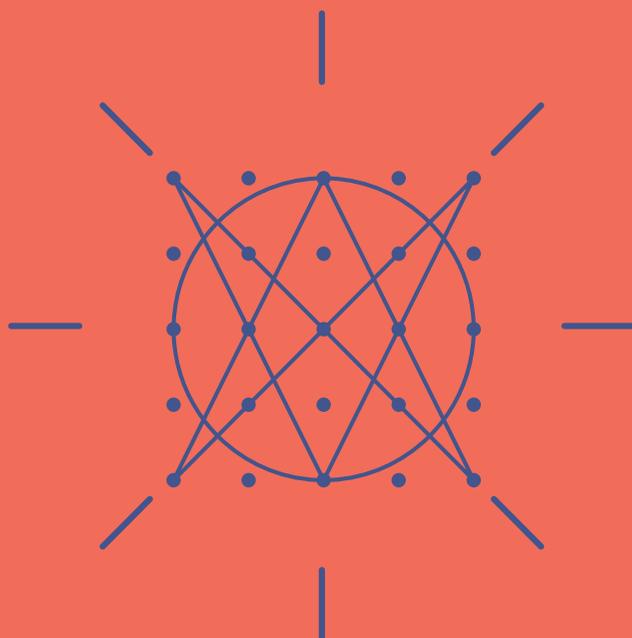
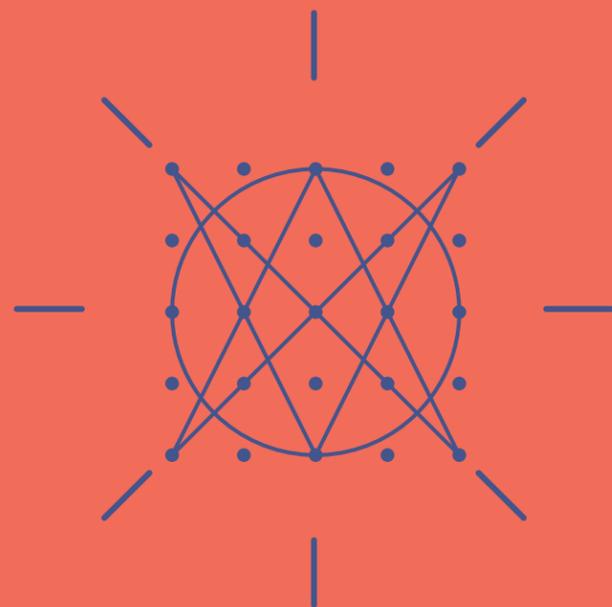


50 ANS DE RECHERCHE À DAUPHINE :
HIER, AUJOURD'HUI ET DEMAIN

50 YEARS OF RESEARCH IN DAUPHINE:
YESTERDAY, TODAY AND TOMORROW

1968 / 2019





Bruno Bouchard

Vice-président du Conseil scientifique

Avant-propos

Cet ouvrage collectif, écrit par les chercheurs et enseignants-chercheurs de l'Université Paris-Dauphine, témoigne de l'évolution de la recherche au sein de notre Université depuis sa création en 1968 jusqu'à nos jours, puis nous projette dans les cinquante prochaines années. Sans être exhaustif, on y retrouve ce qui en fait son ADN : une recherche mêlant excellence académique et ancrage dans la société, une recherche tournée vers les sciences de la décision et des organisations dans laquelle les percées scientifiques les plus disciplinaires interagissent avec des projets fédérateurs en lien avec des enjeux contemporains.

Les articles courts qui composent cet ouvrage peuvent être lus indépendamment. Vous y découvrirez par exemple comment est née la recherche française en comptabilité, en finance ou en marketing, le rôle pionnier de Dauphine dans l'émergence de l'aide à la décision multicritère, comment les progrès en analyse ont permis des avancées majeures en traitement de l'image, comment est né le concept de solutions de viscosité et quel a été son apport en théorie de la décision. Vous pourrez y apprendre à « Penser contre ! », vous convertir au droit de la régulation « sous la pression de mathématiciens de la finance, d'ingénieurs et d'économistes de l'énergie ». Vous y retrouverez également de grands débats sur le travail, la responsabilité sociale des

entreprises, l'économie de la santé, la sociologie urbaine, les migrations. Vous pourrez y « refaire société », vous plonger dans les mouvements contestataires ou dans les études de genre. Vous pourrez enfin vous initier au cryptage, aux fintechs, à la justice prédictive ou tout simplement devenir champion du monde de Shogi ! Vous pourrez même y côtoyer « les promesses de l'art » en management, faire un détour par la mécanique céleste et les « miracles », y mesurer l'« irréversibilité », y découvrir le parcours d'un « chercheur gâté » ou les clefs du « transport optimal », partir à la « quête du Graal » en informatique.

En 50 ans, ce sont six laboratoires en partenariat avec le CNRS, l'IRD et l'INRA qui se sont imposés à l'international comme des centres d'excellence scientifique en économie, gestion, sociologie et science politique, droit, mathématique et informatique. Aujourd'hui, une nouvelle ère s'ouvre et avec elle d'immenses opportunités. Membre fondateur de l'Université Paris Sciences et Lettres, l'Université Paris-Dauphine se projette comme un pilier des collaborations scientifiques au sein de cet ensemble prestigieux, comme un lieu unique où interagissent sciences humaines et sociales, mathématique et informatique, des atouts majeurs pour une compréhension globale des enjeux sociétaux de demain.



Ivar Ekeland

Professeur émérite des universités

En 1968 le général de Gaulle retire la France du dispositif militaire de l'OTAN. L'organisation abandonne alors ses installations en France et se retire en Belgique. Son siège, situé porte Dauphine à Paris, et son quartier général, le SHAPE, situé à Voluceau, près de Versailles, retournent au gouvernement français. L'un deviendra un centre universitaire expérimental, la future Université Paris-Dauphine, l'autre deviendra l'IRIA, l'Institut de Recherches en Informatique, qui plus tard sera rebaptisée INRIA. La personne qui sera chargée du dossier au Ministère de l'Éducation Nationale est Pierre Tabatoni, juriste de formation, futur recteur de l'Académie de Paris, personnalité ouverte et charismatique. C'est lui qui assignera au nouvel établissement sa mission : enseigner la gestion en milieu universitaire.

À l'époque, la gestion était enseignée dans les grandes écoles de commerce et dans le réseau des IAE (Institut d'Administration des Entreprises). L'idée de Tabatoni était que la gestion était une discipline carrefour, qui avait ses techniques propres certes, mais que celles-ci ne pouvaient intervenir que sur des socles bâtis sur d'autres disciplines, l'économie, le droit, les mathématiques, la sociologie, et que la qualité de l'ensemble dépendait de la qualité des fondations. On voyait donc se dessiner une structure nouvelle, du moins en France, où les disciplines fondamentales bénéficiaient d'une large autonomie et avaient la maîtrise du premier cycle, la formation à la gestion ne commençant qu'en second cycle.

Cette idée, Tabatoni l'avait depuis longtemps, et il la mettait en œuvre avec ténacité. Il avait compris l'importance que prenaient les méthodes quantitatives de gestion, qui nous arrivaient des États-Unis sous le nom de recherche opérationnelle, et il

Préface

voulait que la France développe sa propre compétence dans le domaine. Il avait compris également que la formation à la gestion se situerait dorénavant dans un cadre international, et que les nouvelles règles du jeu seraient celles qui avaient cours aux États-Unis, où la réputation des formations reposait en grande partie sur la réputation des enseignants, mesurée par la qualité de leur recherche, elle-même évaluée par leurs publications dans des revues et la reconnaissance de leurs pairs. Tout le monde n'était pas de cet avis : il y avait en France une forte tradition qui considérait la gestion comme un art plutôt qu'une science, et qu'un professeur se devait de former des étudiants plutôt que de publier. Mais patiemment Tabatoni mettait ses pions en place. Successivement, il créait une agrégation de gestion, distincte de l'agrégation d'économie, et il mettait un mathématicien, Alain Bensoussan, au jury ; il créait la FNEGE (Fondation Nationale pour l'Enseignement de la Gestion), qui devait fournir à nombre de thésards l'occasion d'aller se former aux États-Unis ; enfin, il lançait à Bruxelles l'Institut Européen du Management, qui allait permettre les contacts entre les chercheurs européens.

Ainsi, la création de l'Université Paris-Dauphine s'insérait dans une politique parfaitement cohérente, où l'incitation à la recherche et l'ouverture internationale tenaient une large place, sans être explicitement mentionnées. Pour cela, Tabatoni, en bon adepte du management, faisait confiance au jeu des institutions. Pour commencer, la création d'une nouvelle université sur la place de Paris fut un gigantesque appel d'air, qui aspira les personnalités les plus diverses, professeurs qui ne supportaient plus leurs collègues ou qui voulaient se rapprocher du centre de Paris, assistants ou maîtres-assistants

qui fuyaient les mandarins des universités parisiennes et qui ne se doutaient pas qu'ils allaient les retrouver à Dauphine, mais aussi un certain nombre de personnes qui allaient adhérer au nouveau projet. Parmi eux, il y avait les scientifiques, mathématiciens et informaticiens, pour lesquels les nouvelles règles, publications en anglais et concurrence internationale, étaient déjà anciennes, et qui allaient profiter de l'autonomie qui leur était reconnue au sein de leurs UER respectives pour les mettre pleinement en œuvre. Il y avait aussi certains gestionnaires, spécialistes de marketing, groupés initialement autour de Sylvain Wickham, puis de Bernard Pras et d'Alain Thiétart, et quelques personnalités en économie, dont le chef de file était Pierre-Marie Larnac.

Dès le début de l'Université, les centres de recherche étaient apparus. Il y avait une poussière de petits centres, dont certains n'étaient guère qu'une coquille vide pour capturer des contrats de recherche ou de la taxe d'apprentissage, mais aussi quelques grands centres qui abritaient des groupes de recherche actifs. Les statuts de l'Université prévoyaient aussi la création d'un Conseil Scientifique qui, au fil des années, devait s'imposer comme un acteur essentiel de la vie de l'établissement. Sa composition et ses missions en firent rapidement le lieu de rencontre des diverses disciplines, l'endroit où elles pouvaient se rencontrer et faire connaissance loin des débats politiques et des affrontements du Conseil d'Administration. Profitant de cette influence, et de pouvoirs budgétaires qui, fort restreints au début, devaient s'étendre par la suite, le Conseil Scientifique devait permettre à l'Université de définir et de mettre en œuvre une véritable politique scientifique. Je considère qu'il s'agit d'un avantage comparatif majeur pour Dauphine,

vis-à-vis notamment des universités étrangères : dans aucun des établissements où j'ai travaillé, aux États-Unis ou au Canada, je n'ai constaté l'existence d'un organe analogue, la politique scientifique se résumant à encaisser les crédits de recherche nationaux ou fédéraux et à en prélever une partie au passage (*overhead*).

Tout ceci se fit par étapes. On partait d'une situation où les laboratoires n'avaient d'autre ressource que celles qu'ils pouvaient glaner à l'extérieur, principalement sous forme de contrats, et il n'était pas question de redistribution. Il y eut d'abord l'influence du CNRS : en dehors du soutien CNRS, sous forme de crédits (toujours faibles) ou de personnel (beaucoup plus significatif), les équipes reconnues bénéficiaient d'une reconnaissance extérieure qui n'était pas sans effet au sein de l'établissement. Il y eut ensuite les incitations gouvernementales. Le ministère demanda que les crédits attribués à l'établissement au titre de la recherche soient en partie fléchés vers les laboratoires reconnus par le CNRS. Vint ensuite le BQR, autre partie des crédits qu'il revenait au Conseil Scientifique de répartir entre les laboratoires au titre de la qualité de la recherche. Celui-ci se trouvait désormais investi d'un véritable pouvoir, et il sut le gérer efficacement, en établissant des clés de répartition qui allaient diffuser au sein des diverses disciplines, et les faire finalement converger vers la vision de Pierre Tabatoni bien des années auparavant.

Cinquante ans plus tard, où en sommes-nous ? En matière de recherche, l'Université Paris-Dauphine joue dans la cour des grands. Elle s'enorgueillit d'une médaille Fields (Pierre-Louis Lions, 1994), d'un prix Abel (Yves Meyer, 2017, pour des travaux menés lorsqu'il était en poste à Dauphine, 1985-1995), et elle abrite plusieurs Chaires de

Recherche sur les problèmes contemporains, notamment le réchauffement climatique, qui font autorité sur le plan national. Elle a été au premier rang lors de la transformation de la finance de marché, quand les méthodes mathématiques de couverture ont permis d'évaluer des produits dérivés. Cela a commencé par des conversations de couloir entre Jean-Michel Lasry et Bertrand Jacquillat, et très vite cela s'est transformé en un véritable dialogue entre mathématiciens et financiers, où chacun, conservant sa propre identité (il n'a jamais été question de fusionner les DEA ou les masters), profitait de la compétence de l'autre pour alimenter sa recherche et orienter ses enseignements. Un dialogue semblable s'est instauré entre économistes et mathématiciens, dans les premiers temps par l'intermédiaire de Pierre-Marie Larnac, et plus tard de manière beaucoup plus générale. Qu'il me suffise de rappeler que nombre d'économistes, parmi les plus en vue, sont passés par Dauphine, et ont bénéficié de cette double compétence, tels Jean-Jacques Laffont, Jean-Charles Rochet, ou Pierre-Yves Geoffard.

La génération des fondateurs, Jean-Pierre Aubin, Alain Bienaymé, Alain Cotta, Bernard Roy, s'est aujourd'hui effacée, et avec eux les élèves et les collègues qu'ils avaient entraînés dans l'aventure dauphinoise. Il faut leur rendre hommage, car ils n'auraient eu aucun mal à l'abandonner en cours de route pour une université plus prestigieuse, en France ou à l'étranger. Mais, ils sont restés jusqu'au bout et ils ont fait d'un centre expérimental, où les étudiants n'allaient qu'à reculons, un établissement de classe internationale. Certains de ces centres de recherche existent depuis la fondation et portent la même idée qui, neuve à l'époque, l'est toujours aujourd'hui : le CEREMADE, l'idée que les mathématiques

peuvent contribuer à la prise de décision, le LAMSADE, l'idée qu'en matière informatique, l'interface avec l'homme est aussi importante que l'algorithme. D'autres centres sont apparus et témoignent de la vitalité des nouvelles générations. Citons particulièrement la sociologie et le droit qui, mal lotis lors de la fondation de l'Université, puisqu'ils n'ont pas été abrités dans une UER propre, se sont peu à peu imposés par la qualité de leur recherche. Les problèmes fondamentaux auxquels nous sommes confrontés ont changé depuis cinquante ans, la population jeune et l'économie en expansion de 1968 ont cédé la place à une société vieillissante soumise à la concurrence internationale, mais dotée par la révolution numérique de moyens absolument nouveaux.

Souhaitons que la recherche universitaire en prenne toute la mesure !

1 AVANT-PROPOS

3 PRÉFACE

9 LA RECHERCHE DAUPHINOISE D’HIER À AUJOURD’HUI

RESEARCH AT
DAUPHINE FROM
YESTERDAY TO TODAY

10 La naissance de la recherche comptable en France : le rôle de Dauphine

The Birth of Accounting
Research in France: the Part of
Dauphine

14 La recherche en Finance à l’Université Paris-Dauphine, 1980-2000

Research in Finance at
Université Paris-Dauphine,
1980-2000

20 L’émergence et le développement de la recherche en Marketing et Stratégie à Dauphine

Marketing and Strategy
Research at Dauphine: Origins
and Development

24 Bernard Roy : parcours et ruptures

Bernard Roy:
Intellectual Journey
and Breakthroughs

SOMMAIRE

30 Modélisation des préférences pour l’aide à la décision

Preference Modelling
for Decision Aiding

36 Aide multicritère à la Décision

Multiple Criteria Decision
Making

40 Couvrir l’espace entre Recherche opérationnelle et Informatique fondamentale : l’Optimisation combinatoire

Bridging the Gap between
Operations Research and
Theoretical Computer Science:
the Combinatorial Optimization

44 Les versions de bases de données

The Database Version
Approach

50 Cryptage et clés perdues : la sécurité des bases de données Cloud

Cloud Database Security

54 Des percées en traitement d’images : EDP et méthodes variationnelles

A Breakthrough in Image
Processing: PDEs and
Variational Methods

58 Équation de Boltzmann, solutions renormalisées et lemmes de moyenne

Boltzmann Equation,
Renormalized Solutions and
Averaging Lemmas

62 L’invention des solutions de viscosité : une percée historique dans le domaine des équations de Hamilton-Jacobi

The Invention of Viscosity
Solutions: a Historical
Breakthrough in the Field of
Hamilton-Jacobi Equations

66 Vladimir Arnold, les mathématiques et Paris- Dauphine : un détour par la mécanique céleste, les systèmes dynamiques et la topologie...

Vladimir Arnold, Mathematics
and Paris-Dauphine: a Journey
through Celestial Mechanics,
Dynamical Systems and
Topology

69 Deux miracles au CEREMADE !

Two Miracles at CEREMADE!

70 Le principe variationnel dont je porte le nom

The Variational principle after
which I am named

74 L’économie mathématique à Dauphine

Mathematical Economics
at Dauphine

78 L’économie organisée de marché

The Organized Market
Economy

82 La création d’un lieu de débat énergétique inédit

An Original Forum for
Discussing Energy Issues

86 Le laboratoire d’économie et de gestion des organisations de santé (LEGOS) – 1973-2000

Laboratory of Health
Economics and Management of
Health Organisations
(LEGOS) – 1973-2000

90 Le retour de la science économique dans les sciences sociales : Marc Guillaume, Jacques Attali...

The Return of Economics
in Social Sciences:
Marc Guillaume,
Jacques Attali...

93 Travail et société

Work and Society

98 La sociologie urbaine

Urban Sociology

102 Jean Baudrillard et Lucien Sfez : penser contre !

Jean Baudrillard and Lucien
Sfez: Thinking Against!

106 Innovation et nouvelles technologies de l’information et de la communication : les précurseurs

Innovation and New
Information and
Communication Technologies:
the Forerunners

110 Concevoir «le droit de la régulation» à Dauphine

Creating Regulation Law
at Dauphine

116 À quoi sert la régulation ? L’exemple de l’aménagement numérique du territoire

Regulation: What for?
The Example of the Digital
Land-Use Planning

120 Entreprendre et réduire les risques sur son patrimoine privé

Entrepreneurship and Reduce
Risks to its Private Assets

124 Itinéraire d’un chercheur gâté

A Route for a Privileged
Researcher

129 LA RECHERCHE DAUPHINOISE DE DEMAIN

RESEARCH
AT DAUPHINE
TOMORROW

130 La finance numérique et les *fintech* : quelles perspectives pour la recherche dauphinoise ?

Digital Finance and FinTech:
What Outlook for Research
at Dauphine?

134 L’économie collaborative, une opportunité pour répondre à des enjeux environnementaux et sociaux ?

The Sharing Economy: A
Solution to Environmental and
Social Issues?

140 Innovation managériale, fondamentaux du management et invariance

Management Innovation,
Fundamentals of Management
and Invariance

144 La recherche en Management : les promesses de l’art

Management Research: Art’s
Promises

148 L’entreprise au **xxr**^e siècle : Faire société

The Firm of the 21st Century:
Re-building Society

152 L’avenir du travail entre automatisation et ubérisation : la preuve au-delà des fantasmes

The Future of Work between
Automatisation and
Uberisation: Evidence beyond
Fantasy

158 Responsabilité sociale des entreprises et gouvernement des risques

Corporate Social Responsibility
and Risk Government

162 Finance et société

Finance and Society

166 Dix ans de recherche en éducation

Ten Years of Research
in Education

170 Émergence et essor des études de genre

The Rise and Development of
Gender Studies

174 Politisations comparées et mobilisations : processus électoraux, mouvements contestataires et crises politiques

Comparative Politics and
Mobilizations: Electoral
Processes, Protest Movements
and Political Crisis

178 Policy Analytics : aide à la décision dans la conception, la mise en œuvre et l’évaluation des politiques publiques

Policy Analytics: Decision-
Aiding for the Design,
Implementation and Evolution
of Innovative Public Policies

181 Théorie des jeux et choix social computationnel

Game Theory
and Computational
Social Choices

184 Construction automatique d’applications Internet complexes

Automatic Development of
Complex Internet Service-
Based Applications

188 La quête du Graal en informatique théorique et le chemin tortueux de la complexité paramétrée y menant

The Holy Grail of Theoretical
Computer Science and a
Winding Trail toward it

192 Jeu de Go, Shogi, Sudoku : les «champions du monde» de la recherche Monte-Carlo

Game of Go, Shogi, Sudoku: the
"Champions of the World" of
Monte Carlo Search

198 Intelligence Artificielle

Artificial
Intelligence

202 La justice prédictive

Predictive Justice

205 Les juristes dauphinois et la blockchain

The Lawyers of Dauphine and
the Blockchain

210 La régulation économique sectorielle, à la croisée des disciplines

Sectorial Economic Regulation,
at the Crossroads of the
Academic Fields

214 La recherche dauphinoise en droit patrimonial : l’exemple de la protection internationale de la réserve héréditaire française

Legal Research in Patrimonial
Law at Paris-Dauphine: the
Example of the Protection of
French "réserve héréditaire" in
the International Arena

218 Les juristes dauphinois et le droit international

The Lawyers of Dauphine and
the International Law

222 Les recherches sur les migrations au sein de l’équipe DIAL

Ongoing Research on
Migration at DIAL

228 L’Économie et la Gestion de la santé à Dauphine

Health Economics and
Management at Dauphine

232 Interactions entre joueurs : l’invention des jeux à champs moyen

Interactions between Players:
the Invention of Mean Field
Games

236 La théorie du transport optimal

The Optimal Transportation
Theory

239 De l’irréversibilité en physique aux taux optimaux de convergence

From Irreversibility in Physics
to Optimal Convergence Rates

242 La matière à l’échelle microscopique : analyse non linéaire et mécanique quantique

Understanding Matter at
the Microscopic Scale: non
Linear Analysis and Quantum
Mechanics

246 Mathématiques de l’aléatoire et physique statistique

Mathematics of Randomness
and Statistical Physics

250 Statistique bayésienne et méthodes de Monte-Carlo

Bayesian Statistics and Monte
Carlo Methods

255 LES CENTRES DE RECHERCHE DE DAUPHINE

DAUPHINE’S
RESEARCH CENTERS

258 INDEX

SUMMARY



50 ANS DE RECHERCHE : HIER, AUJOURD'HUI ET DEMAIN

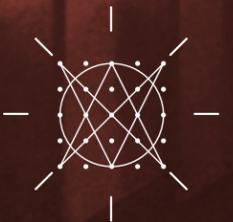
8

PARIS-DAUPHINE

La recherche dauphinoise d'hier à aujourd'hui Research at Dauphine from Yesterday to Today



9



La naissance de la recherche comptable en France : le rôle de Dauphine

The Birth of Accounting Research in France: the Part of Dauphine

It is relatively rare for a university to open a new disciplinary field. However, this is what Dauphine has done in less than half a century, in the field of accounting. This powerful development in accounting education and accounting research is certainly due to the pioneering spirit of André Cibert and his successors. But we also owe it to Dauphine herself, a university without paralysing cultural prejudices, creative and open to innovation.

↓ Dans la culture française dire de quelqu'un que c'est un « comptable » n'est guère valorisant. Ce peut même être une forme de mépris dans la sphère publique. On se souvient que François Mitterrand disait de ses successeurs qu'ils seraient des comptables... Ce qui, pour le moins, était quelque peu condescendant dans la bouche de ce président qui se voulait un lettré.

Dans ce contexte culturel, très différent du contexte anglo-saxon, il n'est pas étonnant que la comptabilité soit longtemps considérée comme une discipline « indigne » de l'Université avec un grand U. Elle n'y est tolérée que comme servante du droit et de l'économie. Jusqu'à la fin des années 1960, elle ne s'enseigne guère que dans les anciennes facultés de droit et les Instituts d'Administration des Entreprises (IAE). La formation des comptables et des experts-comptables est assurée par l'enseignement dit technique, des écoles privées spécialisées et, aussi, l'Institut National des Techniques Économiques (INTEC) du Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM).

