emblématique de quatre ou cinq instituts dédiés, ancrés dans les pôles universitaires. Les autres objectifs annoncés sont le doublement des capacités de formation à l'intelligence artificielle dans l'enseignement supérieur et la nécessité d'attirer les meilleurs chercheurs sur des chaires individuelles. Il a également lancé l'idée « d'un GIEC de l'intelligence artificielle, pour créer une expertise mondiale indépendante, qui puisse mesurer et organiser le débat collectif et démocratique sur les évolutions scientifiques. »

SABINE CASSARD

POUR EN SAVOIR PLUS :



Mission Villani sur l'IA - <https://www.aiforhumanity.fr>
[site consulté le : 12 février 2019]



Vidéo de l'événement : <https://www.youtube.com>

Discours du Président de la République : <https://www.elysee.fr>

JEAN-LUC FOURNET

Chaire Culture écrite de l'Antiquité tardive et papyrologie byzantine

JOURNÉE D'ÉTUDE « MA GRANDE ÉGLISE ET MA PETITE CHAPELLE » : 150 ANS D'AFFINITÉS ÉLECTIVES ENTRE LE COLLÈGE DE FRANCE ET L'ÉCOLE PRATIQUE DES HAUTES ÉTUDES (EPHE)

Quiconque pénètre dans la grande salle du fond des locaux historiques de l'École pratique des hautes études en Sorbonne a le regard attiré par le tableau pendu au mur et la statue qui le flanque sur sa gauche. Le premier est un portrait du latiniste Louis Havet (ci-contre) qui fit ses études conjointement à l'EPHE (dont il fut un des premiers élèves titulaires) et au Collège de France avant de devenir à son tour enseignant à la fois à l'EPHE dès 1872 et au Collège de France en 1885. La statue (voir p.30), elle, est celle du médiéviste Gaston Paris qui fut un des premiers enseignants de l'EPHE après sa création en 1868 (jouant d'ailleurs un rôle déterminant dans l'organisation de la IV^e section) et qui fut également élu en 1873 professeur au Collège de France avant d'en devenir l'administrateur de 1894 jusqu'à sa mort en 1903. C'est à lui que l'on doit la belle expression que j'ai choisie pour titre de cette journée « Ma grande église et ma petite chapelle » pour désigner les deux établissements entre lesquels il a partagé son enseignement.

Ces deux figures symboliquement ancrées dans la topographie de l'EPHE résumant bien les liens consubstantiels qui ont uni le Collège de France et l'EPHE dès la création de cette dernière (dans laquelle certains professeurs du Collège ont joué un rôle essentiel) et qui ont contribué à marquer profondément le paysage académique et intellectuel français.

Depuis le début, le Collège de France et l'EPHE ont été rapprochés et considérés comme des institutions jumelles participant d'une même vision de la science, aussi bien du fait des principes ayant pré-



Portrait du latiniste Louis Havet, huile sur toile, Sorbonne, salle Gaston Paris (EPHE).

LA FONDATION HUGOT DU COLLÈGE DE FRANCE FÊTE SES QUARANTE ANS



La Fondation Hugot côté jardin © Romain Bassenne.

La Fondation Hugot du Collège de France fut créée en 1979 grâce au legs d'une sœur et d'un frère, Hélène (1885-1972) et Jean-Pierre Hugot (1888-1976). Mécènes de l'Institut de France, donateurs de plusieurs musées, les Hugot s'intéressèrent au Collège de France en raison des récits d'un de leurs locataires, Jean Bachelot, qui leur faisait part des cours auxquels il assistait. Son enthousiasme suscita un intérêt qui les conduisit à en faire, à part égale avec

l'Institut, leur légataire universel. Demeurés célibataires, les Hugot étaient les héritiers de deux grandes fortunes industrielles, provenant de l'invention des œillets métalliques et des rivets du côté de leur mère, des éventails et du commerce international du côté de leur père ; depuis la Première Guerre mondiale, ils souhaitaient mettre l'intégralité de leurs biens au service de la collectivité et œuvrer en faveur du rapprochement des hommes et des disciplines. La

volonté de discrétion des Hugot et le caractère exceptionnel de leur don, recueilli par Étienne Wolf¹ et Alain Horeau, ont engendré un grand nombre d'anecdotes venues enrichir la tradition orale du Collège de France ; l'importance de cette libéralité conduisit les donateurs à bâtir une fondation indépendante dont le statut permettait la gestion d'actifs divers et conséquents.