Il faut attendre la création de Dauphine pour que la comptabilité, au sens large (non seulement la comptabilité, générale et analytique, mais aussi le contrôle de gestion et l'audit), fasse son entrée dans l'Université, en tant que discipline autonome et non plus ancillaire.

L'ENTRÉE DE LA COMPTABILITÉ DANS L'UNIVERSITÉ

On doit à André Cibert¹, un professeur associé venu de l'organisme français de normalisation comptable, son introduction dans les programmes de Dauphine. La comptabilité générale et la comptabilité analytique font leur entrée, dès la création de Dauphine, dans le programme d'économie et de gestion du 1^{er} cycle. Des enseignements d'approfondissement suivent en 1^{ère} année de maîtrise de sciences de gestion et, en deuxième année de maîtrise, un certificat de contrôle de gestion est offert en option.

Au milieu des années 1970 est créée, au plan national, la Maîtrise de Sciences et Techniques Comptables et Financières (MSTCF). Ce programme qui débouche sur le diplôme d'expertise-comptable consolide la place de la comptabilité dans l'Université. André Cibert participe à la conception ministérielle de cette maîtrise et, très naturellement, il crée en 1976 une MSTCF à Dauphine, la deuxième en France après celle créée, en 1974, par l'Institut d'Études Commerciales de l'Université de Grenoble. Les MSTCF disparaissent à la fin des années 1990 pour donner naissance aux actuels masters en « Comptabilité-Contrôle-Audit » (CCA).

Cette implantation de l'enseignement de la comptabilité à Dauphine est parachevée au début des années 1980 avec la création, au niveau bac+5, de Diplômes d'Études Supérieures Spécialisés (DESS). On doit en particulier à Jean-François Casta la création en 1983 d'un DESS d'audit.

Mais *quid* de la recherche comptable ? Il ne peut en effet y avoir d'enseignement supérieur d'une discipline sans

¹ Pour une biographie d'André Cibert (1912-2001), voir : Bensadon D. (2017). *L'institutionnalisation de la recherche en contrôle de gestion en France : André Cibert, un entrepreneur institutionnel ?* Communication présentée au 38^e congrès de l'AFC (Poitiers)

recherche dans cette discipline : un enseignement supérieur se nourrit des résultats de la recherche.

LE DÉVELOPPEMENT DE LA RECHERCHE

Pour que la comptabilité devienne donc une discipline universitaire à part entière, il faut aussi qu'elle soit un domaine de recherche, comme aux États-Unis et en Grande-Bretagne. Par rapport aux pays anglo-saxons, la France a plus d'un demi-siècle de retard en matière de recherche comptable. Aussi André Cibert crée-t-il dans les années 1970 deux centres de recherches en gestion dédiés à la comptabilité et à la finance (à l'époque, la comptabilité et la finance étaient encore très liées) : l'un plutôt orienté vers la recherche en contrôle de gestion, le Centre d'Études et de Recherche en Gestion, le CEREG ; l'autre plutôt orienté vers la recherche en comptabilité financière et en finance, le Centre de Recherche et d'Études en Finance, le CREFI (qui deviendra le CREFIGE). Ces deux centres de recherche ont pour vocation première d'accueillir les quelques doctorants, peu nombreux à l'époque, qui se lancent dans la réalisation d'une thèse en comptabilité ou en finance.

Mais l'élément moteur de l'essor en France de la recherche comptable est incontestablement la fondation en 1979 de l'Association Française (devenue Francophone) de Comptabilité (AFC) appelée à réunir tous les enseignants-chercheurs qui consacrent leurs activités à la comptabilité, au contrôle de gestion et à l'audit. Avec André Cibert et Jacques Richard, je fais partie de ses membres fondateurs et j'en suis, de 1983 à 1985, le deuxième président. Plus tard, en 1995, le conseil d'administration de l'AFC me confie le lancement de sa revue « Comptabilité-Contrôle-Audit », la seule revue académique francophone du champ, face à plus d'une vingtaine de revues académiques anglophones.

Avec son congrès annuel, ses journées d'études puis sa revue, l'AFC joue et continue de jouer, quarante ans après sa création, un rôle considérable pour la promotion et le développement de la recherche comptable en France ; mais elle n'est, et n'est toujours, ni une instance de formation à la recherche, ni une instance de production de travaux de recherche. Pour que la recherche comptable se développe en France de façon pérenne, il faut donc que soient créés, comme pour les autres disciplines universitaires, des programmes de formation à la recherche et aussi des centres de recherches qui lui soient dédiés.

Au moment, en 1982, où André Cibert prend sa retraite, Dauphine dispose grâce à lui de deux centres de recherches susceptibles d'accueillir des doctorants en comptabilité mais elle n'a pas de véritable préparation à la recherche comptable, ce qui limite son flux de doctorants dans ce domaine. C'est la raison pour laquelle, après une période de latence due au départ d'André Cibert, nous créons, à la rentrée 1990, sous l'intitulé « Comptabilité, décision, contrôle » (la comptabilité comme instrument d'aide à la décision et au contrôle), un

...

Diplôme d'Études Approfondies (DEA) entièrement dédié à la comptabilité. Outre un enseignement très nouveau d'histoire de la comptabilité, ainsi que des enseignements théoriques et méthodologiques, le programme de ce DEA comporte toute une gamme de séminaires d'initiation à la recherche couvrant les grandes thématiques du champ. Ce programme fait désormais partie du master « Comptabilité, Audit et Reporting (CAR) ».

Le DEA « Comptabilité, décision, contrôle », également désigné « DEA 124 » (selon son identifiant administratif), s'avère une formidable pépinière de doctorants. Ces doctorants sont accueillis par le Centre de Recherche Européen en Finance et Gestion (CREFIGE), l'ancien CREFI devenu sous la direction d'Henri Bouquin le centre de recherche à vocation comptable de Dauphine tandis que le CEREG devient son centre de recherche en finance. Plusieurs dizaines de docteurs issus de ce DEA et formés au sein du CREFIGE enseignent aujourd'hui en France, dans les universités et les grandes écoles (HEC, ESSEC, ESCP, EMLyon, ...), et à l'étranger (Canada, Tunisie, Maroc, Roumanie, Russie, Chili, ...); contribuant au rayonnement de la recherche comptable dauphinoise.

Les recherches menées à Dauphine au cours des trente dernières années relèvent des différents courants de la recherche comptable internationale mais elles ont toutes une vocation cognitive affirmée. En d'autres termes, elles traitent de la comptabilité non pas seulement en tant que pure technique mais aussi, et surtout, en tant que phénomène historique, économique, social et politique. Elles relèvent, au sens philosophique du mot « technologie », d'une tentative de technologie comptable, c'est-à-dire d'une réflexion générale sur la comptabilité qui traite de son évolution historique, de son insertion et de son rôle dans la Société et les organisations contemporaines, et aussi des relations qu'elle entretient avec les autres disciplines, notamment avec le droit, l'économie et la sociologie des organisations. Ces recherches participent d'une véritable redéfinition de la comptabilité, redéfinition qui emporte une rénovation profonde de son enseignement. Elles montrent, s'il en est encore besoin, sa dimension culturelle et légitiment pleinement sa place dans l'Université. En cela, la recherche comptable pratiquée à Dauphine est originale et se distingue de recherches relevant davantage de l'ingénierie et visant plus directement au perfectionnement des outils comptables. Ce qui ne l'empêche pas pour autant de contribuer à la pratique et à la normalisation comptables.

L'AVENIR

Plusieurs des actuels enseignants-chercheurs en comptabilité, en contrôle de gestion et en audit de Dauphine sont issus du DEA 124 et illustrent la vitalité pédagogique et scientifique de ce nouveau domaine universitaire : Didier Bensadon, Nicolas Berland, Rouba Chantiri, Frédérique Déjean, Karine Fabre, Anne-Laure Farjaudon, Benoit Gérard, Pierre Labardin, Céline Michaïlesco, Gwenaëlle Nogatchewski, Bruno Oxibar,



Élisabeth Thuelin. Leur activité scientifique au sein de Dauphine-Recherches en Management (DRM) fait de Dauphine l'un des principaux centres français de recherche dans le domaine comptable. Ils publient non seulement en français mais aussi en anglais, ce qui leur vaut une reconnaissance internationale dans un domaine où la France ne brillait guère. L'avenir scientifique et pédagogique de la comptabilité à Dauphine est donc bien assuré.

Il est relativement rare qu'une université ouvre un nouveau champ disciplinaire. C'est cependant ce que Dauphine a fait en moins d'un demi-siècle, ce qui est très court pour une université. On doit certes ce puissant développement de l'enseignement de la comptabilité et de la recherche comptable à l'esprit pionnier d'André Cibert et de ses successeurs. Mais on le doit aussi à Dauphine elle-même, une université sans préjugés culturels paralysants, créative et ouverte à l'innovation. Cette ouverture, son conseil scientifique la montre en particulier quand, en 1990, sous la présidence d'un mathématicien, Ivar Ekeland, il vote la création d'une préparation à la recherche comptable, le DEA 124, toujours unique en France.



La recherche en Finance à l'Université Paris-Dauphine, 1980-2000

Research in Finance at Université Paris-Dauphine, 1980-2000

Financial research at CEREG began in the 1980s in a very special environment: liberalization of the financial markets, intellectual and academic bubbling in the field of financial economics. These two phenomena were not without consequences at Dauphine. Following the explosion of the research in finance that began in the 1970s in the United States, the years 1980-2000 were particularly rich for research within the CEREG. It has been characterized by a high level of academic supervision within the DEA 104, CEREG's proximity to the French Finance Association, the development of the interdisciplinarity with economic and quantitative research, and finally, a resolutely empirical orientation. At that time, Paris-Dauphine University was, so to speak, the only French higher education institution where a complete body of teaching and research in Finance was provided.

↓ En 1983, j'ai pris la direction du CEREG (Centre de Recherche et d'Étude en Gestion, laboratoire qui a intégré par la suite l'UMR CNRS DRM) de l'Université Paris-Dauphine, en même temps que celle du DEA 104, que j'ai assumée jusqu'en 1994, date à laquelle mon collègue, ami et co-auteur, le Professeur Jacques Hamon m'a succédé dans ces deux fonctions. Bien qu'en disponibilité à partir de cette date, j'ai continué à diriger un séminaire de recherche et à encadrer des thèses jusqu'à la fin des années 1990.

Cette période d'environ vingt ans a été caractérisée par une véritable explosion de la recherche financière au CEREG, dans le prolongement de celle entamée dans les années 1970 aux États-Unis.

La recherche financière au CEREG s'est inscrite dans un environnement tout à fait particulier, tant sur le plan intellectuel et académique que sur le plan pratique.

Commençons par ce dernier. Le début des années 1980 coïncide avec une vague mondiale de libéralisme et d'ouverture, prélude à la mondialisation, même si ce phénomène se trouve en partie masqué par l'avènement en France d'un Président socialiste pour une durée de quatorze années. Assez curieusement, cette période coïncide avec la libéralisation des marchés financiers entamée par le ministre des Finances de l'époque, Pierre Bérégovoy, au milieu des années 1980. Alors que dans les années 1970, le Syndic de la Compagnie des Agents de Change, Yves Flornoy, s'inquiétait pour l'avenir de l'institution du marché boursier, compte tenu de l'extrême faiblesse des volumes de transactions et du tarissement complet des introductions en bourse, la décennie qui suivit connut de nombreuses innovations dans les infrastructures financières, dans la foulée de la dérégulation du marché des actions avec la fin du monopole des agents de change, et avec la création des marchés organisés de produits dérivés, le MONEP et le MATIF. C'était un vent de fraîcheur qui soufflait d'un seul coup provoquant l'engouement des jeunes diplômés pour des nouveaux métiers financiers. L'engouement était devenu folie, à tel point que les étudiants du DESS 203, créé par le professeur Yves Simon dans les années 1970, étaient recrutés par les sociétés financières avant même que ne débute leur scolarité. C'était aussi un terrain fertile pour la recherche en finance.

Deuxième caractéristique de l'environnement financier, le bouillonnement intellectuel et académique dans le domaine de l'économie financière. Certes, les premiers articles de la théorie financière moderne, des Markowitz, Sharpe, Fama, Miller, etc. étaient déjà parus depuis un certain temps ; mais ils étaient restés longtemps confidentiels, à tel point que pendant mes études à Harvard à la fin des années 1960, nulle mention n'était faite du CAPM dans les cours de Finance. Les cours de Finance qui étaient enseignés étaient plus proches de la comptabilité financière que de la théorie financière moderne encore en gestation.

Ces deux phénomènes ne furent pas sans conséquence sur la recherche en finance à Dauphine, caractérisée par des éléments forts.

UN NIVEAU D'ENCADREMENT ACADÉMIQUE ÉLEVÉ AU SEIN DU DEA 104

Une dizaine de professeurs, dont un certain nombre de professeurs étrangers, formaient l'ossature du corps professoral engagé dans les enseignements prodigués à des promotions d'une petite vingtaine d'étudiants, très sévèrement sélectionnés. À cette époque, la situation concurrentielle de la formation à la recherche et notamment la recherche financière était très différente de ce qu'elle est aujourd'hui. Les grandes écoles n'offraient pas de troisième cycle et n'avaient pas l'autorisation d'avoir des formations doctorales et de couronner des thèses. Quant aux universités, la finance était délaissée par les sciences économiques, et faisait partie du *corpus* de l'enseignement et de la recherche en gestion. Pendant un certain temps, l'Université Paris-Dauphine fut pour ainsi dire le seul centre d'enseignement supérieur français où était dispensé un *corpus* complet d'enseignement et de recherche en Finance.

La formation et la recherche en Finance couvraient à Dauphine à la fois la Finance de marché et la Finance d'entreprise. Pour être commode, notamment sur le plan de la classification des enseignements universitaires de Finance, cette distinction, voire cette opposition, m'a toujours paru artificielle tant est grande l'interpénétration des deux. Cette distinction n'était pas sans arrière-pensée protectionniste pour préserver le pré carré des sciences de gestion dont faisait partie la Finance d'entreprise *via* sa proximité avec la comptabilité. Mais les économistes regardaient de haut la finance, ignorant totalement dans leurs modèles macroéconomiques l'impact de la sphère financière sur l'économie réelle, ce qui ne sera pas sans conséquence quant à la survenance de la crise économique et financière de 2007-2009. De l'autre côté du spectre, d'aucuns accusaient la finance de se développer au détriment de l'industrie, ce contre quoi je m'étais insurgé dans une lettre d'information de l'AFFI intitulée « L'industrie malade de la finance, une déclinaison du mythe ». Mais celui-ci ne s'est pas totalement dissipé...

LA PROXIMITÉ DU CEREG AVEC L'ASSOCIATION FRANÇAISE DE FINANCE (AFFI)

J'ai présidé ces deux organisations pendant plus d'une décennie (1980-1991), puisqu'elles partageaient les mêmes locaux et le même secrétariat. Un événement particulièrement marquant fut l'organisation par le CEREG et l'Université Paris-Dauphine des Journées Internationales de l'AFFI en juin 1989, auxquelles participèrent des universitaires prestigieux tels que Gene Fama, Richard Roll, Andrei Schleifer, Merton Miller ou Myron Scholes à qui fut décerné à cette occasion le titre de Docteur Honoris Causa de l'Université Paris-Dauphine.

...

L'INTERDISCIPLINARITÉ AVEC LA RECHERCHE ÉCONOMIQUE ET QUANTITATIVE

J'ai déjà évoqué le fait que les professeurs d'économie des Facultés du même nom n'avaient pas voulu intégrer la Finance dans leurs modèles de macroéconomie, la considérant comme quantité négligeable. Par ailleurs, ils ne s'intéressaient que très peu à la microéconomie des organisations qui avait des points de rencontre évidents avec à la fois la Finance d'entreprise et la Finance de marché.

Mais certains mathématiciens de Dauphine au sein du CEREMADE s'intéressaient à l'économie financière. C'était notamment le cas de Jean-Michel Lasry, Pierre-Louis Lions et Ivar Ekeland lequel deviendrait Président de l'Université Paris-Dauphine. La caractéristique des mathématiciens de Dauphine qui s'intéressaient à l'économie et à la finance est qu'ils avaient aussi tissé de leur côté des liens étroits avec de brillants chercheurs en Finance et économie des plus prestigieuses universités américaines comme José Sheinkman à Princeton, Andrei Schleifer à Harvard, David Kreps à Stanford, Sanford Grossman à Wharton. Ceux-ci trouvaient un intérêt à venir régulièrement à Dauphine, le moindre n'étant pas que, butant sur des problèmes mathématiques pour mener à bien certaines de leurs démonstrations dans les articles qu'ils avaient en préparation, ils venaient consulter, du fait de leur excellence en la matière, les mathématiciens du CEREMADE. Leur présence récurrente à Dauphine ainsi que celle d'autres universitaires de grand talent, tels que Jean-Jacques Laffont, Jean Tirole et bien d'autres, nourrissaient, par les papiers qu'ils présentaient, le séminaire hebdomadaire du jeudi de recherche en Finance, organisé au sein du CEREG, auquel participaient à la fois les membres de la faculté et les étudiants en cours de thèse doctorale.

L'ORIENTATION RÉSOLEMENT EMPIRIQUE DE LA RECHERCHE FINANCIÈRE À DAUPHINE

Les goûts et inclinaisons de l'encadrement professoral du CEREG marqueront la nature de la recherche financière qui y sera poursuivie. À l'époque, on manquait terriblement de données pour mener des travaux empiriques. Encore pendant les années 1980, il n'y avait pas de bases de données boursières et financières sur les entreprises et les marchés français. Les études d'événements qui étaient la caractéristique de beaucoup de thèses doctorales obligeaient les étudiants à construire eux-mêmes leurs échantillons et les forçaient à aller dans les cotes boursières poussiéreuses de la Chambre Syndicale des Agents de Change, au rez-de-chaussée du 4 Place de la Bourse, pour récolter des données de cours d'un échantillon suffisamment représentatif de sociétés et conforme à l'objet de leurs recherches sur plusieurs années. C'était un véritable travail de fourmi, qui pouvait durer plusieurs mois, où il fallait sans cesse remettre l'ouvrage sur le métier, chaque étudiant allant récolter les données dont il avait besoin, et ce n'était jamais tout à fait les mêmes.

Heureusement cet état de choses a pris fin grâce à la SBF et à l'AFFI, avec la création au sein du CEREG de la base de données boursières AFFI/SBF.

Les travaux effectués à partir de cette base de données furent publiés dans de nombreuses revues et firent l'objet de deux ouvrages coordonnés par Jacques Hamon et moi-même : « Le marché français des actions, études empiriques, 1977-1991 », en 1992 dans la collection Finance des Presses Universitaires de France et « Recherches en Finance du CEREG » en 1994 chez *Economica*. Ils couvrent l'essentiel des recherches effectuées au sein du CEREG par les auteurs, ainsi que celles de leurs étudiants en thèse. Elles concernent notamment la microstructure et l'organisation des marchés actions, comme par exemple une étude comparative des libellés d'ordres sur le NYSE et sur le système CAC de la bourse de Paris, ou bien encore la concurrence pour les flux d'ordres entre systèmes boursiers : le cas du CAC et de SEAQ international. Elles concernent par ailleurs un certain nombre de thèmes de recherche liés à l'efficacité des marchés financiers, comme l'étude de certaines anomalies boursières (effet lundi, effet taille, effet PER) ; l'incidence de la fiscalité sur les rentabilités boursières ; les études d'événement, la prévisibilité des rentabilités boursières des actions compte tenu de leur risque et de leur liquidité ; les fourchettes de cours et les coûts de transaction ; elles concernent aussi bien entendu un certain nombre de thèmes de finance d'entreprise, à la fois sur le plan théorique (théorie de l'agence et du signal) et sur le plan empirique, comme l'étude de la structure financière des entreprises financières, etc.

Comme le rappelle Élie Cohen, Président de l'Université Paris-Dauphine dans sa préface à l'ouvrage « Recherches... » : « Depuis sa fondation le CEREG avait publié en 1994, 143 cahiers de recherche qui, pour une large part, ont été repris dans des revues scientifiques. Sur les quatre dernières années, du début de 1990 à la fin de 1993, l'évaluation quantitative des publications due aux membres du centre fait ressortir 53 énumérations à des congrès nationaux et internationaux, 59 cahiers de recherche, 15 thèses soutenues, 16 ouvrages et 25 articles scientifiques parus. » Ces chiffres soulignent assurément la richesse et l'ampleur de la recherche en Finance à Dauphine dans les années 1980-2000.





50 ANS DE RECHERCHE - IER, AUJOURD'HUI ET DEMAIN

18

19

PARIS DAUPHINE

L'émergence et le développement de la recherche en Marketing et Stratégie à Dauphine

Marketing and Strategy Research at Dauphine: Origins and Development

In the 1960s, research in marketing and strategy in France, as well as teaching, were still in their infancy. The basis of their emergence were laid in particular with Pierre Tabatoni who created the Dauphine Center, with fellows being sent to the United-States, and with the institutionalization of management as an academic discipline. Tabatoni's vision of a university focusing on organizational sciences and decision-making, bringing together all disciplines to study the firm and organizations at large is what brought strategy and marketing research to emerge at Dauphine. This was all in line with the heterodox approach in economics (François Perroux) and a transverse, international and prospective vision of the firm and its environment, as it appeared in the first works in marketing and strategy at Dauphine (Wickham). The innovative process of marketing and strategy research development which ensued from the mid-1980s to nowadays, put the emphasis on interfaces, methodological and scientific issues, international publications, and reflexivity.

1 S. Wickham, (2006), «François Perroux : visionnaire de notre monde interactif», Revue française de gestion, n. 162, 3, 15-20

↓ Jusqu'à la fin des années 1960, le marketing ou *gestion commerciale*, comme les autres disciplines de gestion, est enseigné dans les IAE et les grandes écoles de commerce, essentiellement par des praticiens. En marketing, il s'agit avant tout de l'enseignement de la distribution, des statistiques ou études. La recherche dans ces domaines est balbutiante.

En 1968, la volonté politique et académique de réduire le *management gap* entre la France et les États-Unis est affirmée. Pierre Tabatoni joue d'une part un rôle majeur dans la création du Centre expérimental Dauphine, future Université Paris-Dauphine, orienté vers les sciences des organisations et de la décision, et d'autre part dans la création de la FNEGE (Fondation nationale de l'enseignement de la gestion des entreprises) avec l'envoi massif de boursiers en Amérique du Nord pour se former à l'enseignement et à la recherche en sciences de gestion. Les fondements du développement de la recherche en marketing et stratégie à Dauphine sont posés.

LE MARKETING, LA STRATÉGIE ET DES ÉCONOMISTES HÉTÉRODOXES

Les premiers travaux en stratégie d'entreprise ont été poursuivis ou dirigés à Dauphine par des économistes comme Pierre Tabatoni avec Pierre Jarniou, ou Alain Cotta et ses analyses sur le pouvoir et qui créera le Crepa (Centre de recherche en économie pure et appliquée), ou encore Sylvain Wickham. Tous trois, dauphinois de la première heure, se reconnaissent dans l'approche hétérodoxe de François Perroux qui développa l'ISEA (Institut de Sciences économiques appliquées), qui deviendra l'ISMEA (Institut de sciences mathématiques et économiques appliquées). Ainsi, Pierre Tabatoni dirigera la série «Économie d'entreprise» de la revue *Économie et Sociétés* jusqu'en 1973, série qui sera plus tard réactivée par Sylvain Wickham avec Patrick Joffre et Gérard Koenig. Pour Sylvain Wickham, «la dynamique interactive (proposée par François Perroux), libérée de l'obsession du court terme, offre une vision réaliste du capitalisme contemporain et de l'environnement incertain auquel se trouvent irréversiblement confrontés nos managers ainsi que nos économistes, en mal de prévisions fiables.»¹

Sylvain Wickham introduira le marketing à Dauphine. Ancien élève de l'École libre de sciences politiques, agrégé en économie, MA de Harvard, il privilégie les analyses de long terme et prospectives. Ses publications sur l'espace industriel européen (1969) ou l'économie des transports (1973), ainsi que la création du centre DMTP (Dauphine, Marketing, Transport, Prospective), caractérisent sa vision du marketing qui s'inscrit dans une logique transverse et internationale de la firme, avec le poids important des flux et de la logistique, et une vision des phénomènes ancrée dans l'espace, le temps et l'incertitude. Vice-président du Centre d'observation de la CCIP, il initiera des réflexions prospectives sur l'entreprise et les secteurs, à Dauphine et dans le cadre de l'ISMEA. Il crée au milieu des années 70 un DEA (Diplôme d'Études Approfondies) en

marketing, à forte orientation stratégique et prospective et un DESS (Diplôme d'Études Supérieures Spécialisé) de «logistique et action commerciale», avec une équipe en stratégie, logistique et marketing (Joffre, Koenig, Justeau, Biardeau, Graby, Benoun, Boutin, Héliès-Hassid, Boyer, Pinson). Parallèlement, un DESS Marketing et études, qui met l'accent sur le quantitatif et le prévisionnel, est lancé par Bernard Piganiol et complète les enseignements de troisième cycle en marketing. Le deuxième cycle est au cours de cette période principalement confié à des professionnels.

L'ACCENT MIS SUR LA FERTILITÉ CROISÉE ENTRE MARKETING ET STRATÉGIE, LES DOCTORANTS, LE PROCESSUS DE RECHERCHE ET LES PUBLICATIONS

Lorsque Sylvain Wickham prend sa retraite en 1987, il me confie la direction du centre. Raymond-Alain Thiétart, spécialiste de stratégie m'y rejoint et prend la responsabilité du DEA. Le centre devient DMSP (Dauphine Marketing Stratégie Prospective), puis DMS (Dauphine Marketing Stratégie) et le DEA «Marketing et stratégie» fait désormais partie du Master «Marketing et stratégie» adossé à deux équipes de recherche au sein du laboratoire CNRS DRM : ERMES (Marketing et stratégie) dirigé par Denis Guiot, et MOST (Marché-Organisation-Société-Technologie) dirigé par Véronique Perret.

Dès 1987, une volonté forte de partage entre disciplines, de transmission du savoir, et une exigence de qualité sur des standards internationaux, nous anime, Raymond-Alain Thiétart et moi-même, ainsi que Christian Pinson, professeur à l'INSEAD et professeur associé à Dauphine. Tous trois avons poursuivi des études doctorales aux États-Unis, et l'objectif commun est alors de créer un vivier de doctorants et chercheurs, à même de publier leurs travaux dans de très bonnes revues francophones et internationales. Cela passait par un renforcement du DEA avec des cours communs et spécialisés, rassemblant d'excellentes compétences en marketing et stratégie, en interne à Dauphine et en externe.

La constitution de corps professoraux en sciences de gestion et la création de sociétés savantes a facilité et accéléré le processus. En 1987, la recherche francophone en marketing et en stratégie se structurait. L'AFM (Association française du marketing) fut créée en 1984, avec son congrès et ses revues académiques (*Recherche et Applications en Marketing* en 1986 et *Décisions Marketing* en 1993), et l'AIMS (Association Internationale en Management Stratégique) en 1991. Plusieurs d'entre nous participèrent à la fondation de ces sociétés savantes et y exercèrent des responsabilités scientifiques ou éditoriales². L'émergence de ces communautés scientifiques nouvelles permit d'accélérer le processus de partage de standards académiques exigeants et l'apprentissage en matière de publications. Ainsi, une revue académique en ligne, *M@n@gement*, avec un comité de lecture international, sera lancée en 1997 par un jeune Maître de conférences du centre,

...

2 Ainsi, je fus le premier président de l'AFM, suivi par Christian Pinson qui en a été un des fondateurs, Pierre Desmet et Pierre Volle. Christian Pinson et moi-même avons été rédacteurs en chef de Recherche et Applications en Marketing, et Pierre Volle de Décisions Marketing. Marie-Louise Héliès-

Hassid sera Déléguée générale de l'AFM. En ce qui concerne l'AIMS, Raymond-Alain Thiétart en a été un des présidents, Isabelle Huault la première femme présidente, et Isabelle Royer, ancienne doctorante de Dauphine, la deuxième présidente. Isabelle Huault est devenue aussi la première présidente de Dauphine.

...

Bernard Forgues, et deviendra la revue officielle de l'AIMS en 2005.

Le DEA 102 Marketing et stratégie devint rapidement un programme recherché nationalement par les futurs doctorants. La fertilisation croisée entre marketing et stratégie se poursuivait dans le parcours de thèse, avec les séminaires hebdomadaires de suivi d'avancement des travaux, dans le cadre d'un processus rigoureux d'encadrement de thèses avec pré-soutenance, préfigurant les procédures à venir de l'Edogest (École doctorale de gestion), puis de l'École doctorale de Dauphine. Cette proximité et émulation entre ces deux disciplines de gestion et l'interaction entre les doctorants eux-mêmes a conduit à la constitution d'une des équipes parmi les plus productives en France en marketing et stratégie en termes de thèses soutenues et de publications. Les collègues qui rejoignent l'équipe dans les années 90 et 2000 partageaient les mêmes exigences et valeurs en terme de recherche et encadrement de thèses, apportant leurs expertises dans leurs champs spécifiques en marketing (Pierre Desmet, Pierre Volle, Denis Darpy, Denis Guiot) et stratégie et organisation (Isabelle Huault, Véronique Perret), rejoints par une nouvelle génération (Paul Valentin Ngobo, Eva Delacroix, Valérie Renaudin, Sylvie Rolland, Manuel Cartier, Stéphane Debenedetti, Colette Depeyre, Fabrice Larceneux, Béatrice Parguel, Valérie Guillard, Florence Benoit-Moreau, Antoine Blanc, Guillaume Johnson, Dina Rasolofoarison).

UNE RECHERCHE CARACTÉRISÉE PAR LA RÉFLEXIVITÉ MÉTHODOLOGIQUE ET THÉMATIQUE

Les travaux menés dans le centre développent une pensée réflexive propre, en termes de méthodologie et d'objets de recherche.

Le souci de rigueur et d'innovation méthodologique a toujours constitué un axe prioritaire dans les travaux du Centre. Cela a abouti dès les années 90 à des ouvrages individuels et collectifs largement utilisés en recherche, en marketing, management et sciences de gestion³. Certains ont résulté d'un travail collectif associant une vingtaine de chercheurs confirmés et jeunes maîtres de conférences et docteurs du centre, comme « Méthodes de recherche en management ». Ce travail réflexif et de soutien en matière de méthodologie se poursuit toujours aujourd'hui au sein des équipes ERMES et MOST, avec par exemple l'utilisation des approches discursives (Blanc et Johnson), la mise en place d'un laboratoire expérimental à la disposition des chercheurs (Darpy), de nouvelles analyses des effets de modération en recherche expérimentale (Cadario et Parguel), les techniques d'aspiration des données web longitudinales (Depeyre), les réflexions sur des alternatives méthodologiques par la mobilisation de l'art dans les méthodologies de recherche et dans la pédagogie (« Arts Based Methods », S. Debenedetti et V. Perret).

³ On pensera notamment aux éditions successives de *Market : études et recherches en marketing de 1993 à 2009*, Dunod, et à *Doing Research in Management*, Sage, 2001.

Les recherches en marketing et stratégie, souvent novatrices, reflètent aussi les axes d'expertise des membres du centre, en termes de concepts et terrains dans le cadre des *parcours* en marketing et stratégie (communication, prix, distribution et relation client, expérience et valeur, marque) et des thématiques prégnantes en stratégie et organisation. Mais le caractère réflexif des recherches est important. Il se retrouve dans l'objet d'étude et la façon de l'aborder. Ainsi, étudier le marketing au sein de l'entreprise comme un système d'organisation ouvert permet d'analyser le phénomène sous l'angle des ressources, compétences et capacités des équipes à développer et mobiliser au sein des organisations pour que celles-ci soient performantes dans le cadre des transformations actuelles et à venir des entreprises. La réflexivité est aussi présente dans les thématiques de recherche qui interrogent les modes de consommation et les modèles organisationnels traditionnels, proposant et analysant des modèles alternatifs de circulation de produits ou d'organisation. On la retrouve dans la dimension sociale et sociétale des phénomènes étudiés, avec l'analyse du jeu des acteurs, les questionnements relatifs à l'impact des nouvelles technologies et à la saturation des consommateurs, à l'influence de leurs pratiques sur la société, ou encore dans l'étude du rôle des acteurs dans la production des règles du jeu institutionnel, ce qui constitue un enjeu important dans nombre de secteurs et pays. La responsabilité sociale des organisations, l'impact des actions entreprises sur le *bien-être* d'acteurs vulnérables, le rôle des politiques publiques, constituent autant d'objets d'analyse qui font l'objet de travaux au sein des équipes.

Ces recherches s'inscrivent dans la logique même d'une approche libérée de l'obsession du court terme, avec une vision transversale du marketing et de la stratégie au sein d'un environnement complexe où les analyses des phénomènes sont porteuses de solutions innovantes. La qualité des recherches et publications des équipes actuelles en marketing et stratégie témoigne de la vitalité scientifique de ce courant dans l'esprit qui a présidé à la création de Dauphine et à sa singularité.



Bernard Roy : parcours et ruptures

Bernard Roy: Intellectual Journey and Breakthroughs

In the history of the University Paris-Dauphine, the trajectory and the breakthroughs proposed by Bernard Roy counted a lot. He arrived in Dauphine in 1972 and created in 1974 the LAMSADE that he has continued to steer until the late 1990s. Bernard Roy proposed several ruptures making him the founder of the European School of Multicriteria Decision Aiding: (1) there is no single rationality that can legitimize a single criterion that should be optimized, (2) we must abandon optimization and prefer the construction of reasonable rather than rational solutions, (3) we need to introduce a notion of aiding relationship that places values at the center of the decision-aiding process and the decision-making process as well.

↓ LE PARCOURS SCIENTIFIQUE ET INTELLECTUEL DE BERNARD ROY

Bernard Roy est mathématicien de formation. Il soutient en 1957 une thèse à l'Institut de Statistiques de l'Université de Paris et obtient en 1961 un doctorat d'État de sciences mathématiques. Sa thèse est clairement contributrice de la recherche opérationnelle, à une époque où cette discipline est encore principalement une activité dédiée à l'exploration de problématiques militaires fondamentales. Bernard Roy intervient d'ailleurs fréquemment au CIRO (Centre Interarmées de Recherche Opérationnelle). Parallèlement, il est admis à l'Institut d'Études Politiques à Paris où il se forme à la gestion et autres disciplines de sciences sociales.

La première fonction occupée par Bernard Roy après avoir soutenu sa thèse, de 1957 à 1962, est celle d'ingénieur d'étude à la SEMA (Société d'Économie et de Mathématiques appliquées), société fondée en 1958 par trois anciens élèves de l'École Polytechnique, Dickran Indjoudjan, Marcel Loichot et Jacques Lesourne. Il est impliqué sur l'ordonnement du second œuvre de la construction du paquebot France. Ce projet fut pour Bernard Roy une opportunité de conception d'algorithmes aujourd'hui encore à la base de ceux mis en œuvre dans un grand nombre de logiciels d'ordonnement et de gestion de projet. Il fut également une occasion de confrontation de Bernard Roy avec les impossibilités récurrentes de trouver l'optimum dans différentes situations de gestion.

De 1963 à 1966, Bernard Roy est directeur scientifique de la SEMA puis, à partir de 1967 et jusque 1972, directeur scientifique de SEMA METRA International. Au cours de ces années, il travaille sur de nombreuses problématiques de gestion et met au point la méthode MARSAN (Méthode d'Analyse, de Recherche et de Sélection d'Activités Nouvelles), outil de diagnostic d'entreprise qui en évalue les potentialités commerciales, techniques et humaines et permet d'élaborer des recommandations sur les nouveaux marchés sur lesquels l'entreprise devrait chercher à se développer. Cette méthode est la prémisse des méthodes d'aide à la décision assumant explicitement la nécessaire prise en compte de critères multiples dans les problèmes de choix et de décision. La séminale méthode ELECTRE I est développée à ce moment par Bernard Roy, utilisée dans le cadre d'enquêtes qualitatives portant sur le choix d'un nom d'une cigarette. ELECTRE II suit, à l'occasion d'une étude commanditée par la revue Paris Match en 1967-1968, portant sur la question du choix et de la sélection de supports de presse. En 1968, paraît le premier article sur la méthode ELECTRE (Élimination Et Choix Traduisant la Réalité). C'est probablement la première publication sur une méthode d'aide multicritère à la décision. C'est également en 1968 que Bernard Roy publie un premier article sur la question complexe de la recherche d'un optimum dans les travaux de la recherche opérationnelle. Bernard Roy restera à la SEMA de 1957 à 1972, en même temps que Jacques Lesourne, directeur de la SEMA de 1957 à 1972, dont l'influence fut

importante, en particulier à propos de l'exigence constante de prise en compte du contexte dans l'activité de modélisation d'une situation de gestion.

À l'Université Paris-Dauphine où il arrive en 1972, il refond l'ensemble des programmes de mathématiques pour les formations de gestion puis crée, notamment avec Éric Jacquet-Lagrèze, le LAMSADE en 1974, Laboratoire de Management Scientifique et d'Aide à la Décision (qui deviendra Laboratoire d'Analyse et Modélisation des Systèmes pour l'Aide à la Décision). Le laboratoire est reconnu par le CNRS en 1976 et est classé sous la section scientifique « Sciences pour l'Ingénieur » aux côtés de laboratoires d'automatisme, de traitement du signal, de chimie, etc., soit des centres de recherche en sciences dures appliquées. Lorsqu'au milieu des années 70, les Diplômes d'Études Approfondies (DEA) sont créés, remplaçant les diplômes de 3^e cycle, Bernard Roy crée le DEA 3MS (Modélisation et Méthodes du Management Scientifique), qui deviendra plus tard le DEA de Méthodes Scientifiques de Gestion.

À partir du milieu des années 70, le rayonnement scientifique de Bernard Roy va grandissant. De 1974 jusqu'à la fin des années 1990, Bernard Roy occupe plusieurs fonctions importantes dans différentes sociétés savantes de recherche opérationnelle et entreprises. Il crée en 1975 à Bruxelles le Groupe de travail européen sur l'aide multicritère à la décision. Le groupe, aujourd'hui encore très actif, se réunira ensuite deux fois par an. Il constitue en Europe un cadre scientifique de référence sur l'aide multicritère à la décision. En 1980, Bernard Roy est nommé conseiller scientifique de la RATP, mission qui lui permettra davantage encore d'ancrer l'aide à la décision dans le monde des entreprises et du réel, ancrage qu'il manifeste et qu'il revendique. Les développements de concepts et de méthodes en aide à la décision auxquels Bernard Roy contribuera au cours des années 80 et 90 (ELECTRE TRI, les techniques de modélisation de situations particulières de préférence, de l'incertitude, de la mauvaise détermination, de l'imprécision, etc.) sont directement le fruit de collaborations de Bernard Roy avec le monde socio-économique dont il ne s'est jamais éloigné. À partir du début des années 2000, il oriente une partie de ses recherches vers la question de la contribution des outils et modèles d'aide à la décision dans des contextes de décision collective et de concertation. Cette orientation est en partie la résultante de débats fameux que Bernard Roy aura eu avec Marcel Boiteux, ancien dirigeant d'EDF, à propos des méthodes de calcul socio-économique et leur contribution au débat public entre acteurs parties prenantes.

Bernard Roy continuera jusqu'à son décès en 2017 à participer régulièrement aux réunions du groupe de travail sur l'aide multicritère qu'il mit en place près de 40 ans plus tôt.

...

**LES TROIS GRANDES RUPTURES PROPOSÉES
PAR BERNARD ROY**

Bernard Roy a assis une partie de ses développements théoriques et méthodologiques sur une remise en question d'une série de postulats classiques en indiquant (1) qu'il n'est pas possible de considérer que les principaux aspects de la réalité (préférences d'un individu, frontière entre le possible et l'impossible, conséquences d'une action,...) sur lesquels l'aide à la décision prend appui existent en dehors du projet même d'aide à la décision ; (2) qu'il n'est pas réaliste de prétendre que toute décision n'est le fait que d'un décideur, un acteur bien identifié et rationnel et qui ne penserait qu'en se fondant sur un certain corps d'axiomes excluant l'ambiguïté et l'incomparabilité ; (3) qu'il n'est pas plus réaliste de considérer que toute situation de décision peut se voir associer une décision optimale. En conséquence, pour Bernard Roy, non seulement la rationalité est limitée, mais il n'existe pas une rationalité unique qui puisse rendre légitime un critère unique qu'il s'agirait d'optimiser. La première rupture de Bernard Roy est donc la prise en compte de plusieurs critères et non d'un seul, fût-il de synthèse : c'est une rupture fondamentale, qui contribue à rendre les modèles et méthodes, ainsi que leurs fondements et présupposés théoriques, plus réalistes. Nous pourrions considérer que le « tableau de bord équilibré » de Kaplan et Norton constitue la réinvention, dans une perspective de pilotage et de contrôle des organisations, de la démarche d'aide multicritère à la décision initiée par Roy. Au-delà, cette démarche constitue une alternative rigoureuse à un certain nombre de méthodes du calcul économique et, en particulier, l'analyse coûts-avantages classique.

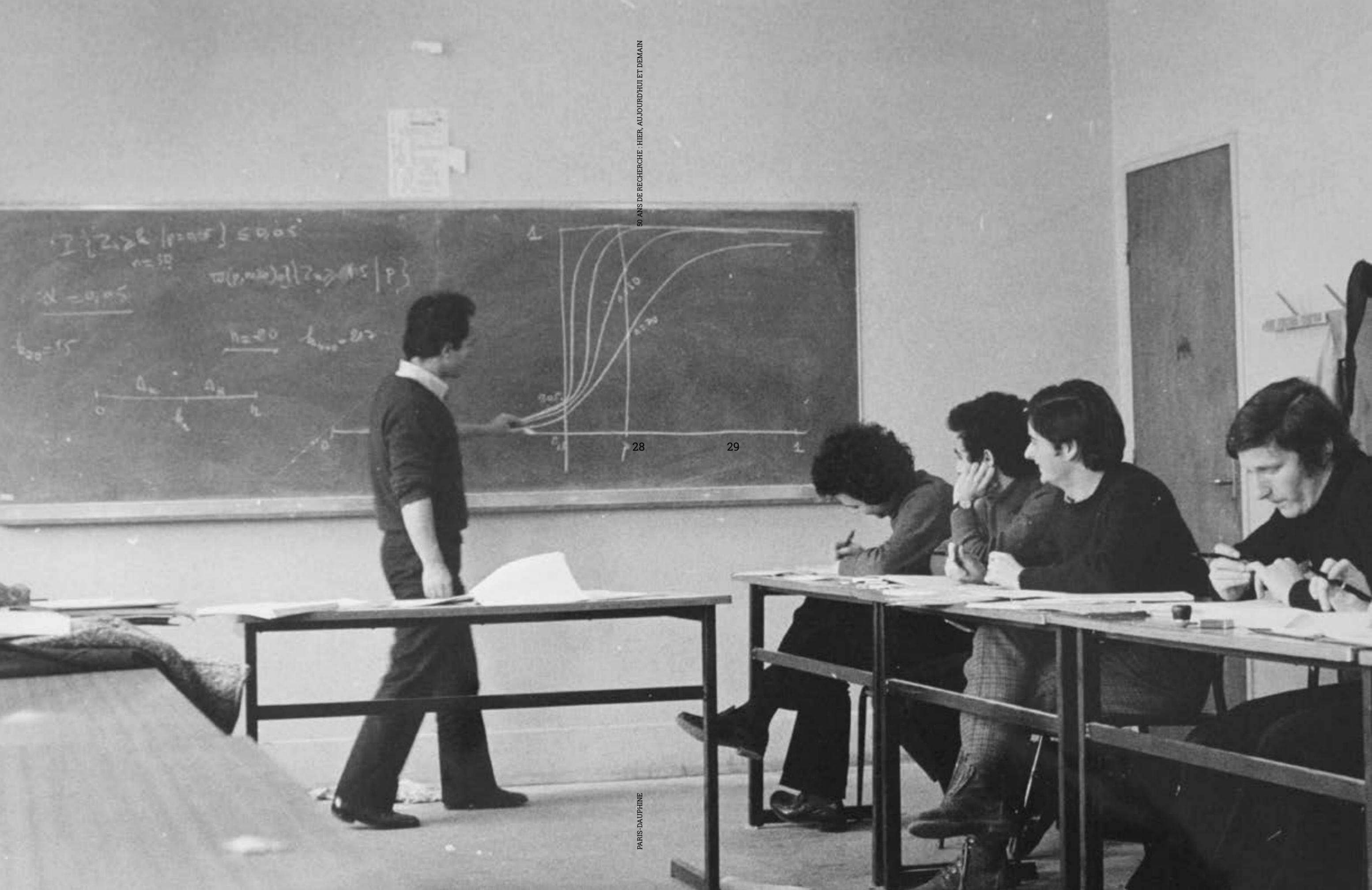
La seconde rupture proposée par Bernard Roy est celle consistant à renoncer à l'optimisation et à lui préférer la construction de solutions raisonnables plutôt que rationnelles au sens de Pareto : la rationalité étant, comme l'a montré Simon, limitée, c'est le processus de décision, et non seulement la décision elle-même, qui passe au premier plan : en d'autres termes, ce sont à la fois la validité et la légitimité des procédures retenues qui vont rendre acceptables et légitimes les choix proposés. Pour partie, cette rupture provient d'un refus de considérer le modèle comme acquis décrivant une réalité indépendante (Bernard Roy a défendu une posture constructiviste). Elle provient aussi du statut qu'il est possible de conférer aux données. Les données sont souvent imprécises ; elles traduisent une incertitude mais plus encore, elles sont mal déterminées et masquent des situations de préférence que les économistes classiques n'ont jamais su appréhender, telles que l'incomparabilité d'alternatives entre elles ou encore les situations d'hésitation entre l'indifférence et la préférence stricte.

La troisième rupture, et peut-être la plus importante, consiste à introduire une relation – la relation d'aide – dans des approches qui, au mieux, les gardaient implicites : aider seulement à décider peut sembler un recul, par rapport à la détermination d'une décision « optimale ». L'objectif semble plus modeste : il est en réalité beaucoup

plus sophistiqué. Introduire la notion d'aide, c'est inclure au cœur de la décision l'un des fondamentaux de la vie en société : la relation d'aide. Une fois validé le fait que l'aide se fait au service de certaines valeurs – toutes ne sont pas acceptables – la démarche d'aide à la décision, et en particulier dans sa composante « multicritère », prend une place beaucoup plus importante dans la structuration des débats organisationnels et sociétaux. Certains pays ont, d'ailleurs, rendu obligatoire l'utilisation de l'aide multicritère à la décision dans un certain nombre de processus de décisions publiques liés à l'environnement et l'aménagement du territoire.

On le voit, l'apport des travaux de Roy et de l'école d'aide à la décision qu'il a fondée dépasse largement le strict cadre des techniques de recherche opérationnelle et d'aide à la décision : ces travaux, tant sur leur versant technique que dans leur dimension organisationnelle et épistémologique, occupent une place centrale pour le management des organisations modernes et dans l'enseignement et la recherche en sciences de gestion.





Modélisation des préférences pour l'aide à la décision

Preference Modelling for Decision Aiding

We review the main directions of research explored by the members of LAMSADE on preference modelling. The aim is to develop tools allowing building convincing preference structures to be used in decision aiding contexts. These works include: the study of preference structures allowing for non-transitive indifference using one or several thresholds (semi-orders and their extensions), the study of preference structures allowing for hesitation (pseudo-orders and extensions), the study of valued preference structures and their properties, the study of preference structures explicitly modelling positive and negative arguments relative to a preference judgment (four-valued logic applied to preference modelling), the experimental study of preference structures with incomparability, the development of a theory of non-transitive conjoint measurement which gives a basis for the study of many ordinal aggregation methods.

↓ Des chercheurs venant d'horizons variés (économistes, mathématiciens, philosophes, chercheurs opérationnels, informaticiens, psychologues, etc.) ont abordé le thème de la modélisation des préférences. On ne s'en étonnera pas. Dès lors que l'on accepte l'idée que des décisions sont prises et que ces décisions ne sont pas indépendantes de goûts ou valeurs particuliers, s'intéresser à la modélisation des préférences semble inévitable. C'est l'un des domaines phare du LAMSADE.