Le legs de Hélène et Jean-Pierre Hugot comprenait en effet, outre de l'or et des

titres variés, un hôtel particulier conçu par Louis Le Vau dans les années 1640 pour Michel-Antoine Tambonneau, fils du président de la chambre des comptes à l'université de Paris. Seul bâtiment subsistant d'un vaste ensemble détruit au XIX^e siècle, cet hôtel, situé rue de l'Université, fut notamment le lieu de la vocation de Jean-Baptiste de La Quintinie qui s'exerça dans ses jardins à la taille des arbres et à l'observation des racines. Dans cette demeure historique, les Hugot souhaitaient que le Collège de France fasse revivre l'esprit de l'Académie créée par Henri-Louis Habert de Montmor au XVII^e siècle – une assemblée qui se tenait dans l'hôtel de Montmor, rue du Temple, réunissant des savants européens pour des expériences et des débats. Le conseil d'administration de la Fondation Hugot présidé par l'administrateur du Collège de France a, depuis 1979, répondu à leurs souhaits selon différentes modalités.

Depuis cette date, l'hôtel de la rue de l'Université est en effet conçu comme un espace de travail et d'expérimentation, ouvert aux représentants de diverses disciplines. Le professeur Yves Laporte² y a, par exemple, favorisé l'accueil des premières démonstrations mondiales de ciné-holographie au cours desquelles les inventeurs du procédé, Claudine Eizykman et Guy Fihman, ont présenté des séquences rendant hommage aux travaux d'Étienne-Jules Marey. Surtout, de nombreux séminaires ont été organisés par les professeurs dans la salle de réunion de l'hôtel, dont plusieurs ont profondément marqué et inspiré leurs participants. Le premier colloque, organisé en juin 1980 par André Lichnerowicz et Claude Cohen-Tannoudji sur le thème « Les implications conceptuelles de la physique quantique », fut ainsi suivi de nombreux autres événements parmi lesquels le séminaire sur la direction d'orchestre imaginé par Pierre Boulez en 1990. Certaines réu-

nions prirent la forme de véritables cycles, comme celles sur « La conscience de soi de la poésie » initiées par Yves Bonnefoy ou les journées des « Réseaux ID » organisées par Mireille Delmas-Marty sur la question de l'internationalisation du droit. Pierre Bourdieu mena quant à lui à la Fondation Hugot les réunions préparatoires à la publication de sa revue *LIBER*³ et y

ambitieuse en participant au financement d'un nombre croissant d'événements à destination d'un large public. Aux traditionnels concerts et colloques de rentrée se sont ainsi récemment ajoutés les Grandes Conférences, le partenariat avec l'Opéra national de Paris, la venue d'un artiste en résidence et la première chaire de Création artistique consacrée au cinéma



Entretien enregistré à la Fondation Hugot du Collège de France le 27 novembre 2018 entre les mathématiciens Jean-Pierre Serre et Alain Connes à propos de la correspondance Serre / Grothendieck (*Correspondance Grothendieck-Serre* éditée par la société mathématique de France, 2001).

accueillit, en novembre 1985, Norbert Elias, qui y prononça un discours sur l'Europe et les intellectuels européens en présence de nombreux professeurs.