Selon les disciplines, cette question sera abordée sous divers angles. Ainsi, un psychologue étudie le processus conduisant à la formation d'un jugement de préférence et les facteurs pouvant l'influencer. Un économiste s'intéresse à des modèles de préférence pour des participants à un marché permettant d'obtenir des résultats d'équilibre ou de statique comparative. Un philosophe englobe l'étude des préférences dans une interrogation plus générale sur la question de la rationalité. Un chercheur opérationnel développe des outils permettant, dans un contexte donné, d'aider un individu ou un groupe d'individus à prendre une décision et à l'argumenter. Cette perspective *prescriptive* est celle des travaux menés au LAMSADE. Il convient de la distinguer clairement de deux autres perspectives fréquemment rencontrées dans la littérature, même si ces diverses approches ont en commun divers concepts et outils :

- une perspective *normative*, souvent adoptée en économie, dans laquelle la question centrale est de savoir ce que signifie « agir rationnellement » dans un contexte donné et quels sont les modèles de préférence permettant d'atteindre cet objectif,
- une perspective *descriptive*, souvent adoptée en psychologie, plaçant au cœur de son analyse l'étude empirique de préférences observées au cours d'expériences et des phénomènes pouvant les influencer.

LA THÉORIE CLASSIQUE

Une série d'ouvrages fondamentaux publiés dans les années 1970¹ a consolidé un vaste ensemble de travaux menés dans l'après-guerre. Elle a donné corps à ce que l'on peut appeler la *théorie classique de la modélisation des préférences*. Cette théorie peut être schématiquement caractérisée par l'utilisation d'un langage particulier accompagné d'une syntaxe spécifique. On examine ci-après chacun de ces deux points.

Le langage

La plupart des travaux en modélisation des préférences prennent pour point de départ un ensemble X d'objets à comparer ou à évaluer (selon le contexte, cet ensemble pourra être fini, un ensemble de candidats postulant à un emploi, ou infini, un ensemble de paniers de biens supposés parfaitement divisibles). Considérons un couple (x, y) d'objets. Dans la théorie classique, on suppose qu'il ne peut y avoir que deux réponses possibles à la question *l'objet x est-il au moins aussi bon*

que l'objet y ? : oui ou non, ces deux réponses étant exclusives. Poser cette question pour tout couple d'objets amène alors à définir une relation binaire R sur X (c'est-à-dire un sous-ensemble de X^2), en posant : $x R y$ si et seulement si la réponse à la question *l'objet x est-il au moins aussi bon que l'objet y ?* est oui. En considérant une paire d'objets $\{x, y\}$, on sera alors confronté à une et une seule des quatre situations suivantes :

- $[x R y \text{ et } y R x]$, notée $x I y$, que l'on interprète comme x est indifférent à y ,
- $[\text{Non}(x R y) \text{ et } \text{Non}(y R x)]$, notée $x J y$, que l'on interprète comme x est incomparable à y ,
- $[x R y \text{ et } \text{Non}(y R x)]$, notée $x P y$, que l'on interprète comme x est strictement préféré à y ,
- $[\text{Non}(x R y) \text{ et } y R x]$, notée $y P x$, que l'on interprète comme y est strictement préféré à x .

Le langage de la théorie classique est donc celui des *relations binaires*.

La syntaxe

Au sein de la *théorie classique* l'utilisation du langage des relations binaires s'accompagne du recours à une syntaxe spécifique. En plus de la réflexivité de la relation R (que nous supposons toujours vérifiée dans la suite de ce texte), cette syntaxe impose que la relation R soit :

- complète ($\text{Non}(x R y)$ implique $y R x$) et
- transitive ($x R y$ et $y R z$ impliquent $x R z$).

Ces deux propriétés font de R un préordre complet. Elles entraînent de très nombreuses conséquences et, en particulier, que :

- il n'y a pas d'incomparabilité (J est vide),
- l'indifférence (I) est transitive,
- la préférence stricte (P) est transitive,
- l'indifférence et la préférence stricte se combinent simplement ($[x P y \text{ et } y I z$ impliquent $x P z]$ et $[x I y \text{ et } y P z$ impliquent $x P z]$).

Lorsque R est un préordre complet, l'indifférence est une relation d'équivalence (relation réflexive, symétrique et transitive) et l'ensemble des classes d'équivalence de I est totalement ordonné par P .

Problèmes classiques

Avec son langage et sa syntaxe, la théorie classique aborde un certain nombre de problèmes classiques. Par exemple, la manipulation d'une relation binaire est souvent fastidieuse dès lors que X contient un grand nombre d'objets. Représenter l'information véhiculée par R en utilisant des nombres peut permettre de

...

¹ Fishburn, P.C. (1970), *Utility Theory for Decision-making*, Wiley, New York. Keeney, R.L. et Raiffa, H. (1976), *Decisions with Multiple Objectives : Preferences and Value Tradeoffs*, Wiley, New York. Krantz, D.H., Luce, R.D., Suppes, P. et Tversky, A. (1971),

Foundations of Measurement, vol. 1 : *Additive and Polynomial Representations*, Academic Press, New York. Sen, A. (1970), *Collective Choice and Social Welfare*, Holden Day, San Francisco

...

simplifier cette manipulation, tout en autorisant l'utilisation de méthodes d'optimisation classiques. C'est la question de la *représentation numérique* d'une structure de préférence. Il est clair que la transitivité et la complétude de R sont des conditions nécessaires pour l'existence d'une fonction u de X dans l'ensemble des réels telle que, pour tout x, y dans X , on ait : $x R y$ si et seulement si $u(x) \geq u(y)$ (et donc $x I y$ si et seulement si $u(x) = u(y)$), $x P y$ si et seulement si $u(x) > u(y)$). Un résultat classique montre que cette condition nécessaire est également suffisante lorsque X est fini ou infini dénombrable.

Dans la théorie classique, la spécification du langage et de la syntaxe utilisée peut s'opérer indépendamment de la nature de l'ensemble des objets X . Dans de nombreuses situations, il est cependant naturel de supposer que la structure de X n'est pas quelconque. Ce sera par exemple le cas avec la *décision multicritère* où les éléments de X sont des vecteurs d'évaluations sur plusieurs dimensions, attributs ou critères. L'ensemble X a alors une structure de produit cartésien. Dans cette situation, il est tentant de particulariser la théorie classique en utilisant des conditions syntaxiques additionnelles pour tenter de tirer parti de la structure de X . Une condition naturelle est l'*indépendance mutuelle au sens des préférences*, impliquant que la préférence entre deux objets ne dépend pas d'évaluations communes sur un sous-ensemble d'attributs. Lorsque cette condition syntaxique additionnelle est appliquée à des ensembles d'objets *suffisamment riches*, on obtient alors le célèbre modèle des *fonctions de valeurs additives* qui est central en théorie du mesurage conjoint. Il est alors possible de bâtir une représentation numérique de R de manière additive en utilisant des techniques bien connues.

CHANGER DE SYNTAXE, CHANGER DE LANGAGE

Le fait que la comparaison de nombres demande des précautions est un thème classique en physique (du fait de l'imperfection des appareils de mesure) et en statistique (du fait de l'observation d'un échantillon et non de la population). Il en va de même en aide à la décision. Considérons deux objets x et y sur lesquels on a obtenu des notes d'experts dont on a fait une moyenne. Si la moyenne des notes pour x dépasse celle obtenue pour y mais que l'écart est *petit*, on peut vouloir conclure que la différence entre x et y n'est pas significative et que ces deux objets sont, en fait, indifférents. Mais alors l'indifférence ne peut plus être transitive : le cumul d'écarts non significatifs peut, lui, devenir significatif. La première formalisation de ce phénomène est due à R. Duncan Luce avec la structure dite de *semi-ordre*. Dans cette structure, qui généralise celle de préordre complet, l'indifférence n'est plus nécessairement transitive. Chaque objet est représenté par un intervalle et l'objet x est préféré à l'objet y si l'intervalle correspondant à l'objet x est entièrement à la droite de l'intervalle correspondant à l'objet y . Il y a indifférence si les deux objets se chevauchent. Le cas des semi-ordres correspond au cas d'intervalle de

longueur constante, mais il est clair que l'on peut vouloir s'affranchir de cette hypothèse. Le LAMSADE a largement contribué à l'étude de ces structures de préférence à seuil qui généralisent celle de préordre complet : semi-ordres, ordres d'intervalle, bi-ordres, etc. En effet, les méthodes multicritères, essentiellement ordinales, développées au LAMSADE (méthodes ELECTRE) rendent crucial le fait de bâtir sur chaque critère des situations d'indifférence et de préférence stricte qui soient probantes.

Le modèle classique suppose qu'à la question *l'objet x est-il au moins aussi bon que l'objet y* il n'y ait que deux réponses possibles : *oui* ou *non*. C'est une hypothèse restrictive. En supposant que les préférences prennent appui sur une note moyenne attribuée par des experts aux divers objets, on passe brutalement de l'indifférence (écart nul) à la préférence stricte (écart non nul) dans le modèle du pré-ordre complet. Mais cette transition abrupte est également à l'œuvre dans le modèle du semi-ordre autour du seuil constant. En particulier, le langage classique ne tolère pas les hésitations. Le LAMSADE a contribué largement au développement de langages alternatifs pour la modélisation des préférences. En particulier, ont été développés, des modèles où la transition entre l'indifférence et la préférence stricte n'est plus abrupte, laissant place à une zone d'hésitation. C'est le modèle du pseudo-ordre qui utilise deux seuils et qui se généralise naturellement au cas de seuils multiples. Passer d'un seuil à plusieurs seuils ouvre alors naturellement sur l'étude des relations valuées. Notons enfin que les structures tolérant l'hésitation, si elles sont naturelles, ne se laissent pas facilement formaliser dans le cadre de la logique classique. Le LAMSADE a ainsi contribué à développer l'usage de logiques non classiques pour la modélisation des préférences. Ceci a conduit au développement de structures de préférence où sont modélisées à la fois les raisons positives et les raisons négatives militant en faveur d'un jugement de préférence. Enfin, des travaux empiriques sur la question de l'incomparabilité et ses rapports avec l'agrégation de critères en conflit ont été menés.

Le LAMSADE a largement contribué au développement de méthodes multicritères originales : les méthodes ELECTRE. Celles-ci reposent sur des considérations essentiellement ordinales. Elles n'échappent donc pas aux difficultés liées au théorème d'Arrow (celui-ci montrant, dans le cadre de la théorie du vote, la difficulté qu'il y a à agréger l'opinion de divers électeurs lorsque ceux-ci expriment leur opinion de manière ordinaire, par exemple en donnant leur ordre de préférence sur les candidats) et sont susceptibles de conduire à des structures de préférence où, non seulement la relation d'indifférence n'est pas transitive, mais où la relation de préférence stricte elle-même n'est pas transitive et peut comporter des circuits. On a longtemps pensé que ces structures exotiques n'étaient pas susceptibles d'une analyse formelle. Ce n'est pas exact. Nous avons développé une *théorie du mesurage*

...

Denis Bouyssou
Brice Mayag
Meltem Öztürk

...

conjoint non transitif qui permet une classification des divers types de structures de préférence (transitives ou non transitives, complètes ou non complètes) susceptibles d'être rencontrées en aide multicritère à la décision. Elles permettent ainsi d'entrevoir une théorie générale du mesurage conjoint indépendamment de la théorie classique et, ainsi de donner un fondement théorique aux méthodes de type ELECTRE.

Les travaux sur le domaine se poursuivent actuellement. En particulier, en lien avec les travaux du laboratoire en intelligence artificielle, nous développons des recherches en apprentissage de données de préférence ainsi que sur la représentation compacte de structures de préférence.



34

50 ANS DE RECHERCHE : HIER, AUJOURD'HUI ET DEMAIN



35

PARIS-DAUPHINE

Aide multicritère à la Décision

Multiple Criteria Decision Making

Multicriteria Decision Aid aims at helping a Decision-Maker to select one or more alternatives among several alternatives evaluated on criteria often contradictory. It stills one of the important research subjects of the laboratory LAMSADE since its foundation in 1974 by Bernard Roy (1934-2017). The LAMSADE has developed an original conception of decision support and has proposed original Multicriteria Decision Aid methods named ELECTRE (Élimination Et Choix Traduisant la Réalité). Compared to the classic Multiattribute utility methods, these methods are based on the concept of outranking relations strongly related to the notions of voting rules.

↓ L'Aide Multicritère à la Décision est sans conteste l'une des thématiques de prédilection du Laboratoire d'Analyse et Modélisation des Systèmes d'Aide à la Décision (LAMSADE) depuis sa création en 1974. Bernard Roy (1934-2017) rejoint l'Université Paris-Dauphine et crée le LAMSADE après une carrière de consultant à la SEMA. Sa vision de l'Aide à la Décision et de la recherche opérationnelle a été très influencée par sa carrière de consultant. Pour traiter des problèmes réels complexes, on est amené à manipuler des données entachées d'imprécision, d'incertitude et de mauvaise détermination au sein de processus de décision complexes faisant intervenir des acteurs multiples. Ceci a amené Bernard Roy à développer une conception originale de l'aide à la décision et à proposer des méthodes multicritères originales. Sa conception de l'aide à la décision est résumée dans la définition suivante¹ :

L'aide à la décision est l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponse aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à recommander, ou simplement à favoriser, un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part.

Le processus d'Aide à la Décision qui se crée met en scène au moins deux acteurs : le décideur et l'analyste. Le premier a la responsabilité du choix final de la « meilleure » solution au problème. Il peut intervenir tout le long du processus en donnant ses préférences, en émettant des avis et autres souhaits. L'analyste quant à lui facilite le processus d'aide à la décision par une approche rigoureuse du problème. Les recommandations qu'il fournit ne sont pas une « décision ultime » mais un simple « éclairage », une « aide à la décision ». C'est en cela que le terme Aide à la Décision, « *Decision Aiding* », issu de la philosophie Lamsadienne et souvent présenté comme l'École Européenne d'Aide à la Décision, diffère de celui de Prise de Décision, « *Decision Making* », communément utilisé dans les pays anglo-saxons.

En prenant en compte plusieurs points de vue ou critères, souvent contradictoires, le décideur peut être confronté à diverses problématiques d'aide à la décision :

- *Choix* : comment choisir la (ou les) « meilleures » actions ?
- *Rangement* : comment ranger les actions de la « meilleure » à la « moins bonne » ?
- *Tri* : comment affecter les actions à des catégories ordonnées et prédéfinies ?

LES MÉTHODES D'AIDE MULTICRITÈRE À LA DÉCISION

Les premières méthodes d'Aide Multicritère à la Décision apparaissent dans les années soixante. On peut schématiquement les classer en deux catégories² :

¹ Bernard Roy, « Méthodologie multicritère d'aide à la décision », *Economica*, 1985

² Bouyssou D., Marchant Th., Tsoukiàs A. et Pirlot M., *Evaluation and Decision Models : a Critical Perspective*, Kluwer Academic, 2000

Les méthodes de surclassement, aussi appelées méthodes de comparaison par paires. Elles ont pour objectif de construire une relation binaire appelée relation de surclassement sur l'ensemble des actions et de l'exploiter dans la problématique d'aide à la décision envisagée.

La relation de surclassement est, en général, construite en utilisant un principe de concordance et de non discordance. Pour affirmer qu'une action *a* est au moins aussi bonne qu'une action *b*, il faut qu'une majorité suffisante de critères appuie cette affirmation (concordance) et que l'opposition des autres critères ne soit pas trop forte (non discordance).

Utiliser une méthode de surclassement présente de nombreux avantages :

- On peut utiliser des critères de nature variée sans avoir à recoder les valeurs sur une échelle commune.
- On peut limiter les phénomènes de compensation entre critères : par exemple une très bonne rentabilité ne pourra pas toujours compenser un manque de sécurité.
- On peut différencier l'indifférence (les deux actions sont très proches en termes de préférence) de l'incomparabilité (les deux actions sont difficilement comparables dans l'état actuel de mon information).
- On peut utiliser des seuils (de préférence, d'indifférence) afin de pallier la mauvaise qualité des données utilisées pour bâtir les critères.

Les méthodes ELECTRE (Élimination Et Choix Traduisant la Réalité), nées au LAMSADE, sont les méthodes les plus connues des méthodes de surclassement. Elles sont nombreuses :

- ELECTRE I : 1968 (Choix),
- ELECTRE II : 1972 (Rangement),
- ELECTRE III : 1978 (Rangement et Seuils),
- ELECTRE IV : 1982 (Méthodes n'utilisant pas de poids),
- ELECTRE TRI : 1992 (Tri avec profil limite),
- ELECTRE TRI C : 2010 (Tri avec profil central),
- ELECTRE TRI nC : 2013 (Tri avec profils centraux),
- ELECTRE TRI nB : 2017 (Tri avec profils limite).

Les logiciels mettant en œuvre ces méthodes sont désormais en accès libre sur le site internet du LAMSADE (<https://www.lamsade.dauphine.fr>).

Les méthodes dites de l'utilité multiattribut, aussi appelées méthodes à base de scores. Le principe est ici de représenter numériquement les préférences du décideur. Les méthodes fondées sur une utilité additive, dont la somme pondérée, en sont des exemples. Ces méthodes nécessitent un codage numérique qui est parfois délicat à mettre en œuvre de façon probante.

L'apprentissage et l'élicitation des fonctions d'utilités additives est un sujet de recherche au LAMSADE depuis les années 1980. Éric Jacquet-Lagrèze et Yannis Siskos³ (tous deux alors au LAMSADE) ont été un des premiers à mettre en place une approche d'élicitation fondée sur la

³ E. Jacquet-Lagrèze et Y. Siskos, "Assessing a set of additive utility functions for multicriteria decision making : the UTA method", *European Journal of Operational Research*, 10 :151-164, 1982

...

programmation mathématique. Leur méthode UTA, conçue pour des problèmes de rangement a été une source d'inspiration pour de nombreux chercheurs qui ont largement étendu et généralisé l'approche initiale. Leur technique dite d'agrégation/désagrégation a été également utilisée pour l'élaboration des versions d'UTA dédiées à des problèmes de Tri ou de rangement avec l'introduction de relations nécessaires et possibles. Cette approche reste, de nos jours, très utilisée pour l'apprentissage des paramètres décisionnels de différentes méthodes d'Aide Multicritères à la Décision.

La prise en compte des dépendances ou interactions ou encore des synergies entre critères de décision est aussi un centre d'intérêt pour le LAMSADE. Ces aspects sont modélisés par des fonctions d'agrégation non additives tels l'intégrale de Choquet ou Sugeno. L'apprentissage des paramètres de ces modèles complexes a donné lieu à des publications impliquant des chercheurs du LAMSADE.

Pour mettre en valeur les méthodes d'Aide Multicritère à la Décision, un groupe de laboratoires universitaires Européens dont fait partie le LAMSADE, a mis en place une plateforme *opensource* (en accès libre) d'outils d'Aide Multicritère à la Décision appelée *Decision Deck* (<https://www.decision-deck.org/project/>).

Notons enfin que le LAMSADE a toujours tenu à mettre à l'épreuve du réel les modèles qu'il développe. Il a ainsi été impliqué dans des applications qui ont concerné des domaines variés : agriculture, foresterie, énergie, environnement, gestion de l'eau, finance, transport, etc.⁴

PERSPECTIVES

L'Aide Multicritère à la Décision continue à intéresser les chercheurs du LAMSADE. Les travaux en cours portent sur différents aspects :

- la conception de nouvelles versions des méthodes ELECTRE,
- le développement de techniques d'élicitation efficace utilisant des exemples d'apprentissage,
- le développement de systèmes d'argumentation permettant d'expliquer les recommandations faites. Par exemple, on envisage ainsi d'expliquer automatiquement les résultats d'algorithmes de décision qui prennent actuellement une grande place dans nos travaux et notre vie quotidienne.

Suite à sa création, le LAMSADE est devenu un lieu central de réflexion sur l'Aide à Décision en France et plus largement, par le biais du groupe de recherche européen créé en 1975 par Bernard Roy. Celui-ci se réunit deux fois par an depuis 1975. À ce jour, il rassemble près de 300 chercheurs et sa 88^e réunion s'est tenue en septembre 2018 à Lisbonne au Portugal⁵.

⁴ Voir les références dans J. Figueira, V. Mousseau et B. Roy. ELECTRE methods. In J. Figueira, S. Greco, and M. Ehrgott, editors, *Multiple Criteria Decision Analysis : State of the Art Surveys*, p. 133-162, Springer Verlag, Boston, Dordrecht, London, 2005.

⁵ <http://www.cs.put.poznan.pl/ewgmcda/>



Couvrir l'espace entre Recherche opérationnelle et Informatique fondamentale : l'Optimisation combinatoire

Bridging the Gap between Operations Research and Theoretical Computer Science: the Combinatorial Optimization

From 1992 until 2007, the main activity of the research team Combinatorial Optimization of the LAMSADE laboratory was focused on the intersection of Theoretical Computer Science and Complexity Theory to design efficient algorithms via intensive research in the domains of Polynomial Approximation Algorithms, Exact Algorithms with Non-trivial Worst-case Complexity and Dynamic Models for Combinatorial Optimization. In 2007, the renew of the team has added new Combinatorial Optimization fields to LAMSADE around fundamental aspects of Mathematical Programming as well as aspects of Structural Graph Theory, and their relationships with Mathematical Programming. The Combinatorial Optimization team is composed of two research teams: Algorithms with Performance Guarantees and Mathematical Programming and Discrete Structures. This chapter describes the evolution and the scientific advances made by the research team Combinatorial Optimization from 1992 until today.

↓ L'Optimisation Combinatoire (OC) comme thème de recherche existe au LAMSADE depuis la création du laboratoire en 1974. Jusqu'à 1992, cette thématique était centrée sur l'étude et la validation numérique des méthodes intérieures, pour la résolution de problèmes de programmation linéaire en temps polynomial. En 1992, l'arrivée d'une nouvelle équipe dans le domaine scientifique de l'Algorithmique à garanties de performance et des Mathématiques Discrètes a fait évoluer ce thème vers l'Informatique Théorique en ajoutant une composante orientée vers la Théorie de la Complexité Algorithmique et la résolution efficace des problèmes combinatoires. En 2007, le renouvellement de l'équipe de la Programmation Mathématique (PM) a conduit à réorienter son activité vers des aspects plus fondamentaux de la PM, tout en préservant l'intérêt pour les applications. Voici quelques points forts de notre activité depuis 1992.

RÉSOLUTION EXACTE ET APPROXIMATION DES PROBLÈMES NP-COMPLETS

Il est bien connu que tout problème NP-complet admet des algorithmes de résolution dont la complexité est exponentielle. Jusqu'à très récemment, la quasi-totalité de ces algorithmes était basée sur la recherche exhaustive ou sur la technique de *branch-and-bound*. La première donne de très mauvais résultats de complexité au pire des cas, tandis que pour la deuxième on ne sait pas faire une évaluation non-triviale de sa complexité au pire des cas. Il y a presque 16 ans, un programme de recherche s'est développé sur la conception de techniques de résolution exacte des problèmes NP-complets garantissant des complexités au pire des cas certes exponentielles, mais non-triviales. L'équipe du LAMSADE a très rapidement rejoint ce courant de recherche. En particulier, le résultat produit par l'équipe sur la complexité exacte du MAX INDEPENDENT SET est resté jusqu'à très récemment inégalé.

À défaut de résolution exacte, on se tourne généralement vers des approximations typiquement polynomiales : étant donné un problème NP-difficile Π , sommes-nous capables de concevoir un algorithme polynomial qui, même s'il ne trouve pas la solution optimale pour Π , garantit une bonne solution pour toute instance I de Π , la qualité d'une solution étant mesurée par une mesure appelée *rapport d'approximation*.

Depuis 1992, une grande partie des travaux de l'équipe AGaPe du LAMSADE porte sur l'approximation polynomiale des problèmes paradigmatiques de ce domaine, tant du point de vue opérationnel que structurel. L'approximation de problèmes très paradigmatiques d'OC a été étudiée et certains résultats obtenus par le LAMSADE restent encore les meilleurs connus.

Mais, le plus gros du travail de l'équipe a porté sur le point de vue structurel. Il est bien connu qu'une preuve de NP-complétude d'un nouveau problème Π se base sur une réduction polynomiale d'un problème déjà connu comme étant NP-complet à Π . La plupart de ces réductions préservent l'optimalité mais pas la qualité

d'approximation. Nous avons essayé de concevoir de nouvelles réductions polynomiales qui préservent à la fois l'optimalité mais aussi la qualité d'approximation polynomiale entre les problèmes impliqués.