Outre l'aide à la publication et à l'organisation de manifestations scientifiques, la Fondation Hugot du Collège de France fournit à l'institution la possibilité d'accueillir ses hôtes au cœur de Paris dans des conditions particulièrement confortables. Des centaines de chercheurs internationaux invités à donner des cours ou à participer à des réunions ont ainsi été reçus dans les studios dont elle dispose parmi lesquels figurent des personnalités comme Sidney Altman, Stephen Breyer, Emmanuelle Charpentier, Carlo Ginzburg, Alain Mabanckou, Krzysztof Matyjaszewski, Toni Morrison, Yoshikazu Nakaji, Louis Nirenberg, Bénédicte Savoy, Peter Scholze ou Victor Stoichita. La Fondation Hugot œuvre également à la diffusion des savoirs et au développement d'une politique culturelle

avec comme titulaire Amos Gitai. Commanditaire de la série de films « Mémoire du Collège de France » dans les années 2000, elle a également récemment initié les dialogues de la Fondation Hugot destinés à être diffusés sur internet. Depuis la rentrée 2018, ces derniers sont tournés dans le studio Hugot, aménagé dans les caves de l'hôtel de la rue de l'Université. Permettant de filmer ensemble des professeurs comme Jean-Pierre Serre et Alain Connes⁴, ces conversations constituent l'un des nombreux projets engagés par l'administrateur, Alain Prochiantz, et la directrice, Florence Terrasse-Riou, qui visent, après quarante années d'existence, à confirmer la place singulière de la Fondation Hugot du Collège de France dans le paysage international des institutions scientifiques.

PASCAL CUGY

Chargée de mission à la Fondation Hugot du Collège de France

¹ Étienne Wolf fut titulaire de la chaire Embryologie expérimentale (1955-1974), administrateur du Collège de France de 1965 à 1975. Alain Horeau (chaire Chimie organique des hormones) lui a succédé comme administrateur de 1974 à 1980.

² Titulaire de la chaire de Neurophysiologie (1972-1991), administrateur du Collège de France de 1980 à 1991.

³ Revue traduite en de nombreuses langues et conçue comme un équivalent européen de la *New York Review of Books* destinée à rendre compte des travaux les plus représentatifs de l'art et de la science.

⁴ <https://www.youtube.com>.

15 MAI 2018

COLLOQUE « LE MONDE DES MATHÉMATICIEN-NE-S »

Dans le cadre de l'enseignement de l'année 2018 portant sur la question du talent, le colloque fut consacré aux pratiques, aux productions et aux carrières en mathématiques.

Des talents mathématiques, la France n'en manque pas, c'est même l'un des fleurons de sa recherche scientifique au plan mondial. Comment le comprendre et le documenter ?



Jungle, The Origin of Mathematics, Christian Gralingen © Début Art agency.

Pierre-Louis Lions a rappelé, en ouverture du colloque, combien les mathématiques, dans leur féconde diversité, sont omniprésentes dans le quotidien des sociétés, pourquoi la numératie s'est imposée dans notre temps de ruptures technologiques et comment la communauté des mathématiciens peut maintenir ses exigences de rigueur, malgré les risques d'anomie.

Le travail mathématique a son ethos professionnel, comme l'a exploré le sociologue Bernard Zarka dans son enquête sur la communauté mathématique, et dans sa caractérisation des différences entre mathématiques pures et appliquées. La fascination que peuvent exercer les mathématiques tient aux ressorts obscurs de l'invention, subtilement approchés par Henri Poincaré et Jacques Hadamard.

Elle tient aussi à la singularité de personnalités majeures dont l'existence s'est développée ou achevée aux marges du monde ordinaire, telles celles de Grigori Perelman ou d'Alexandre Grothendieck. Elle a pu s'incarner à travers des figures légendaires comme celle d'Évariste Galois, dont Caroline Ehrhardt a rappelé la jeune carrière foudroyée par une mort très précoce, qui a différé la reconnaissance de son génie inventif. La personnalisation des mathématiques ne tient pas seulement à la persistance de la production à auteur unique, encore beaucoup plus fréquente que dans les autres sciences, mais aussi à cette culture des « conjectures » dans laquelle s'incarnent des programmes de recherche parfois multiséculaires, identifiés par le nom de leurs auteurs, comme celui de Fermat. Cette personnalisation se comprend aussi par le style du travail de recherche et

par les exigences esthétiques de celui-ci, comme l'explore le mathématicien Claude Viterbo en caractérisant différentes écoles françaises et étrangères de recherche.

Aussi saillante qu'énigmatique est la très persistante et considérable sous-représentation des femmes dans la profession, au plus bas des taux de féminisation de toutes les disciplines scientifiques, comme l'a souligné la mathématicienne et historienne Catherine Goldstein. Historiens et sociologues savent analyser avec précision le pouvoir classant des performances mathématiques dans les épreuves sélectives qui jalonnent les scolarités des élèves et qui définissent leurs chances d'accès aux filières d'études supérieures et aux établissements les plus réputés. Bruno Belhoste en a retracé les

débuts avec la création et les premiers développements de l'École polytechnique. La production mathématique a été dominée par quelques grandes nations au XIX^e et au XX^e siècles. Les outils d'analyse scientométrique permettent d'analyser les évolutions actuelles avec une précision croissante.

Le mathématicien Jean-Marc Schlenker dresse un tableau très documenté des mutations récentes dans l'internationalisation des mathématiques, en opérant une distinction éclairante entre les quantités de publications, leur valeur (approchée par la qualité des revues) et leur part dans les différentes composantes des mathématiques. Frédérique Sachwald et Wilfriedo Mescheba, de l'Observatoire des sciences et techniques, placent la France (troisième productrice mondiale de recherches en mathématiques) sous la loupe bibliométrique et détaillent empiriquement la forte spécialisation française dans ce domaine, au regard de l'ensemble de la production scientifique du pays.

Pierre-Michel Menger et son équipe – Colin Marchika, Yann Renisio et Pierre Verschuere – ont constitué et exploité de vastes bases de données sur les carrières dans la recherche et l'enseignement mathématiques. Ils mettent en évidence leurs caractéristiques très originales : séquençement des parcours de formation en épreuves fortement sélectives, précocité et anti-localisme dans les recrutements, forte et précoce hiérarchisation interne par la réputation, recours aux positions de recherche comme accélérateurs de productivité en début de carrière et mobilité inhabituellement élevée des chercheurs vers des positions universitaires ensuite. Un modèle de synergie entre recherche et enseignement émerge, qui semble n'avoir aucun équivalent dans les autres sciences.

18 JUIN 2018

COLLOQUE « REVISITER LES SOLIDARITÉS EN EUROPE »

À la fin du siècle dernier Fritz Scharpf avait diagnostiqué la tension à l'œuvre dans la construction européenne entre, d'une part, l'intégration négative, consistant à démanteler les solidarités nationales pour donner libre cours aux libertés économiques, et, d'autre part, l'intégration positive, consistant à édifier des solidarités européennes assurant à cette construction légitimité politique et cohésion sociale¹.

Depuis vingt ans l'expérience a confirmé le bien-fondé de ce diagnostic. Riche de la promesse d'une convergence économique et politique, la création de l'euro a entraîné au contraire, une divergence et des tensions entre le Nord et le Sud de l'Europe, que les plans de sauvetage imposés par la Troïka, en contrepartie d'une certaine solidarité financière, ont attisé plutôt qu'apaisé. L'élargissement de l'Union européenne aux anciens pays communistes, qui devait marquer une véritable réunification politique du continent autour des valeurs proclamées dans la Charte des droits fondamentaux de l'Union européenne, n'a pas empêché l'élection dans plusieurs de ces pays de gouvernements ouvertement hostiles à toute forme de solidarité européenne pour accueillir les réfugiés politiques et les migrants économiques qui affluent en Europe. Malgré la multiplication des *opting-out*, qui permettent à certains pays, dont la Grande-Bretagne, de s'exempter de certaines règles communes, n'a pas empêché cette dernière a décidé démocratiquement de se séparer de l'Union européenne.