Ces travaux ont mis en évidence un problème qui, curieusement, n'avait pas été remarqué par la communauté scientifique. *Le rapport classique d'approximation tel qu'il est défini n'est pas stable sous une transformation simple de la fonction objectif d'un problème, la transformation affine*. Une grande partie de travaux de l'équipe a été orienté vers la définition et la validation d'une nouvelle théorie d'approximation polynomiale, appelée *approximation différentielle*, une théorie dont les résultats sont le plus souvent très différents de ceux de l'approximation classique. Ce travail avait deux volets principaux : la validation de la nouvelle théorie en produisant des résultats d'(in)approximabilité pour des problèmes NP-complets paradigmatiques, et la définition d'un paysage de sous-classes de la classe NP-complet par rapport à l'(in)approximabilité des problèmes de chacune de ces sous-classes.

Nous savons aujourd'hui que la plupart des problèmes paradigmatiques NP-complets de l'OC sont hautement inapproximables en temps polynomial. D'un autre côté, les développements récents dans le domaine de la résolution exacte donnent lieu à des algorithmes qui sont certes exponentiels mais avec complexités au pire des cas qui sont assez basses. La question que nous nous sommes posée en 2006, était donc : *peut-on combiner des techniques de la résolution exacte avec celles de l'approximation polynomiale pour obtenir des rapports interdits en temps polynomial mais obtenus en un temps exponentiel beaucoup plus court que celui de la résolution exacte ?* Le traitement de cette question a donné lieu à la naissance du programme de recherche sur *l'approximation super-polynomiale* dont le LAMSADE est l'initiateur au niveau mondial. De nouvelles techniques d'approximation, adaptées à ce contexte, ont été proposées et plusieurs problèmes très connus ont été traités dans ce cadre.

Les outils de l'approximation à garantie de performance s'étendent à des domaines hors de l'informatique tels que le choix social ou la théorie des jeux. Des agents ou joueurs expriment des coûts individuels vis-à-vis des solutions d'un problème de décision collective (ex. placement ou partage de ressources, élection de représentants, routage de trafic, etc.). L'agrégation de ces coûts définit une fonction dite de *coût social* que l'on peut chercher à optimiser de façon centralisée. Par ailleurs, dans le cadre de la théorie des jeux algorithmique, les agents agissent de façon autonome et dans leur propre intérêt. Les décisions de ces agents conduisent, en général, à une solution stable, c'est-à-dire un état où aucun agent n'a pas intérêt à dévier (ex. équilibre de Nash), et rendant compte de l'état du système. On s'intéresse d'une part à étudier le temps de convergence pour atteindre un état stable, et d'autre part à borner le prix de l'anarchie, rapport entre le coût

...
social d'un état stable et celui d'un état qui minimiserait le coût social.

MODÈLES DYNAMIQUES D'OPTIMISATION COMBINATOIRE

Considérons une instance I d'un problème Π , une solution S pour I (appelée solution *a priori*), une sous instance I' de I , et un algorithme M (appelé stratégie de modification) qui transforme S en une solution réalisable pour Π sur I' . Soit $SOL(S, M, I')$ la valeur de la solution calculée par application de M sur S et $Pr[I'] = \prod_{i \in I'} p_i \prod_{i \in V \setminus I'} (1 - p_i)$ la probabilité que la sous instance I' soit présente. L'objectif est d'optimiser la quantité : $E(I, S, M) = \sum_{I' \in \mathcal{I}} SOL(S, M, I') \cdot Pr[I']$ (appelée *functional*). Il faut noter que, dans ce cadre, il est possible que des problèmes combinatoires polynomiaux deviennent NP-complets.

Quand le LAMSADE a commencé à travailler sur ce modèle d'Optimisation dynamique, très peu de problèmes étaient déjà étudiés dans ce cadre et le cadre lui-même n'était pas formellement défini. Le travail de l'équipe du LAMSADE a consisté à créer un cadre formel pour ce modèle dynamique et à traiter de nombreux problèmes d'OC par cette approche.

Considérons maintenant un problème combinatoire Π et supposons qu'une instance I de Π n'est pas connue à l'avance mais qu'elle se révèle donnée par donnée. Par exemple, si I est un graphe, il se révèle sommet par sommet : à l'arrivée de chaque sommet les arêtes qui le lient aux sommets déjà révélés se révèlent aussi. Il faut résoudre Π en décidant de manière définitive si l'on va inclure ou non dans la solution la donnée qui vient d'arriver, cette décision étant définitive est irrévocable. La qualité de la solution est mesurée par le *rapport de compétitivité* défini comme le rapport entre la valeur de la solution construit par l'algorithme et la valeur optimale de l'instance finale. Une contribution majeure de l'équipe dans ce domaine est la proposition des deux modèles alternatifs beaucoup plus naturels que le modèle originel. Dans le premier, l'instance n'arrive pas par données individuelles mais par sous-instances ; dans le deuxième, on s'accorde le droit de changer les décisions déjà prises mais en payant une *amende*, l'objectif à optimiser est la valeur d'une solution pondérée par les *amendes*.

Le LAMSADE a également étudié de près plusieurs problèmes combinatoires très connus liés à la réoptimisation : étant donné une instance I d'un problème combinatoire Π , une solution optimale S pour Π dans I , une instance I' résultant d'une série de modifications de I (ex. insertion ou suppression de données), peut-on en temps polynomial transformer S en une bonne solution pour Π sur I' ?

En programmation mathématique, nos recherches se concentrent sur l'identification et la mise à profit des méthodes innovantes de décomposition et de reformulation en optimisation combinatoire. L'idée principale est d'exploiter les structures des problèmes

afin de tirer parti des principes de reformulation et de décomposition pour résoudre des problèmes de décision qui sont à la fois généraux, importants et pratiques. Nos principaux résultats concernent la décomposition automatique de Dantzig-Wolfe. Cette décomposition est bien connue pour fournir de fortes bornes duales pour les programmes linéaires en nombres entiers mixtes (MIP) structurés. Cependant, la méthode n'est pas implémentée dans les solveurs MIP commerciaux comme CPLEX ou GUROBI, car elle est considérée comme nécessitant une connaissance structurelle des problèmes et une adaptation à cette structure. Nous avons donc fourni une *proof of concept* computationnelle montrant que cette reformulation peut être automatisée. Nous avons réalisé une étude expérimentale rigoureuse, qui a abouti à l'identification d'un score pour estimer la qualité d'une décomposition : après avoir construit un ensemble de décompositions potentiellement *bonnes*, nous avons exploité ce score pour identifier les décompositions qui pourraient être utiles pour la reformulation automatique de Dantzig-Wolfe. Nos résultats montrent qu'une reformulation automatique de Dantzig-Wolfe est plus prometteuse en tant qu'outil à usage général que ce que la communauté de recherche croyait auparavant. En outre, nous avons développé plusieurs algorithmes exacts pour des problèmes de *packing*, *covering* et décomposition de graphes, qui sont maintenant les méthodes de référence dans la littérature.

Enfin, du point de vue de la modélisation mathématique, le problème du stable (ou clique par complémentarité, et celui de la coloration par dualité) se traduit par un programme linéaire en 0-1 basé sur la bijection entre l'ensemble des stables du graphe et l'ensemble des vecteurs, ayant une composante 0-1 par sommet, satisfaisant les contraintes linéaires dites de clique, à savoir que, pour chaque clique, la somme des composantes du vecteur est inférieure ou égale à 1. On ne peut pas résoudre ce programme linéaire en 0-1, puisque stable est un problème NP-complet, sauf dans la sous-classe des graphes dits parfaits. Nous avons montré qu'il est toujours possible de supprimer des arêtes du *line-graph* du graphe complémentaire pour obtenir une bijection entre l'ensemble de tous les stables de ce graphe avec l'ensemble de toutes les colorations du graphe de départ. Ce nouvel outil de théorie des graphes permet de renforcer la qualité de la relaxation basée sur la fonction Θ de Lovász pour la coloration, et celle de la relaxation linéaire pour la clique. De plus, il peut s'appliquer à plusieurs classes de problèmes de l'OC.



Les versions de bases de données

The Database Version Approach

In 1990, W. Cellary and G. Jomier proposed the Database Version (DBV) approach, which allows to manage multiversion databases - those in which several versions of a set of data items coexist. Ever since, its model, theory and algorithms have been adopted in a multitude of research initiatives and publications, and have been applied to a variety of applications, in particular those in which there is a need for keeping track of parallel or (spatio)-temporal evolution of states of the world. This article presents an overview of the DBV approach, and some of the associated research initiatives throughout three decades, pointing out new potential directions. It has been written in tribute to Geneviève Jomier, Prof. Emeritus of The University Paris-Dauphine, who left us in March 2018.

↓ Cet article décrit une partie des travaux de recherche de Geneviève Jomier, Professeur Émérite de l'Université Paris-Dauphine. Il aurait dû être écrit par Geneviève. Mais la vie en ayant décidé autrement, nous l'avons rédigé pour elle.

En 1990, W. Cellary et G. Jomier proposaient un modèle novateur en informatique, le modèle des *Versions de Bases de Données*² (VBD).

Une base de données est une collection de données, organisées pour être accessibles et modifiables, ayant des liens de cohérence entre elles. Par exemple, une base de données d'une agence bancaire stocke des données sur les clients (leurs coordonnées) et leurs comptes en banque (les types de comptes, leur solde et les opérations effectuées sur ces comptes). Classiquement, une base de données est *monoversion* : elle ne représente qu'un état de l'univers modélisé ; chaque donnée y a une seule valeur.

Dans l'approche des VBD, une *base de données multiversion* regroupe plusieurs états du monde, ces états pouvant être des variantes, ou des évolutions dans le temps de l'univers modélisé. Chaque donnée a, dans ce cas, plusieurs versions, la valeur de la donnée changeant d'une version à une autre. Chaque *Version de Base de Données* représente un état cohérent du monde modélisé ou une configuration.

La Figure 1 donne un exemple simplifié d'une base de données multiversion dont les données (la photo, les coordonnées, les paragraphes décrivant la formation et les expériences professionnelles) modélisent le contenu d'un Curriculum Vitae (CV). La base contient 4 VBD, identifiées de v_1 à v_4 , chacune correspondant à une version du CV. La VBD v_2 a été créée à partir de v_1 en ajoutant une photo N&B et en étoffant la partie expériences professionnelles ; elle correspond à la version longue du CV, la VBD v_1 correspondant à la version courte. La VBD v_3 a été créée à partir de v_2 , en modifiant la photo N&B en couleur. La VBD v_4 , créée à partir de v_1 , correspond à la version anglaise du CV.

Une VBD est identifiée par un identificateur nommé v . Une *donnée multiversion* est associée à un identificateur immuable, d , permettant d'identifier de manière unique la donnée. Une VBD contient exactement une *version logique* de chaque donnée multiversion. Une version logique possède un identificateur et une valeur. L'identificateur de la version logique de la donnée d_j dans une VBD v_i est le couple (d_j, v_i) .

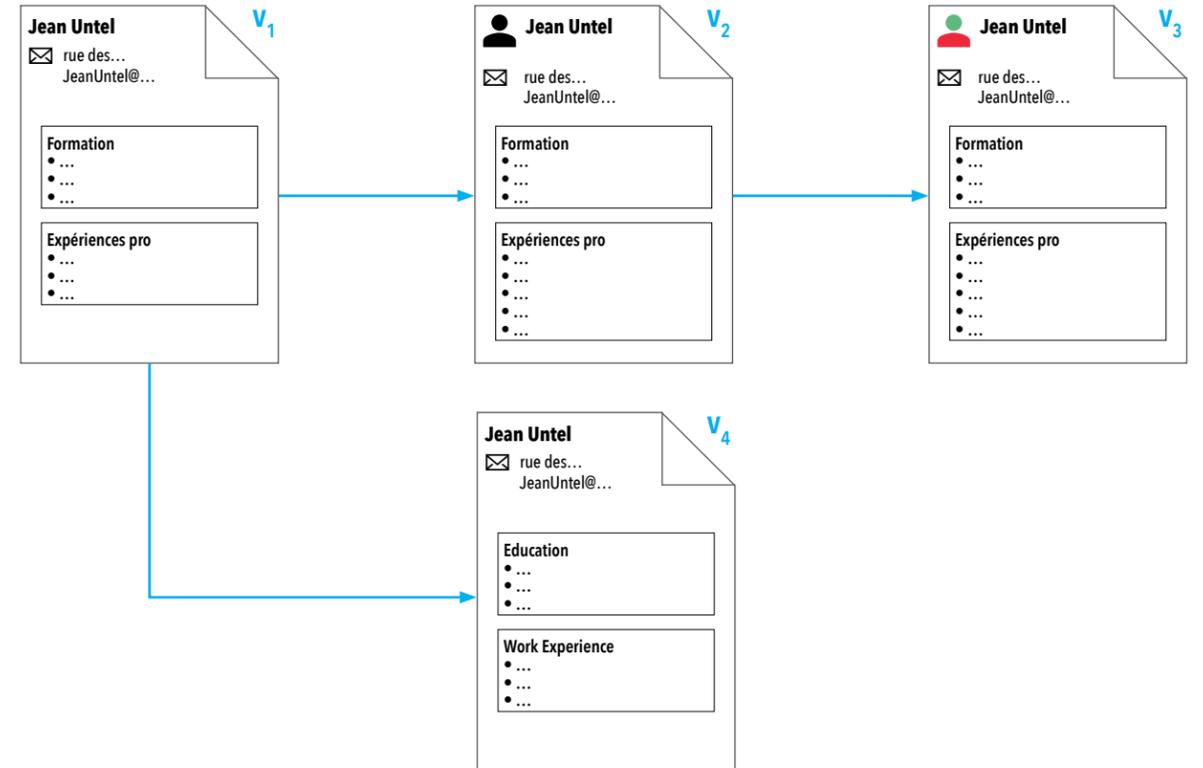
Une VBD est créée par dérivation d'une VBD existante, i.e. par copie logique. Après dérivation il est possible de mettre à jour la valeur d'une donnée dans une VBD. Les liens de dérivation entre les VBD sont enregistrés dans un arbre de dérivation.

On peut distinguer deux niveaux d'une base de données multiversion : le niveau logique (ce que voit l'utilisateur) et le niveau physique (ce qui est réellement stocké). Au niveau physique, les versions logiques, qui partagent la

¹ T. Abdesslem (Institut Mines - Télécom), C. Bauzer-Medeiros (IC - UNICAMP - Brésil - Dr Honoris Causa Paris-Dauphine), W. Cellary (Poznan University of Economics - Pologne), M. Manouvrier (LAMSADE, PSL, Paris-Dauphine), M. Rukoz (LAMSADE, PSL, Paris-Dauphine) et M. Zamfiriou (LAMSADE, PSL, Paris-Dauphine).

² Cellary W. & Jomier G., *Consistency of Versions in Object-Oriented Databases*, Int. Conf. On Very Large Data Bases, 1990, vol. 90, pp. 432-441

Figure 1
Un exemple de *curriculum vitae* multiversion.



même valeur val dans plusieurs VBD, partagent la même version physique, contenant la valeur val . Une table d'association fait le lien entre chaque version logique (d,v) et la version physique p associée qui contient la valeur val . Lorsqu'une donnée n'existe pas dans une VBD, sa valeur est \perp , signifiant « n'existe pas ».

La Figure 2 représente le niveau physique de la base multiversion de la Figure 1. La table d'association de la « section Formation » indique que la version physique, explicitement associée à la VBD v_1 , est implicitement partagée par les VBD v_2 et v_3 . La version anglaise est en revanche explicitement associée à v_4 . La table d'association de la photo montre que celle-ci n'existait pas dans la VBD v_1 (sa valeur est \perp), et donc implicitement dans la VBD v_4 , puis qu'elle est apparue en N&B dans la VBD v_2 , et est devenue en couleur dans la VBD v_3 .

Le modèle des VBD permet de gérer des mises à jour conflictuelles, effectuées en simultané par différents utilisateurs, ainsi que la cohérence des données, i.e. la satisfaction par les données de contraintes non contradictoires. Dans le cadre de thèses de doctorats³, encadrées par G. Jomier, en particulier à l'Université Paris-Dauphine, ce modèle a donné lieu à plusieurs généralisations : une formalisation et des outils de

...

manipulation, un langage d'interrogation (pour sélectionner des données ou des versions vérifiant certains critères de recherche), ainsi que des mécanismes d'indexation (pour accélérer les recherches) et des stratégies de stockage (pour éviter la redondance due au versionnement).

Le modèle des VBD est générique et a été appliqué à plusieurs types de données, qu'il s'agisse d'images, de documents ou de données spatio-temporelles.

Dans le cadre d'une coopération internationale avec l'équipe de C. Medeiros de l'Université de Campinas (Unicamp) au Brésil, le modèle des VBD a été utilisé pour gérer des données spatio-temporelles. Pour ce type de données, il est nécessaire de proposer des mécanismes de gestion multi-échelle, un objet pouvant apparaître ou disparaître, être agrégé ou non, selon l'échelle (spatiale ou temporelle) des données. La gestion du changement climatique nécessite par exemple la collaboration de scientifiques qui étudient le monde à de multiples échelles spatiales et temporelles, et à partir de différentes perspectives. Les études (et l'objectif de la recherche) varient du grand (climat mondial) au petit (microclimat) au plus petit (par exemple, effets des micro-organismes sur l'environnement). Ceci, à son tour, se traduit par un scénario de recherche très hétérogène qui doit faire face à une grande variété de sources de données, de dispositifs de collecte, des méthodologies, des modèles et des besoins de visualisation, et donc d'énormes défis d'interopérabilité. Le modèle des VBD permet de construire un environnement de recherche collaborative, dans lequel des groupes de scientifiques peuvent travailler sur des aspects distincts d'un scénario donné.

Dans le cadre d'une coopération internationale avec l'équipe de M. Rukoz de l'Université Centrale du Venezuela, le modèle a été adapté à la gestion d'images issues du traitement d'images. Le traitement d'image est un processus itératif d'essais et d'erreurs : pour améliorer la qualité d'image ou la détection des informations contenues dans une image, plusieurs opérations ou séries d'opérations peuvent être appliquées à l'image entière ou à des parties bien choisies, créant des nouvelles images résultat. Tout au long du processus, les images créées doivent être sauvegardées, permettant ainsi de démarrer une nouvelle séquence d'opérations, à partir d'une image intermédiaire. Pour minimiser l'espace mémoire occupé par l'ensemble d'images et accélérer les opérations de traitement d'image, une structure basée sur l'approche VBD a été proposée, une image correspondant dans ce cas à un VBD et, les parties traitées de l'image, aux données versionnées. Plus qu'une simple structure de stockage, cette structure permet aux utilisateurs d'extraire facilement une ou plusieurs images et de travailler dessus, de supprimer ou d'insérer de nouvelles images, de les comparer, de construire des séquences d'images et de faire une recherche d'images basée sur leur contenu.

Figure 2
Le niveau physique de la base multiversion de la Figure 1

Arbre de dérivation

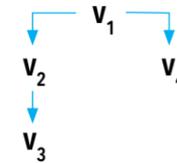


Table d'association du nom

Jean Untel	V ₁
------------	----------------

Table d'association de l'adresse

✉ rue des... JeanUntel@...	V ₁
-------------------------------	----------------

Table d'association de la photo

⊥	V ₁
👤	V ₂
👤	V ₃

Dans des domaines tels que l'ingénierie et l'édition collaborative, le contrôle de version a toujours été considéré comme une tâche cruciale permettant de conserver les différentes versions d'un objet partagé (par exemple un module logiciel ou un rapport de projet) et l'historique des modifications. Cela permet et facilite la résolution des bogues, l'interrogation des versions antérieures et l'intégration du contenu de différents contributeurs.

Le modèle des VBD a notamment été utilisé pour permettre la traçabilité du processus de construction de logiciel et a donné naissance à MyDraft⁴, développée par l'entreprise Karmicsoft⁵, issue du laboratoire LAMSADE. Cette plate-forme Web 2.0 de prototypage rapide d'applications Web Riches orientées données offre des fonctionnalités de traçabilité avancées telles que l'historisation automatique, l'annulation ou la restitution à la volée de tout état antérieur du système : données, structure et applications.

À l'Institut Mines-Télécom, l'équipe de T. Abdesslem s'est inspirée du modèle des VBD pour proposer un

...

Table d'association de la section Formation

Formation • ... • ... • ...	V ₁
Education • ... • ... • ...	V ₄

Table d'association de la section Expériences

Expériences pro • ... • ... • ...	V ₁
Expériences pro • ... • ... • ... • ...	V ₂
Work Experience • ... • ... • ...	V ₄

Collectif, en hommage à Geneviève Jomier

mécanisme de gestion de versions de documents XML⁶ probabilistes. Ce mécanisme est particulièrement adapté aux environnements collaboratifs ouverts (ex., plateformes d'édition sur le web) où les contributeurs et leurs niveaux d'expertise ne sont pas connus d'avance.

Le modèle des VBD offre donc des mécanismes puissants de gestion de bases de données multiversions. La puissance du modèle VBD réside dans sa simplicité et sa généralité, s'appliquant à des situations où on veut traiter l'évolution du monde (changement climatique, migrations, santé). Il existe encore de nombreux problèmes ouverts de recherche qui peuvent bénéficier de son utilisation pour maintenir la cohérence entre plusieurs versions du monde, en particulier dans le contexte des bases de données orientées graphe, utilisées aujourd'hui dans la modélisation des réseaux sociaux.



⁶ Acronyme de eXtensible Markup Language : langage de balisage extensible permettant de faciliter l'échange d'information sur Internet



Cryptage et clés perdues : la sécurité des bases de données Cloud

Cloud Database Security

The LAMSADE department has started research on cloud database security around 2010. The subject does not really need to be presented. We had mainly two partners, both in the US. We present selected outcomes. First, we describe our proposal for a new architecture for client-side encrypted cloud database. The recent announcement by Microsoft seems in the wake of that proposal. Next, we present two methods for key recovery. One uses an escrow service that, internally, must call a large cloud for in-time recovery. The other method uses a cloud directly. The price is however perhaps more involvement from the client.

↓ L'actualité aidant, le thème de la sécurité de base de données cloud n'a vraiment pas besoin d'être introduit. Au LAMSADE, nous poursuivons des recherches sur ce sujet depuis 2010, dans le cadre du pôle *Sciences des Données*. Ces travaux ont été menés en collaboration avec Sushil Jajodia, Directeur du *Center for Security of Information Systems* (CSIS) de *George Mason University* (GMU) à Fairfax, et avec Thomas Schwarz de *Santa Clara University*, Santa Clara. Nous présentons dans ce qui suit les résultats de recherches communes qui, avec du recul, semblent les plus porteuses¹.

CRYPTAGE CLIENT DE BASE DE DONNÉES CLOUD

Entre 2014 et 2017, nous avons travaillé sur le problème dit d'une base de données (BD) cryptée par son créateur, appelé en général administrateur. Il est évident, depuis quatre décennies, que toute BD déportée du site originel de l'administrateur sur un site distant géré par de tiers, ce site étant qualifié alors de serveur, devrait être cryptée par l'administrateur. Ce cryptage est en général dit par le client. Ceci, par opposition au cryptage usuel aujourd'hui, effectué par le serveur en utilisant une clé définie par ce dernier et inconnue du client. Le souhait de cryptage client concerne *a fortiori* toute BD déportée sur un serveur cloud, simplement appelée BD cloud, suite à l'introduction de ce concept il y a une décennie. Ce souhait était néanmoins sans solution pratique. La raison bien connue en était que les algorithmes de cryptage courants, l'AES notamment, ne permettaient pas en pratique une requête de calcul à la BD serveur cryptée, à la BD cloud en particulier donc, d'être traitée. D'autres algorithmes de cryptage avaient été proposés dans ce but, dits à cryptage pleinement homomorphe. Malgré des progrès importants dans la conception de tels algorithmes, il semble que leur rapidité ne sera pas celle nécessaire à une BD, pendant des décennies encore, au moins.

Nous avons proposé dès lors vers 2015 une solution radicalement différente. Il s'agit de conserver d'une part, pour toute BD cloud, le cryptage client pratique, l'AES de préférence. Ceci, en une version probabiliste par défaut. D'autre part, nous avons proposé de modifier l'architecture d'un système de gestion d'une BD cloud (SGBD). Ceci, de manière à créer un espace d'exécution protégé, suffisamment pour être raisonnablement présumé sûr. Autrement dit, de telle sorte que l'on puisse raisonnablement supposer les données temporaires mises dans la RAM d'un tel espace à l'abri des attaques (malveillantes). Nous avons qualifié notre concept de *trusted (execution environment)*.

Plus en détail, nous avons proposé de créer de tels espaces en utilisant tout particulièrement les enclaves des nouvelles versions des processeurs courants Intel Core I5 et I7, dites versions SGX. Les SGX ont été annoncées vers 2014 et mises sur le marché depuis 2015-16. Une enclave est une région de la RAM où toute donnée n'est accessible qu'au processus créateur de l'enclave. La donnée reste inaccessible à tout autre processus, y compris les processus système, prioritaires partout en dehors des enclaves.

Nous avons proposé dès lors que toute requête à la DB cloud cryptée soit traitée dans notre espace protégé. En utilisant des données dynamiquement décryptées dans cet espace. Ces données peuvent y être reencryptées ensuite pour des requêtes de mise à jour (ang. *update queries*). Toute requête s'exécute alors presque comme si elle concernait une BD décryptée. Le surcoût (ang. *overhead*) consiste en un décryptage/cryptage dynamique (ang. *on-the-fly*) et le nettoyage de l'espace protégé de toute donnée confidentielle après la requête. Nos calculs ont montré que le surcoût de nos algorithmes de cryptage/décryptage, basés sur AES, est négligeable. Nous avons proposé aussi des clauses SQL spécifiques à une BD cloud cryptée côté client.

Notre proposition était théorique. Nous ne connaissons toujours pas d'implémentation correspondante. Il est à noter cependant que Microsoft (MS) a annoncé, le 17/9/2017 précisément, sa prochaine architecture pour les BDs Azur. Azur est le nom poétique pour Microsoft Cloud comme on le sait. L'annonce émanait du CTO d'Azur. La nouvelle architecture est dite *Azure Confidential Computing*. Elle se base sur le MS *Trusted Execution Environment*, défini sur chaque serveur Azur supportant une BD, dite génériquement BD SQL Azur. Selon MS, cet environnement peut être raisonnablement considéré comme sûr pour toute donnée hébergée à l'intérieur. Ceci, grâce notamment aux enclaves d'un Intel SGX. La figure illustrant l'architecture MS dans M. *Russinovich* «*Introducing Azure confidential computing*» achève de montrer une grande similitude avec notre approche. Cet article ne cite aucune référence extérieure à MS. Une tendance industrielle générale et regrettable depuis quelque temps. Les détails du futur SQL Azur sont encore confidentiels.

À LA RECHERCHE DE LA CLÉ PERDUE

Notre paraphrase désigne la problématique de récupération de la clé de cryptage devenue indisponible. Comme on le sait, les données cryptées ne peuvent pas alors être décryptées. Pour des données d'importance, d'une BD tout particulièrement donc, disposer d'une copie est crucial. La copie de la clé, une fois faite, doit néanmoins être protégée aussi. En même temps, elle doit toujours rester récupérable. Dès lors, elle ne peut pas être protégée simplement, par exemple par un mot de passe. Nous avons développé deux méthodes pour solutionner ce dilemme.

La première est appelée *Dépôt de confiance*. Il s'agit de confier la copie de la clé à un « service dépôt de confiance », (ang. *key escrow service*). Ce service peut néanmoins avoir ses propres « brebis galeuses », (ang. *Insiders*). La copie en clair pourrait leur servir à des fins malveillantes. Notre solution consiste dès lors à rendre la copie elle-même cryptée. Ce cryptage est toutefois récupérable, par un décryptage à complexité réglable. Cette dernière est définie par le client, le créateur de la clé en général. Il peut choisir la complexité de sorte que

¹ Le lecteur intéressé par les détails est invité à consulter <http://www.lamsade.dauphine.fr/~litwin/witold.html>

...

le décryptage en temps pratique, par exemple en une minute, nécessite le service d'un grand cloud, disons 1000 serveurs. L'idée générale est d'imposer un cloud suffisamment grand pour que le client présume (i) l'accès frauduleux à ce cloud en pratique impossible et (ii) l'accès légal suffisamment cher pour que la conjonction de deux difficultés rende la copie trop peu attractive pour les tentatives d'usage malveillant. En même temps, la copie reste toujours récupérable pour l'usage légitime, bien qu'il faille peut-être y mettre un prix. Ce dernier pourrait néanmoins en pratique être assujéti à une assurance.

Plus en détail, le client transforme d'abord la copie en « secret partagé », (ang. *secret sharing*), une technique bien connue. Il définit dès lors $n > 1$ parts du secret, soit s_1, s_2, \dots, s_n . Le secret, soit C , est la clé en occurrence. C'est XOR des parts qui recouvre (ang. *disclose*) le secret. Plus n est grand, plus le temps effectif de décryptage est stable, par rapport au temps maximal souhaité, T . Par exemple, pour $n = 2$ et $T = 1$ min, le temps effectif est de 30 secondes en moyenne. Mais, pour $n > 6$ il est en moyenne de presque 1 min. Le dépositaire précise T au moment du dépôt ou à la demande de recouvrement. Ensuite, le dépositaire enlève une part fixe, disons de m bits contiguës de chaque part s_1, \dots, s_n , ces bits étant ceux de droite ou de gauche. Il en résulte des parts tronquées, soit s_1', \dots, s_n' . Chaque part non-tronquée est hachée à sens unique, par exemple par SHA 256. Il en résulte $n-1$ indices (ang. *hints*), soit h_1 pour s_1 etc. Enfin, le dépositaire envoie la part s_1 , les parts tronquées, les indices et le temps maximal souhaité de recouvrement, soit donc $(s_1, \dots, s_n', h_1, \dots, h_{n-1}, T)$, au dépôt. À la demande de recouvrement, le dépositaire envoie les parts tronquées et les indices à un nœud du cloud, dit le 1^{er}. En gardant jalousement la part s_1 , le dépositaire préserve la sécurité de la clé à récupérer vis-à-vis du cloud également (on n'est jamais trop prudent). Le cloud partitionne dynamiquement le calcul de parts non tronquées à partir de celles tronquées et des indices sur ses nœuds. Il en utilise autant qu'il estime nécessaire pour respecter T . Des variantes de ce schéma de base ont également été proposées.

Une seconde solution est appelée *Dispersion dans le cloud*. Elle consiste en une division de la copie de la clé en $n \geq 1$ fragments, mis ensuite sur un cloud de $N \gg n$ nœuds serveurs. En pratique, N doit être de l'ordre de quelques dizaines au moins. La fragmentation est principalement une partition. Une certaine redondance de fragments peut néanmoins être utile pour la fiabilité. L'algorithme ne nécessite pas de dépôt de confiance. Ceci est un avantage relatif évident. Toutefois, le client d'une BD cloud ne dispose souvent pas d'accès à un grand nombre d'autres nœuds, en plus, sauf s'il s'agit d'une entreprise de taille raisonnable.

Pour préserver ainsi les copies des clés, on crée un enregistrement pour chacun des n fragments. L'enregistrement contient le fragment et un identificateur commun pour tous les fragments d'une même copie, unique pour chaque copie. Les enregistrements sont

52

50 ANS DE RECHERCHE : HIER, AUJOURD'HUI ET DEMAIN

53



alors distribués d'une manière pseudo-aléatoire sur la structure. Pour recouvrir une clé, le client lance un scan parallèle de tout enregistrement avec l'identificateur donné. La clé est reconstituée à partir de tous les fragments trouvés.

En mot de conclusion : l'industrie semble reprendre certaines idées que nous avons proposées. En tant que chercheurs, on ne peut que s'en réjouir.



Références

W. Litwin, Home Page, <https://www.lamsade.dauphine.fr/~litwin/witold.html>

M. Russinovich, *Introducing Azure Confidential Computing*, <https://azure.microsoft.com/fr-fr/blog/introducing-azure-confidential-computing/>

PARIS-DAUPHINE

Des percées en traitement d'images : EDP et méthodes variationnelles

A Breakthrough in Image Processing: PDEs and Variational Methods

We give a brief overview of some trends of research at CEREMADE in Image Processing that started about 30 years ago with pioneering work in PDEs and variational methods for Image Processing. This involved thorough study of the Mumford-Shah image segmentation energy minimization, axiomatization of Image processing for image denoising, important contributions to active contour models, Elastic deformable curves and surfaces for segmentation, and geodesic methods. Among the various applications, medical image analysis has been an important motivation that lead to many new methods, with many collaborations with hospital and industry.

↓ Le traitement d'images numériques est une discipline qui a démarré dans les années 1970 à une époque où les moyens informatiques étaient bien pauvres. Cependant les bases de ce domaine ont été posées et de nombreux algorithmes proposés pour les principales problématiques : détection de contours, segmentation, amélioration d'images, ... Les méthodes proposées étaient fondées sur du bon sens et des algorithmes astucieux, mais souvent, elles manquaient de bases mathématiques solides. En 1983, A. Witkin introduisait le *Scale Space*, « l'espace échelle », représentation d'un signal ou d'une image d à différentes échelles basée sur l'équation de la chaleur :

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \Delta u, \quad u(0) = d$$

Faire évoluer une image selon l'équation de la chaleur, du fait de son très fort effet régularisant et de diverses propriétés liées au principe du maximum, permet d'obtenir une version où les détails disparaissent progressivement, rendant une image de plus en plus floue. C'est très intéressant pour la recherche de contours. L'équation de la chaleur a eu par la suite une importance primordiale en traitement d'images.

RESTAURATION ET SEGMENTATION D'IMAGES PAR MINIMISATION DE FONCTIONNELLE

En 1985, lors du grand congrès de vision par ordinateur CVPR, D. Mumford et J. Shah proposent une méthode de minimisation de fonctionnelle pour résoudre le problème de segmentation d'images. Segmenter une image signifie diviser son domaine en régions, chacune correspondant à un objet présent dans l'image. L'idée est d'approcher une image donnée d , définie sur un domaine R , par une image u , régulière par morceaux, et admettant des discontinuités sur un ensemble de bords B . Ceci est obtenu par la minimisation de l'énergie suivante, dite de Mumford et Shah :

$$E(u, B) = \int_R (d - u)^2 + \lambda^2 \int_{R-B} \|\nabla u\|^2 + \alpha l(B)$$

Le coefficient λ donne une pondération entre le terme de fidélité à l'image d et le terme régularisant. Le dernier terme est une mesure de l'ensemble B des bords, c'est une pénalité empêchant que ces bords soient trop nombreux. Ainsi l'ensemble des bords est une variable du problème, et la minimisation permet d'obtenir la segmentation en régions. Ce problème de minimisation a passionné de nombreux mathématiciens qui se sont orientés vers le traitement d'images. En particulier, au CEREMADE, Jean-Michel Morel (à Dauphine de 1984 à 1997) a proposé de nombreux résultats théoriques et algorithmes concernant la minimisation de cette énergie. Ainsi, dans les années 1990 est né un mouvement dans des laboratoires de mathématiques du monde entier, avec le CEREMADE à sa tête, vers une formulation rigoureuse des problèmes de traitement d'images, nommé parfois le Traitement Mathématique des Images. Cela allait conduire, en collaboration avec Pierre-Louis

Lions (au CEREMADE depuis 1981) à une étude systématique des équations aux dérivées partielles pour l'amélioration d'images et le débruitage, posant ainsi les « axiomes et équations fondamentales du traitement d'images »¹. Ainsi l'espace échelle classique avec l'équation de la chaleur a trouvé une nouvelle version affine, *Affine Morphological Scale Space* (AMSS), avec l'équation d'évolution suivante :

$$\frac{\partial u}{\partial t} = |\nabla u| \left(\operatorname{div} \frac{\nabla u}{|\nabla u|} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Ce type d'approche permet de faire évoluer une image en la lissant de plus en plus, mais en évitant de la rendre trop floue.

Figure 1

Figure 1 Mumford-Shah : de gauche à droite, original, résultat et bords.



MODÈLES DÉFORMABLES ÉLASTIQUES

Toujours dans le cadre de la minimisation d'une fonctionnelle d'énergie pour la segmentation, Kass, Witkin et Terzopoulos ont introduit à la fin des années 1980 les modèles déformables et contours actifs. Il s'agit de trouver le contour d'un objet de l'image en faisant évoluer une courbe régulière pour minimiser une énergie. Cette fonctionnelle comprend des termes régularisants ainsi qu'un terme P d'attraction vers les contours de l'image :

$$\int_{\Omega} w_1 \|C'(s)\|^2 + w_2 \|C''(s)\|^2 + P(C(s)) ds$$

Cela modélise une courbe élastique qui se déforme pour aller chercher les bords d'un objet dans l'image. Ces modèles ont été introduits au moment où les images médicales 2D ou 3D commençaient à être produites et traitées sous forme numérisée. L'utilisation des modèles déformables élastiques de courbes en 2D ou de surfaces en 3D est particulièrement adaptée à l'analyse des structures déformables dans les images biomédicales car ce sont des formes régulières et le modèle peut suivre automatiquement le mouvement ou la déformation, par exemple en imagerie cardiaque. Nous avons contribué à de nombreuses variantes et améliorations de ces modèles déformables, en partie avec le projet d'imagerie médicale de Nicholas Ayache à l'INRIA, par exemple le modèle de ballon ou l'extension à des modèles de surfaces déformables 3D par éléments finis². Le contour actif ballon étant résolu par l'évolution d'une courbe plane, plusieurs équipes, dont le CEREMADE en premier, ont proposé une résolution de cette évolution par la méthode des ensembles de niveaux (*level sets*). Cette méthode considère la courbe C comme l'ensemble de niveau 0 d'une fonction u définie sur le domaine de l'image. Faire évoluer u est plus stable numériquement et permet des changements de topologie. Ainsi la courbe définie comme l'ensemble de niveau 0 de u peut naturellement pendant son évolution se diviser en plusieurs courbes ou, au

...

¹ Alvarez, Guichard, P.-L. Lions, and J.-M. Morel, "Axioms and fundamental equations of image processing", archive for *Rational Mechanics and Analysis*, 1993

² L.D. Cohen and I. Cohen, "Finite element methods for active contour models and balloons for 2D and 3D images", *IEEE PAMI*, 1993

...
 contraire, deux courbes se fusionner. Cela a conduit un peu plus tard à la méthode de référence des *Contours Actifs Géodésiques*³ où la résolution de l'équation d'évolution en temps t de la courbe C paramétrée par son abscisse curviligne s :

$$\frac{\partial C(s,t)}{\partial t} = P(C) \frac{\partial^2 C}{\partial s^2} - \langle \nabla P, \bar{n} \rangle \bar{n}$$

est remplacée par l'équation d'évolution de la fonction u :

$$\frac{\partial u}{\partial t} = P(u) \|\nabla u\| (\kappa + \omega) + \langle \nabla P, \nabla u \rangle$$

où \bar{n} est le vecteur normal unitaire à la courbe, κ la courbure, et ω la force ballon. Avec Gabriel Peyré (au CEREMADE de 2006 à 2016), nous avons introduit en 2012 de nouveaux contours actifs : les contours actifs non locaux, qui permettent de s'adapter à des variations lentes à l'intérieur d'une région.

Figure 2

MÉTHODES GÉODÉSQUES

Les contours actifs ont le défaut bien connu de se bloquer souvent dans un minimum local de l'énergie⁴. Parmi diverses méthodes pour résoudre cette question, la transformation du problème en recherche de chemin le plus court selon une métrique P donnée permet de trouver le minimum global de l'énergie des contours actifs parmi tous les chemins reliant 2 points. La métrique est définie à partir de l'image pour être plus petite là où il est souhaitable de passer. Cette métrique peut être une simple fonction du niveau de gris de l'image. Étant donné un point de départ p_0 , on définit la carte de distance U_{p_0} à p_0 selon la métrique P . Elle est égale, en tout point r du domaine de l'image, au minimum de la longueur pondérée par P , parmi tous les chemins C reliant $p_0(C(0) = p_0)$ à $r(C(L) = r)$:

$$U_{p_0}(r) = \inf_{C(L)=r} E(C) = \inf_{C(L)=r} \left(\int_C \bar{P} d\tau \right)$$

Cette carte de distance satisfait l'équation Eikonale :

$$\|\nabla u\| = \bar{P}$$

qui est résolue par l'algorithme rapide et précis de Fast Marching⁵.

Figure 3

Cet algorithme propage un front à partir du point de départ p_0 sur tout le domaine de l'image, par valeurs croissantes. Une fois connue U , une descente de gradient sur U depuis le point d'arrivée p_1 et vers le point de départ p_0 trace un chemin minimal \bar{C} . On obtient ainsi un

Figure 2
 Evolution de gauche à droite des Contours Actifs Non Locaux pour trouver les contours.

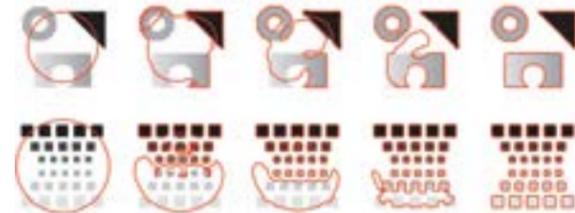
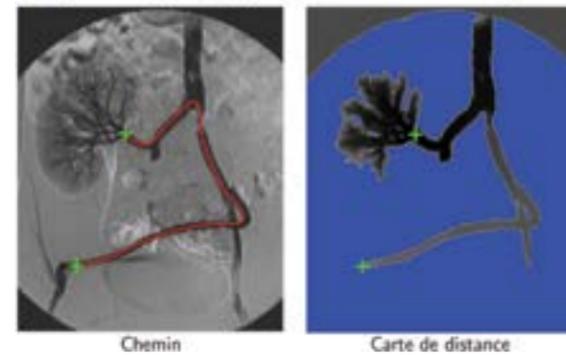


Figure 3
 Ligne géodésique entre 2 points.

$P(x) = w + (I(x) - I(x_0))^2 \rightarrow$ chemin d'intensité homogène



3 Caselles, Kimmel, and Sapiro, "Geodesic active contours", Int. J. Comput. Vision, 1997

4 L. D. Cohen, "Avoiding local minima for deformable curves in image analysis", In *Curves and Surfaces with Applications in CAGD*, 1997

5 L. D. Cohen, "Minimal Paths and Fast Marching Methods for Image Analysis", In *Mathematical Models in Computer Vision: The Handbook*, Springer, 2005

minimum global de l'énergie $\int_{P_0}^{P_1} P$ parmi tous les chemins reliant ces deux points.

La recherche de chemin sur une carte à l'aide d'un GPS donne une analogie qui permet de mieux saisir cette approche. Si $P=1$ sur l'ensemble des routes et P est égal à un nombre très grand ailleurs, U correspond à la longueur du chemin le plus court tracé sur les routes. Si on a de plus une information de vitesse locale de déplacement le long des routes, grâce à l'état de la circulation, ou à la limite de vitesse autorisée, le critère pertinent est le chemin qui met le moins de temps à être parcouru. Si P est l'inverse de la vitesse, U donne exactement le temps de parcours minimal, et on en déduit un chemin le plus rapide.

Figure 4

Ces méthodes peuvent servir à la recherche de contours en 2D, mais sont surtout utilisées pour la recherche de structures tubulaires en 2D ou 3D comme des vaisseaux sanguins ou des routes en imagerie aérienne. Par la suite, nous avons considéré des espaces ou des métriques plus élaborés. Par exemple en ajoutant une dimension de rayon local, cela permet de trouver un chemin centré dans une structure tubulaire et son épaisseur locale. Ces méthodes géodésiques ont des applications dans de nombreux domaines, du remaillage de surfaces, à la reconnaissance de formes⁷. Avec J.-M. Mirebeau (au CEREMADE de 2011 à 2015) et Da Chen (doctorant puis postdoc au CEREMADE), nous avons introduit différentes méthodes basées sur des métriques de Finsler.

Figures 5/6

En conclusion, le CEREMADE a été depuis 30 ans à l'initiative et au plus haut niveau des recherches en méthodes mathématiques pour le traitement d'image. Nous avons d'ailleurs organisé et accueilli à l'Université Paris-Dauphine les congrès internationaux *Mathematics and Image Analysis* 2004 et 2006, avec environ 250 participants.

Figure 4
 Avec Philips, extraction d'arbre vasculaire et endoscopie virtuelle le long de géodésiques⁶.

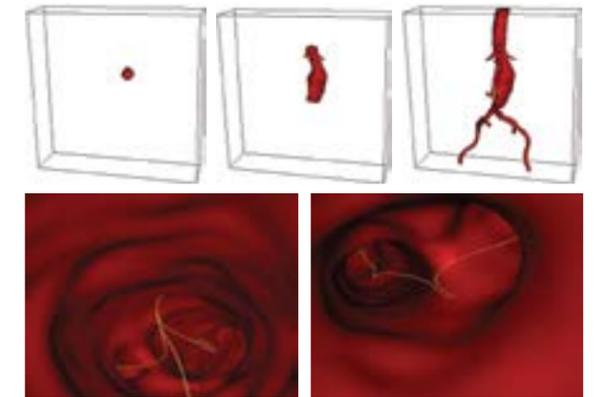


Figure 5
 Extraction de vaisseaux : axe central et vaisseau autour.

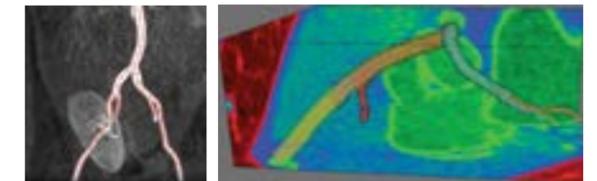
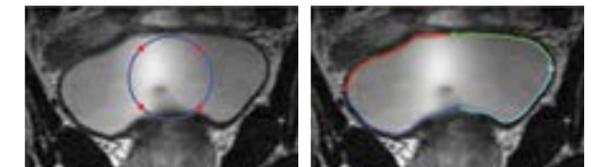


Figure 6
 Contour actif région à l'aide de géodésiques pour une métrique de Finsler.



6 T.Deschamps et L.D. Cohen, «Fast extraction of minimal paths in 3D images and application to virtual endoscopy», *Medical Image Analysis*, 2001

7 G. Peyré, M.Péchaud, R. Keriven and L.D. Cohen. *Geodesic Methods in Computer Vision and Graphics. Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision*, 2010, 200 p.

Équation de Boltzmann, solutions renormalisées et lemmes de moyenne

Boltzmann Equation, Renormalized Solutions and Averaging Lemmas

At the end of the 1980s, R. DiPerna and P.-L. Lions have proved the existence of a global solution to the Boltzmann equation for any initial datum making a breakthrough in the analysis of PDEs. To get such a result, they introduce and use the notions of renormalized solutions as well as an averaging regularity lemma for solutions to kinetic equations discovered few years before. These two last theories have been then developed and improved during all the period and the DiPerna-Lions stability approach has been taken over in order to prove existence theorems for many PDEs from kinetic theory, fluid mechanics or others areas. In this adventure, the contribution of the French mathematics school led by P.-L. Lions and the CEREMADE laboratory have been of main importance.

↓ L'équation de Boltzmann est une équation fondamentale de la physique et la plus fameuse des équations cinétiques. Proposée par Maxwell et Boltzmann à la fin du XIX^e siècle, elle permet de décrire l'évolution d'un gaz modérément dense représenté par la fonction de répartition statistique $f = f(t, x, v) \geq 0$ des particules ayant la position x et la vitesse $v \in \mathbb{R}^3$ à l'instant $t \geq 0$, et prend la forme de l'équation aux dérivées partielles (EDP)

$$\partial_t f + v \cdot \nabla_x f = Q(f, f) \quad (1)$$

Dans cette équation, le terme de gauche prend en compte le fait qu'une particule libre se déplace à vitesse constante alors que le terme de droite prend en compte le fait que les particules interagissent lors de chocs élastiques binaires.

L'équation de Boltzmann correspond à une échelle de description intermédiaire entre les équations de Newton (pertinentes pour décrire le système solaire composé d'une dizaine d'étoiles mais également pour décrire un gaz extrêmement peu dense) et les équations de la mécanique des fluides d'Euler et de Navier-Stokes qui portent sur des quantités « macroscopiques » telles que la densité, la vitesse moyenne, la température (pertinentes pour un gaz très dense ou un liquide).