La promesse d'une « égalisation dans le progrès » qui figurait dans le Traité de Rome, puis celle d'une « Europe sociale » qui accompagnait le Traité de Maastricht, a été démentie par le démantèlement progressif du modèle social européen, dont l'avis de décès fut proclamé par

Mario Draghi dès sa nomination à la tête de la BCE en 2012².

Face à la crise de légitimité partout visible des institutions européennes, la Commission a tenté, aussitôt après le référendum décident du Brexit, de réactiver l'idée d'un « socle européen de droit sociaux », avant de proposer dans son « Livre blanc sur l'avenir de l'Europe³ » (mars 2017) plusieurs scénarios pour l'avenir de celle-ci, allant de l'abandon des normes sociales communes à une coopération beaucoup plus poussée en matière budgétaire, sociale et fiscale.

Comme l'ont notamment montré des travaux antérieurement conduits au Collège de France⁴, la prophétie néolibérale d'un effacement des solidarités humaines dans l'ordre cataclysmique d'une grande société globalisée se trouve démentie par les faits. Les solidarités ne disparaissent pas, elles se déplacent, en sorte que l'affaiblissement de l'État social combiné au manque de solidarité sociale européenne ou internationale suscite le retour à des solidarités de type nationaliste, ethnique ou religieux. La globalisation va aussi de pair avec l'émergence de risques systémiques qui ont considérablement renforcé des interdépendances bancaires et financières, mais aussi écologiques.

Pour aborder de façon critique et réfléchie les scénarios imaginés par la Commission européenne, il est essentiel de tenir compte de la diversité des représentations de la crise européenne dans ses États membres. L'une des faiblesses les plus évidentes de l'Union est en effet de ne donner lieu à aucun débat public européen, mais à la juxtaposition de débats nationaux. Après avoir dressé un bilan des solidarités mises en œuvre à l'échelle

européenne dans quelques domaines-clés (telles que la question migratoire, les risques financiers, la fiscalité, les services publics ou l'emploi), le colloque a donc eu pour objet de faire un état des lieux des débats nationaux sur les institutions européennes et de prendre la mesure du poids relatif dans chaque pays du retour à des solidarités nationales et de l'appel à des solidarités européennes renforcées⁵. Les Actes de ce colloque ont été réunis sous la forme d'un livre électronique publié sur le site HAL où ils sont disponibles gratuitement⁶.

Enfin, à l'issue de ce colloque, un certain nombre de ses contributeurs se sont réunis à la Fondation Hugot du Collège de France pour poser un diagnostic commun sur la crise profonde des institutions de l'Union européenne et sur les moyens d'y faire face. Cette réunion de travail leur a permis de s'accorder sur un texte, qui a été publié sous forme de tribune dans la *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, en France dans *Le Monde*, au Portugal dans *Il publico*, en Grèce dans *Ta NEA*, en Pologne dans la *Rzeczpospolita*, en néerlandais sur le blog *Doxaludo*, en Espagne dans *El País*, et en Anglais sur le site *Open Democracy*.

¹ Voir Fritz Scharpf, *Balancing positive and negative integration: The regulatory options for Europe*, MPHG Working Paper 97/8, novembre 1997 (<https://www.econstor.eu>); *Gouverner l'Europe*, Les Presses de Sciences Po, 2000.

² Voir l'interview parue dans *le Wall Street Journal*, en date du 24 février 2012.

³ Consultable sur le site <https://ec.europa.eu>.

⁴ Voir Alain Supiot (dir.), *La Solidarité. Enquête sur un principe juridique*, coédition Collège de France / Odile Jacob, 2015.

⁵ Toutes les contributions de ce colloque peuvent être visionnées sur www.college-de-france.fr à la page du professeur Alain Supiot.

⁶ <https://halshs.archives-ouvertes.fr>.