L'équation de Boltzmann eut immédiatement un grand retentissement, notamment car elle prédit qu'une certaine quantité, appelée entropie et mesurant le caractère désordonné du gaz, ne peut que croître au cours du temps : c'est le célèbre Théorème H de Boltzmann. La compréhension de cette équation est un des problèmes les plus fascinants des mathématiques contemporaines. Elle est au cœur de la théorie des équations aux dérivées partielles, de l'analyse fonctionnelle et de la physique statistique, mais elle possède également des connexions fortes avec différents autres domaines des mathématiques : les systèmes dynamiques et la mécanique des fluides comme nous l'avons déjà évoqué, également la théorie des probabilités, de l'information, du transport optimal, ..., et même de la géométrie où l'entropie de Boltzmann est un outil puissant.

Les premiers travaux mathématiques sont dus au mathématicien suédois T. Carleman qui, dans les années 1930, considère l'équation de Boltzmann pour un gaz homogène en espace (lorsqu'il n'y a pas de dépendance en la variable d'espace x). À partir des années 1960, différents travaux mathématiques sont réalisés, les plus célèbres étant probablement dus aux mathématiciens américains M. Kac et H. Grad, au mathématicien japonais S. Ukai et à l'école italienne emmenée par C. Cercignani. Toutefois la question naturelle de l'existence d'une solution globale en temps à l'équation de Boltzmann partant d'une condition initiale générale, c'est-à-dire dont la masse, l'énergie et l'entropie sont finies, reste ouverte.

Autour des années 1990, R. DiPerna et P.-L. Lions vont résoudre ce problème en introduisant ou développant

deux nouveaux outils et en surmontant un grand nombre de difficultés techniques dues à la complexité du problème et de la preuve. Ces nouveaux outils sont la théorie des solutions renormalisées et celle des lemmes de moyenne qui se sont développées indépendamment de leurs applications à l'équation de Boltzmann et qui vont faire l'objet de notre attention dans la suite de cette note.

Soulignons également que leur preuve d'existence est basée sur un principe de stabilité : de toute suite de solutions de l'équation de Boltzmann satisfaisant les bornes naturelles, il est possible d'en extraire une suite qui converge vers une fonction qui est encore une solution de l'équation de Boltzmann. Cette approche qui permet de se concentrer sur les deux étapes les plus difficiles (obtention de bornes et passage à la limite dans l'équation) s'est imposée dès lors comme le modèle de preuve d'existence par « arguments de compacité » et sera donc repris pour résoudre de nombreux autres problèmes.

Commençons par présenter la théorie des solutions renormalisées de DiPerna-Lions qui va permettre de donner un sens à l'équation de Boltzmann (1). L'approche Lagrangienne consiste à s'intéresser à l'ensemble des trajectoires des particules (d'un gaz). C'est ce que fait la relation fondamentale de la dynamique de Newton qui postule que pour une seule particule par exemple, le couple position-vitesse $y = (x, v)$ est solution d'une équation différentielle

$$y' = b(t, y), \quad y(0) = y_0 \quad (2)$$

pour un certain champ de vecteurs b . Résoudre cette équation, c'est trouver une fonction du temps $t \rightarrow y(t)$ qui satisfait (2) et qui représentera la trajectoire de la particule dans l'espace des phases (des positions et des vitesses). L'approche Eulerienne consiste quant à elle à s'intéresser à l'équation de transport

$$\partial_t g + b \cdot \nabla_y g = G, \quad g(0) = g_0 \quad (3)$$

portant sur la densité $g = g(t, y)$ des particules dans ce même espace des phases. La théorie de Cauchy-Lipschitz permet de résoudre (2) lorsque le champ de vecteurs b est assez régulier (Lipschitzien) et d'en déduire aisément une solution de (3) à l'aide d'une formule explicite. La théorie de DiPerna-Lions permet de faire le chemin inverse et cela même lorsque le champ de vecteurs b est peu régulier. Plus précisément, il est possible de montrer qu'une solution de (3) satisfait également l'équation renormalisée

$$\partial_t \beta(g) + b \cdot \nabla_y \beta(g) = \beta'(g)G, \quad (4)$$

pour toute fonction β , et d'en déduire qu'une telle solution est unique. Il est alors possible d'en déduire

...

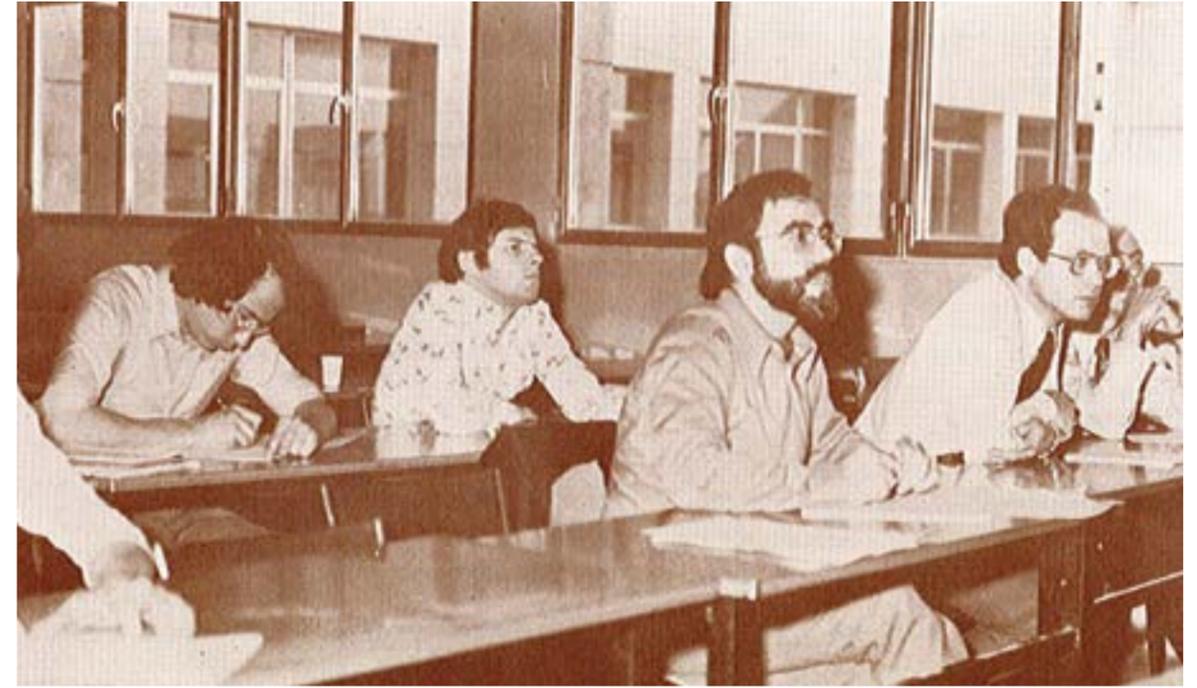
...

l'existence de solutions à l'équation différentielle (2). La renormalisation de l'équation de Boltzmann (1) avec le choix de la fonction $\beta(s) = \log(1+s)$ va permettre de donner un sens convenable au terme renormalisé $Q(f, f)/(1+f)$ alors que $Q(f, f)$ n'en a pas. Bien que l'idée de composer les solutions d'une EDP n'est pas complètement neuve, on peut en retrouver des prémices dans la formulation entropique de Kruzkov des lois de conservation scalaire, le travail de DiPerna-Lions va apparaître comme absolument révolutionnaire et va être repris et développé jusqu'à aujourd'hui pour analyser de nombreux problèmes. L'école italienne emmenée par L. Ambrosio va s'intéresser au lien entre (2) et (3), et à affaiblir des hypothèses de régularité sur le champ b , en particulier en lien avec l'équation de Vlasov-Poisson qui est l'autre équation célèbre de la dynamique des gaz (électriquement chargés). Il convient de citer ici la formulation cinétique de différentes équations et en particulier celle d'équations hyperboliques par Lions-Perthame-Tadmor, la renormalisation des équations elliptiques ou paraboliques et la théorie de trace pour les équations de transport. Mais c'est certainement la technique de renormalisation de l'équation de conservation de la masse initiée dans "Mathematical topics in fluid mechanics" par P.-L. Lions qui permettra de faire notablement progresser la théorie d'existence et stabilité des équations de la mécanique des fluides. Cette approche sera reprise par de nombreux chercheurs et notamment par E. Feireisl, B. Desjardins, D. Bresch. Enfin, les techniques de stabilité et d'estimations de commutateurs utilisées par DiPerna-Lions se retrouvent aujourd'hui dans le développement des "rough paths" (chemins rugueux) développés notamment par Lyons, Gubenelli et Hairer.

Venons-en aux lemmes de moyenne qui consistent à exhiber des propriétés de régularité cachée de la solution f d'une équation cinétique, par exemple d'une solution renormalisée de l'équation de Boltzmann. Alors que la solution f elle-même ne possède pas plus de régularité que la donnée initiale (cela traduit le caractère «hyperbolique» de l'équation) les moyennes en vitesses de f , c'est-à-dire des quantités de la forme

$$\int f(t, x, v) \varphi(v) dv \quad (5)$$

possèdent de meilleurs propriétés. Ces résultats ont été découverts indépendamment par Agoshkov et Golse-Perthame-Sentis en 1985 (mais étaient déjà présents sous formes embryonnaires dans les travaux de I. Vidav et S. Ukai dans les années 1970) puis vont connaître un véritable engouement et être développés par de nombreux auteurs. Des contributions importantes sont obtenues notamment par DiPerna, Golse, Jabin, Lions, Meyer, Perthame, Souganidis, Vega, ..., qui démontrent des théorèmes de régularité optimale de la quantité (5), des résultats de gain de moment et de dispersion par des techniques d'analyse de Fourier classiques, d'analyse harmonique plus sophistiquées, de multiplicateur ou de transformée de Radon (ou aux rayons X). L'application d'un lemme de moment à



l'équation de Boltzmann est crucial puisque que c'est lui qui permet de passer à la limite dans le terme de collision $Q(f, f)$ dans le théorème de stabilité de DiPerna-Lions. Il est également intéressant de noter le lien découvert par Castella-Perthame entre les lemmes de moyenne et les inégalités de Strichartz utilisées dans l'analyse des équations des ondes et de Schrödinger ainsi que leurs applications aux équations hyperboliques non-linéaires par Lions-Perthame-Tadmor procurant ainsi une possible alternative à la théorie de compacité par compensation de Murat et Tartar.

Enfin, les solutions renormalisées de DiPerna-Lions ont servi de cadre à la réalisation du programme consistant à déduire les équations de la mécanique des fluides à partir de l'équation de Boltzmann qui a été initié en 1989 par Bardos-Golse-Levermore et réalisé au cours des années 2000 grâce notamment aux contributions successives de Grenier, Masmoudi, Lions, Golse et Saint-Raymond.

En conclusion, à partir de la fin des années 1980, le paysage de l'analyse mathématique des équations cinétiques et de la mécanique des fluides a été bouleversé, et la contribution de l'école française de mathématiques emmenée par P.-L. Lions, ses collaborateurs et ses élèves au CEREMADE (parmi lesquels B. Perthame, J. Dolbeault, C. Villani, N. Masmoudi) a été de tout premier ordre.



L'invention des solutions de viscosité : une percée historique dans le domaine des équations de Hamilton-Jacobi

The Invention of Viscosity Solutions: a Historical Breakthrough in the Field of Hamilton-Jacobi Equations

In 1980, CEREMADE already had a well-established reputation as a laboratory where research was carried out on mathematical topics that were not dealt with elsewhere: while most mathematicians in the world worked on problems stemming from Physics, Chemistry or, more rarely, Biology, CEREMADE researchers were more interested in economics, finance or more generally in questions inspired by the human sciences. And with approaches whose originality had nothing to envy to those of the themes.

↓ En 1980, le CEREMADE avait déjà une réputation bien établie de laboratoire où l'on faisait de la recherche sur des thématiques mathématiques qui n'étaient pas traitées ailleurs : alors que la plupart des mathématiciens dans le monde travaillaient sur des problèmes issus de la Physique, de la Chimie ou plus rarement de la Biologie, les chercheurs du CEREMADE s'intéressaient plutôt à l'économie, la finance ou plus généralement à des questions inspirées par les sciences humaines. Et avec des approches dont l'originalité n'avait rien à envier à celles des thématiques.

En 1981, l'introduction par M. Crandall, alors professeur à l'université du Wisconsin, et P.-L. Lions, membre du CEREMADE, de la notion de solutions de viscosité pour les équations de Hamilton-Jacobi allait encore renforcer cette réputation.

Les équations de Hamilton-Jacobi (HJ) sont des équations aux dérivées partielles (EDP), c'est-à-dire que les inconnues sont des fonctions dont les dérivées doivent satisfaire une ou plusieurs égalités. On rencontre beaucoup d'EDP en Physique qui reflètent des lois ou des principes connus comme la conservation de la masse ou de l'énergie. Malheureusement (ou heureusement ?), on s'est vite aperçu que ces EDP n'avaient pas de solutions régulières, c'est-à-dire des solutions pour lesquelles les dérivées pouvaient être calculées en un sens classique, et on a cherché à définir une notion de « solution faible » : les plus connues sont les solutions « au sens des distributions » (qui ont valu une médaille Fields à Laurent Schwartz en 1950) ou les « solutions entropiques » à la Kruzkov. La deuxième partie du XX^e siècle a été marquée par la quête de la « bonne notion de solution faible » pour chaque type d'EDP.

Dans la lignée des solutions au sens des distributions, la plupart des solutions faibles connues en 1980 reposait sur des intégrations par parties et les solutions de viscosité révolutionnaient ce dogme car elles n'en utilisaient pas... Et pour cause, car s'appliquant à des solutions « fortement non linéaires » de telles intégrations par parties étaient impossibles. C'est la raison pour laquelle trouver une bonne définition de solutions faibles pour ce type d'équations est longtemps resté une question ouverte.

Basées sur un principe de « monotonie » qui dit essentiellement que plus les données initiales sont grandes et plus les solutions sont grandes, la notion de solution de viscosité, qui s'applique (dans le jargon) aux équations elliptiques ou paraboliques du premier ou du second ordre, possiblement dégénérées, devient vite une notion incontournable pour les mathématiciens appliqués. Désormais, une grande partie des articles de finance (mathématique ou non) l'utilisent ; c'est également le cas de nombreuses contributions en traitement d'images.

La notion de solution de viscosité est évidemment à l'origine d'un nombre impressionnant de travaux et nul besoin de préciser que, sous l'impulsion de P.L. Lions, le CEREMADE fut, dans les années 1980-2000, LE centre

de recherche sur le sujet : les principaux chercheurs du domaine vinrent y séjourner et présenter leurs résultats ; y était animé un réseau européen sur le sujet (*the European TMR program "Viscosity Solutions and Their Applications"*). Soulignons aussi qu'à cette même période (1999), M. Crandall, co-inventeur de la notion, devient *Docteur Honoris Causa* de l'Université Paris-Dauphine. De ce fourmillement d'idées est aussi issu un article de survey, le "*User's guide to viscosity solutions of second-order partial differential equations*" (1992) par M. Crandall, I. Ishii et P.-L. Lions, qui a eu un retentissement immédiat. Il est l'un des articles les plus cités en mathématiques.

Sans trop entrer dans les détails, décrivons un peu la notion de solution de viscosité. Comme nous l'avons déjà expliqué plus haut, la difficulté des équations de HJ vient du fait que ce sont des équations non-linéaires et sans solution régulière en général. Cependant, elles possèdent une propriété remarquable reliée à la monotonie : le « principe de comparaison » (qui dit, au moins formellement, que si l'on prend deux solutions d'une même équation de HJ dans un ouvert, avec l'une inférieure à l'autre sur le bord de l'ouvert, alors elles se comparent de la même façon à l'intérieur). L'idée centrale des solutions de viscosité est de transformer cette propriété en définition (ou presque), ce qui en fait une notion de solutions remarquablement souple et robuste.

Ainsi G. Barles et B. Perthame, élèves de P. L. Lions à l'époque, montrèrent un principe de stabilité, qui dit essentiellement que n'importe quelle limite raisonnable de solutions de viscosité est encore une solution de viscosité. Une conséquence importante de ce résultat, notée par G. Barles et P. Souganidis (visiteur fréquent de Dauphine à cette période), est la convergence de tout schéma numérique qui possède des propriétés raisonnables (stabilité, monotonie et consistance). En fait, les solutions de viscosité résolvent de nombreux problèmes : elles donnent un sens à différentes « conditions au bord » du domaine, elles sont généralisables à certains systèmes (les systèmes monotones faiblement couplés), elles possèdent un pendant en dimension infinie et elles sont même stables par perturbations singulières (homogénéisation) ou par des termes fortement oscillant en temps (HJ stochastiques).

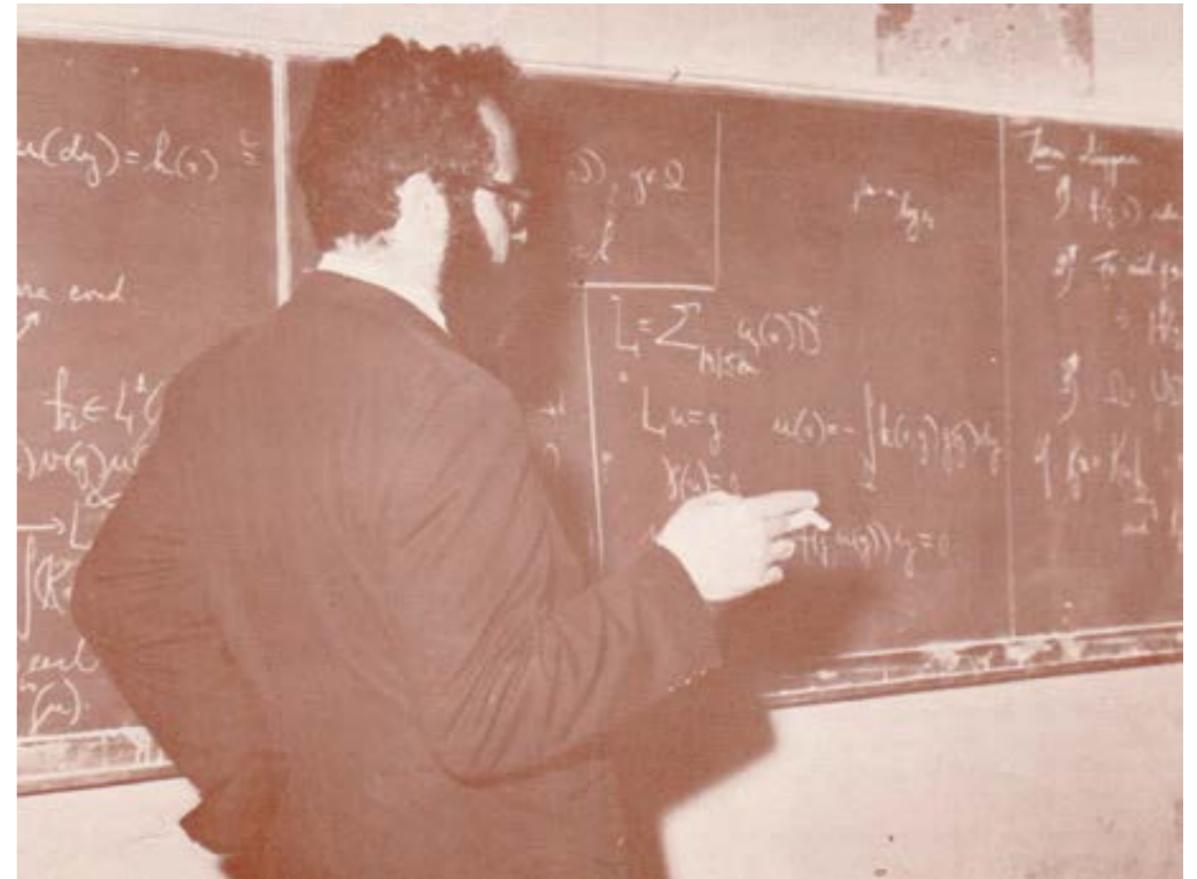
La popularité de la notion de solution de viscosité vint surtout du fait que les équations de HJ interviennent dans de très nombreux domaines des mathématiques appliquées, et tout d'abord en théorie du contrôle optimal, déterministe ou stochastique suivant que l'équation contrôlée soit une équation différentielle ordinaire ou une équation différentielle stochastique. Il peut s'agir par exemple de véhicules que l'on cherche à amener d'un point à un autre, l'exemple typique étant une fusée à placer sur orbite. Le contrôle stochastique, lui, intervient très fréquemment en finance mathématique : par exemple le problème de

...

couverture de Black-Scholes est de ce type. Il apparaît aussi en économie, dans la théorie des anticipations rationnelles où les agents économiques optimisent un critère inter-temporel. Dans tous ces domaines, la fonction valeur du problème, c'est-à-dire le coût le plus faible que le contrôleur puisse obtenir, vérifie une équation de HJ. Le plus souvent, cette fonction valeur n'est pas régulière (il peut y avoir des discontinuités dans la dérivée première et même dans la fonction elle-même), mais elle est complètement caractérisée comme de solution de viscosité de l'équation. Cela permet par exemple d'en déduire des propriétés des solutions et de les calculer numériquement. Soulignons que c'est probablement dans le domaine du contrôle que les solutions de viscosité ont connu leur succès le plus impressionnant et le plus durable : on compte toujours de très nombreux articles publiés dans lesquels la notion joue un rôle central. Plusieurs de ces articles sont d'ailleurs signés par des membres du CEREMADE...

Un autre domaine dans lequel les équations de Hamilton-Jacobi interviennent est le traitement d'image. Un des premiers exemples d'applications des solutions de viscosité fut le *Shape from Shading*, qui consiste à reconstruire une forme 3D à partir d'une image 2D (E. Rouy et A. Tourin, 1992, alors toutes deux en thèse au CEREMADE). Mais le succès majeur des solutions de viscosité dans le domaine est ailleurs. Pour analyser une image, il est naturel de chercher à la déformer tout en préservant certaines propriétés : invariance par translation et rotation, localité, récursivité et causalité. Dans un article central, L. Alvarez, F. Guichard, P.-L. Lions et J.-M. Morel (1993) (les trois derniers auteurs étant au CEREMADE à l'époque) montrent que ces déformations sont toutes caractérisées par des équations de Hamilton-Jacobi. Par exemple, l'équation du mouvement par courbure moyenne (et ses variantes), où la courbe à analyser évolue avec une vitesse égale à la courbure de la courbe au point considéré, est un des outils les plus répandus pour régulariser une courbe. Comme, les équations ainsi obtenues sont toujours dégénérées, c'est le concept de solution de viscosité qu'on utilise pour décrire les solutions. Théoriquement, cet article met définitivement en valeur l'aspect incontournable des solutions de viscosité dans tout problème où une propriété de monotonie existe.

L'origine des équations de Hamilton-Jacobi se trouve dans les systèmes dynamiques, plus précisément dans l'étude des systèmes hamiltoniens, où ces équations jouent un rôle essentiel pour identifier des quantités conservées. Le fait que les équations de HJ ne possèdent pas de solutions régulières semblait diminuer cependant l'importance de ces équations dans le domaine. Cependant, dans les années 1997-1998, A. Fathi établit que les solutions de viscosité jouent un rôle essentiel dans le cadre d'une théorie non perturbative des systèmes hamiltoniens, la théorie KAM faible. Il fit également le lien avec l'article fondateur de l'homogénéisation des équations de HJ, théorie ayant



débuté avec un article célèbre (mais non publié)... de P.-L. Lions, G. Papanicolau et S.R.S. Varadhan.

En conclusion, la notion de solutions de viscosité s'est imposée comme le langage naturel pour décrire les solutions des équations de Hamilton-Jacobi. Après toutes ces années, les utilisations sont toujours très nombreuses dans de multiples champs d'applications : en contrôle optimal (et, plus récemment, dans le domaine des jeux à champs moyen) ; en traitement d'images ; en systèmes dynamiques, avec la théorie KAM faible, ...



Vladimir Arnold, les mathématiques et Paris-Dauphine : un détour par la mécanique céleste, les systèmes dynamiques et la topologie...

Vladimir Arnold, Mathematics and Paris-Dauphine: a Journey through Celestial Mechanics, Dynamical Systems and Topology

Mathematician Vladimir Arnold (born in Odessa in 1937, deceased in Paris in 2010) is well remembered. Arnold joined the CEREMADE in 1993, sharing his time here with his position in Moscow. His scientific achievements are extraordinary. And he would show the same mental or physical vigor, either while debating history of science, teaching mathematics, skiing in severe cold, or facing ebb tides while swimming under the Golden Gate Bridge. Arnold's mathematical works range from dynamical systems and celestial mechanics, to symplectic geometry and topology – fields he largely contributed to create –, or singularity theory and algebraic geometry. His geometric understanding of mathematics allowed him to connect problems which were thought disconnected. Arnold also had fierce positions regarding how mathematics should be taught, to the opposite of the Bourbaki style. He was an advocate of teaching mathematics together with physics, insisting on the geometric intuition more than on abstract, algebraic generalizations.

1 Les systèmes dynamiques sont la généralisation moderne, créée par H. Poincaré, des équations différentielles.

2 Global signifie ici : pour des systèmes dynamiques qui ne sont pas de petites modifications de systèmes dynamiques simples et bien compris.

↓ Le mathématicien Vladimir Igorevitch Arnold (né à Odessa en 1937, décédé à Paris en 2010) a marqué les esprits. Sa vision géométrique lui permettait de percevoir des relations entre des problèmes qu'on pensait déconnectés. Et il montrait une vivacité extrême en toute chose, qu'elle soit mentale ou physique : qu'il débâte d'histoire des sciences ou d'enseignement des mathématiques, qu'il skie par grand froid, ou qu'il nage sous le Golden Gate Bridge au milieu des courants marins.

Son travail en Systèmes dynamiques¹ est emblématique. Poursuivant, au début des années 1960 à Moscou, les travaux de son directeur de thèse A. Kolmogorov, il a établi la stabilité d'un modèle simplifié de notre Système solaire connu sous le nom de Problème des trois corps planétaires, montrant qu'une majorité de conditions initiales de planètes dont les masses seraient suffisamment petites conduisent à des mouvements réguliers, quasi-périodiques dit-on. Au XIX^e siècle, H. Poincaré avait envisagé sans y croire la possibilité de tels mouvements, et K. Weierstrass n'était pas parvenu à en démontrer l'existence. De façon audacieuse, Arnold a ensuite conjecturé un analogue global² de ces résultats en petite dimension, qui a considérablement influencé l'école française de Systèmes dynamiques ultérieurement conduite par M. Herman et J.-C. Yoccoz.

À l'article d'Arnold de plus de 100 pages sur la stabilité du problème des trois corps, que peu de mathématiciens lurent, a succédé en 1964 un article de 4 pages, qui fut énormément lu et commenté pendant 50 ans, et continue de l'être. Arnold y décrit un exemple génial d'instabilité dynamique. Il l'a imaginé en cherchant un mécanisme d'instabilité universel, tout en exhibant une situation qui évite les difficultés techniques redoutables (et toujours non-surmontées) pour mettre en évidence ce mécanisme dans les situations habituelles. Il en a formé la *conjecture de la diffusion d'Arnold*, qui affirme, dans le cas du problème des trois corps, que, si les planètes s'écartent arbitrairement peu des mouvements réguliers, les phénomènes d'instabilité sont la règle, de sorte que l'évolution à long terme du Système solaire ressemblerait moins à celle d'une belle horloge qu'à une partie de tennis dans une forêt. La conclusion du théorème de stabilité laisse en effet amplement la place à des mouvements beaucoup moins réguliers : collisions entre planètes ou éjections à l'extérieur du Système solaire, pour ne citer que les possibilités les plus spectaculaires. Après que mathématiciens et astronomes ont tenté, pendant des siècles, de démontrer la stabilité du Système solaire (que Newton attribuait toutefois à des interventions divines), à la fin du XIX^e siècle Poincaré avait réuni un faisceau d'arguments qui battaient en brèche le dogme de la stabilité, auquel la conjecture d'Arnold a terminé de porter un coup fatal. L'instabilité généralisée, sur des intervalles de temps de l'ordre de quelques centaines de millions d'années (donc sur des temps largement inférieurs à la durée de vie physique du Soleil) a été mise en lumière par les simulations numériques de l'évolution du (vrai) Système solaire, par l'astronome Jacques Laskar, à l'Observatoire de Paris à partir des années 1990.

Arnold a aussi été l'un des premiers à comprendre le langage unificateur, appelé la *géométrie symplectique*,³ de nombreux domaines de la physique mathématique, tels que la mécanique, le calcul des variations, l'optique, la thermodynamique, l'analyse micro-locale des équations aux dérivées partielles, ou la quantification. Il a par exemple montré le caractère invariant de l'indice de Maslov, un nombre dont dépendent les solutions de l'équation des ondes dans la limite des hautes fréquences, et qui explique le déphasage observé des signaux lumineux au passage par un point focal. Son livre *Méthodes mathématiques de la mécanique classique* a renouvelé l'intérêt des mathématiciens pour ces sujets.

Le langage de la géométrie symplectique a rapidement soulevé de profondes questions globales. Ici encore, Arnold a été un pionnier. Partant d'un théorème de Poincaré-Birkhoff sur l'existence de points fixes des homéomorphismes de l'anneau, en 1965 il a conjecturé une généralisation audacieuse, qui marqua la naissance de la *topologie symplectique*.⁴ L'université Paris-Dauphine s'est illustrée dans ce domaine à partir des années 1980, sous l'impulsion d'Ivar Ekeland et de ses étudiants, notamment au sujet d'une autre conjecture fondamentale, due à Alan Weinstein, qui affirme l'existence d'orbites périodiques pour de nombreux systèmes dynamiques conservatifs.⁵ Claude Viterbo a démontré cette conjecture en 1987 dans un premier cas particulièrement important, en utilisant la fameuse *fonctionnelle d'action duale* de Clarke-Ekeland-Lasry, et l'a ensuite généralisée avec Hofer en proposant une magnifique construction de sphères holomorphes, inspirée de travaux fondateurs de Misha Gromov. Ces développements se poursuivent activement aujourd'hui, avec par exemple la récente démonstration par Qun Wang, qui a terminé sa thèse en 2018 à Dauphine, de l'existence d'orbites périodiques symétriques dans des systèmes de vortex.

Cette brillante tradition de recherche ne fut pas étrangère au choix, fait par Arnold, d'accepter un poste de professeur à Paris-Dauphine, à l'instigation d'Ivar Ekeland, Pierre-Louis Lions et Yves Meyer, quand la Perestroïka le permit en 1993, alors que beaucoup de ses collègues mathématiciens soviétiques prirent des postes, eux, aux USA. Arnold était admiratif de R. Thom, dont il avait suivi le séminaire à l'IHES pendant l'année 1965, et de J. Mather. Sa fascination pour la *théorie des singularités* n'a cessé de croître. Née des travaux du mathématicien américain H. Whitney, cette théorie décrit les façons de plier un espace sur un autre. Par exemple, quand on laisse tomber un drap par terre, en général il existe trois types de points : les points réguliers, les plis, et les fronces (là où les plis se terminent). Arnold a fait sienne et développé l'idée, chère à Thom, que l'étude d'un objet mathématique n'a de sens physique que lorsque cet objet est en « position générique » ou, s'il est plongé dans une famille, lorsque cette famille elle-même est en position générique. Avec ses étudiants, il a obtenu des résultats profonds et variés sur les singularités, découvrant des liens avec les géométries symplectiques



3 Cette géométrie est née au XVIII^e siècle, dans les travaux de Lagrange sur les équations du mouvement des planètes, encore, et leurs symétries. Le terme de symplectique a été forgé par H. Weyl en 1939. Il est la transposition grecque du terme d'origine latine complexe, dont le sens était déjà chargé en mathématiques.

4 Qu'est-ce que la topologie ? R. Thom la définissait comme l'étude du passage du local au global...

5 Une orbite périodique est une trajectoire le long de laquelle on revient régulièrement, à intervalle de temps fixé, dans le même état.

...

et de contact,⁶ la topologie ou la géométrie algébrique. À Dauphine, Arnold a enseigné à tous les niveaux du L1 au M2, des cours riches et exigeants. Il excellait à expliquer les idées importantes, sans jamais s'appesantir sur les détails techniques de telle ou telle démonstration... et il excellait aussi dans les prises de position provocatrices (mais non dénuées de fondement) sur l'enseignement. Il prétendait enseigner les « vraies mathématiques » et il n'hésitait pas à tester les candidats à un poste de maître de conférences, sur des questions mathématiques qu'il jugeait incontournables, mais que peu de collègues sauraient résoudre. En fait, Arnold a violemment critiqué l'enseignement des mathématiques en France (et dans le monde occidental en général), plaidant, dans la tradition russe, pour une meilleure connexion avec les autres disciplines (principalement, la physique) et pour l'intuition géométrique plutôt que les généralisations abstraites. En voici un concentré :

L'identité de Jacobi (qui force les trois hauteurs d'un triangle à être concourantes) est tout autant un fait expérimental que la rotondité de la Terre [...] mais cela revient moins cher à vérifier ! [...] Comme les mathématiques scolastiques, séparées de la physique, ne sont adaptées ni à l'enseignement, ni à aucune application éventuelle à d'autres sciences, les mathématiciens se sont fait haïr des lycéens [...] et des utilisateurs. [...] Les zélotes de la mathématique super abstraite, privés par les Dieux de l'imagination géométrique, ont éliminé toute la géométrie de l'éducation, alors que c'est à travers elle que passent le plus souvent les relations avec la physique et le réel. (V.I. Arnold, Sur l'éducation mathématique, Gazette des mathématiciens, 1998.)

Le CEREMADE n'a jamais perdu cette connexion des mathématiques avec des questions extra-mathématiques.

Merci à Abed Bounemoura, Alain Chenciner, Ivar Ekeland, Emmanuel Ferrand, Jean-Pierre Marco et Éric Séré pour leurs discussions et leur relecture. Pour (beaucoup) mieux connaître Arnold, je renvoie au livre *Arnold : swimming against the tide* (éditeurs scientifiques : Boris A. Khesin et Serge L. Tabachnikov), publié par l'American Math. Soc. en 2014.



Deux miracles au CEREMADE !

Two Miracles at CEREMADE!

This article tells the story of two miracles that happened at CEREMADE between 1986 and 1990. The discovery of the div-curl lemma and the arrival of Vladimir Arnold. In both cases, Yves Meyer is not for nothing...

↓ Le premier miracle eut lieu en 1986. Je venais d'être nommé professeur à l'Université de Paris-Dauphine. Je devais cette nomination à Jean-Pierre Aubin qui découvrit que la chaire de la Ville de Paris, la « chaire Chirac », était vacante et que je pouvais y candidater. Je le fis et me voici donc à Dauphine.

Quelques semaines après mon installation au CEREMADE, Pierre-Louis Lions débarqua dans mon bureau et me dit : « Yves, je crois que ce que je vais te raconter est vrai... ». Et il me décrivit quelque chose de si beau, de si bouleversant, que cela me sembla incroyable. Il s'agissait d'une version « améliorée » du lemme « *div-curl* » de compacité par compensation. La version « simple » du lemme avait été découverte en 1978 par François Murat et Luc Tartar. Je ne pus croire en un résultat aussi beau et, avec quelque suffisance, je répondis à Pierre-Louis : « si c'était vrai je le saurais, mais je vais y réfléchir cette nuit et demain je te le dirai ».

À l'époque je pouvais travailler toute une nuit. Bien entendu Pierre-Louis avait raison, car le lendemain matin j'avais une première démonstration à lui proposer.

Beaucoup d'autres preuves ont été trouvées par la suite.

Pierre-Louis m'a beaucoup donné. Il m'a fait connaître Ron di Perna. Il m'a ouvert les yeux sur des problèmes mathématiques passionnants. Tout cela je le dois à Pierre-Louis et à l'atmosphère magique du CEREMADE.

Un autre miracle fut la venue de Vladimir Arnold au CEREMADE. J'obtins en 1990 un détachement à l'IUF et, dans ces merveilleuses années, l'université de rattachement du lauréat se voyait attribuer un poste supplémentaire pour compenser son détachement à l'IUF. Grâce à cette disposition nous avons pu recruter Arnold. Pour le taquiner je lui disais qu'il était assis sur mes genoux.

Arnold et moi passions des heures à discuter du personnage de Victor Pavlovitch dans *Vie et Destin* de Vassili Grossman.

Vous voyez donc que les chercheurs travaillant au CEREMADE étaient un groupe d'amis s'aventurant avec joie dans la forêt, hors des chemins battus.



Le principe variationnel dont je porte le nom

The Variational principle after which I am named

Ekeland's variational principle was born from an early fascination with cones, as they appeared in early work of Bishop-Phelps, Rockafellar, and Browder. It was immediately adopted in the optimal control and non-convex analysis community, much less so in the functional analysis community, in spite of some remarkable work of Ghoussoub. Fifty years down the road, it is finally entering the standard toolkit of PDEs, but I believe we are still far from having drawn all of its consequences. For instance, together with Séré, we are developing new and stronger forms of the inverse function theorem, both in the soft (Banach) and hard (Nash-Moser) cases.

↓ Je suis très honoré que le CEREMADE m'ait demandé de parler du principe dont je porte le nom. Je vais essayer de décrire la genèse de la découverte, la manière dont elle a été accueillie, et ce qu'elle représente pour moi aujourd'hui.

Quand j'étais à l'ENS, j'avais partagé la chambre d'un externe belge, un dénommé Meeuws, qui un jour a préparé un exposé sur le théorème de Bishop-Phelps. Nous avons parlé, il m'a expliqué la démonstration, qui m'a paru extrêmement ingénieuse, car elle partait d'une idée très simple, un cône qu'il fallait placer au bon endroit. L'idée était simple, toute la démonstration en découlait naturellement, encore fallait-il l'avoir. Grâce à elle, Bishop et Phelps avaient ridiculisé un nombre considérable de collègues, qui avaient publié un nombre infini d'articles sur une catégorie spéciale d'espaces de Banach, appelés *subreflexive*. L'article de B&P s'intitulait tout simplement "A proof that all Banach spaces are *subreflexive*" !

Quelques années plus tard, j'étais en thèse avec Pallu de la Barrière, j'étudiais l'analyse convexe, et Terry Rockafellar est venu faire un cours à l'INRIA. Je l'ai étudié soigneusement, il introduisait dans un coin la notion de ϵ -sous-gradient, et j'y ai retrouvé un joli cône. Quelques années plus tard encore, j'étais déjà professeur à Dauphine, la mode était aux problèmes de contrôle optimal sans convexité, Felix Browder est venu faire un séminaire à Paris, il a expliqué les théorèmes d'Edelstein sur les projections, et il a donné quelques résultats de son cru, où j'ai rencontré de nouveau un cône sympathique.

À ce moment j'ai eu un déclic. Rockafellar travaillait avec des fonctions convexes, B&P avec des ensembles convexes, Browder avec des ensembles non convexes. Ce qui n'avait pas été fait, c'est de faire le même travail sur des fonctions non convexes (semi-continues inférieurement et bornées inférieurement). J'ai su tout de suite que c'était une bonne idée. Échaudé par l'expérience (j'avais déjà eu une bonne idée et j'avais eu le malheur d'en parler trop tôt), je me dépêche de publier une note CRAS¹, j'écris l'article correspondant, et je l'envoie à Jacques-Louis Lions pour publication.

C'est à ce moment que je découvre une grande loi de la vie intellectuelle : les idées novatrices dérangent, et si on veut les imposer il faut se battre. Lions me répond qu'il a transmis mon article au Journal de Bellman, JMAA², qui n'était même pas *peer-reviewed* ! J'étais jeune, je devais beaucoup à Lions, c'était un enterrement de troisième classe, mais je n'ai pas osé protester. Deux personnes ont sauvé le principe variationnel : Frank Clarke et Felix Browder. Frank Clarke, qui était une star montante des mathématiques appliquées, me dit « C'est exactement ce dont nous avons besoin en contrôle optimal ». Il utilise le principe variationnel pour donner une démonstration simple et puissante du principe de Pontryagin, et il le popularisa auprès de la communauté du contrôle optimal déterministe et de l'optimisation non convexe. Felix Browder comprit immédiatement ce dont il s'agissait, et me demanda un article de fond pour le Bulletin de l'AMS³,

¹ « Sur les problèmes variationnels », CRAS Paris 275 (1972), 1057-59 ; 276 (1973), 1347-48

² Ekeland, *On the variational principle*, J. Math. An. Appl. 47 (1974), 324-53

³ Ekeland, *On the variational principle*, Bull. AMS 1.3 (1979), 443-474

ce qui me donna l'occasion de faire un exposé un peu exhaustif du principe variationnel et de ses premières conséquences. Il m'invitera plusieurs fois à Chicago, il me proposera des problèmes, il travaillera lui-même sur le sujet, et il fera tout ce qu'il pouvait pour me mettre en avant. Il vient de mourir, et je lui dois énormément.

À partir de ce moment, le principe variationnel d'Ekeland vit sa vie. Il est très populaire et fréquemment utilisé dans le milieu de l'optimisation et de l'analyse dite *non convexe*, où l'on utilise des fonctions à *coins* et des dérivées généralisées, alors que le milieu de l'analyse classique rechigne à se servir de ce nouvel outil. Pendant quelques années, je cherche à vaincre cette résistance, en montrant son utilité pour résoudre des problèmes classiques. Je démontre (avec Lebourg) que si, sur un espace de Banach, il existe une fonction différentiable, qui vaut 1 en 0 et qui est nulle en dehors de la boule unité, alors toute fonction convexe sur cet espace est différentiable sur une intersection dénombrable d'ouverts denses. C'était une vieille conjecture d'Asplund, mais la communauté banachique s'en désintéresse, et cite plutôt un article postérieur qui démontre la même chose pour les espaces qui possèdent la propriété de Radon-Nikodym. Je fais également des tentatives en direction des systèmes dynamiques et de la topologie différentielle, où je démontre un théorème de Hopf-Rinow en dimension infinie, sans plus de succès.

Du côté des méthodes variationnelles, cela n'allait pas mieux. Ce sont des méthodes de min-max, c'est-à-dire que l'on cherche à identifier des cols dans un paysage montagneux. On sait qu'un col descend dans une direction et monte dans une autre, mais c'est parce que nos cartes sont en dimension deux. Si on était en dimension plus élevée, et même en dimension infinie, on pourrait descendre dans deux, trois dimensions ou plus encore : c'est ce qu'on appelle l'index de Morse du point critique, oups, pardon, du col. La situation géométrique est simple en général, mais elle est polluée par des difficultés techniques, que le principe variationnel permettait de survoler. Par exemple, il permet de démontrer que pour toute fonction différentiable et bornée inférieurement sur un espace de Banach, il existe une suite qui non seulement est minimisante, mais où, en plus, la dérivée tend vers zéro. La fameuse condition (C) de Palais-Smale stipule que de telles suites convergent. On en déduit immédiatement que si une fonction bornée inférieurement vérifie la condition (C), elle atteint son minimum ! Palais et Smale le savaient, évidemment, mais ils avaient besoin d'un outil technique pesant, le lemme de déformation, alors que là cela se faisait avec rien dans les mains ni dans les poches. Cette idée a été développée dans d'autres situations⁴, mais c'est à Nassif Ghoussoub⁵ que revient l'honneur de l'avoir développée systématiquement, et d'en avoir tiré des résultats nouveaux, permettant de localiser exactement les cols et de calculer leur index. Moi-même et Helmut Hofer en avons fait grand usage dans nos travaux sur les solutions périodiques de systèmes hamiltoniens et les capacités symplectiques,

...

⁴ Voir pour cela, le livre de Djairo de Figueiredo, « *Lecture on the Ekeland variational principle with variations and detours* », Tata Institute of fundamental research, Springer-Verlag, 1989

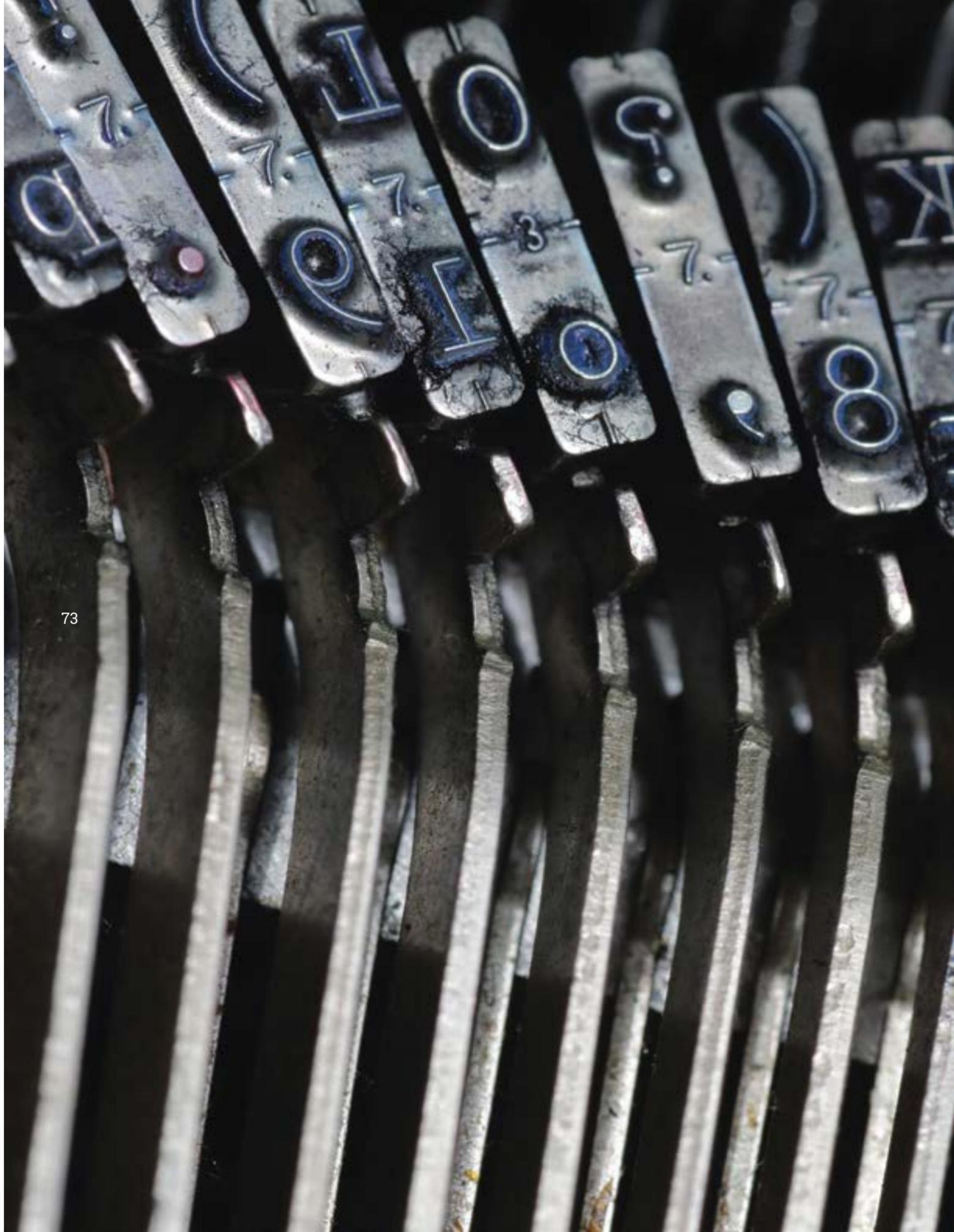
⁵ Ghoussoub, *Duality and Perturbation Methods in Critical Point Theory*, Cambridge University Press, 1993

...

mais la communauté variationnelle, dans sa majorité, reste engluée dans les anciennes méthodes, et continue à utiliser le lemme de déformation, alors qu'il est vraiment pénible et nécessite des hypothèses de différentiabilité supplémentaires.

À partir des années 80, mes centres d'intérêt changent, je travaille en topologie symplectique avec Hofer, en théorie de la demande avec Pierre-André Chiappori. Entre temps le principe variationnel fait son chemin, petit à petit. La communauté EDP commence à l'utiliser, Ghoussoub, notamment, qui s'en sert pour démontrer une conjecture de de Giorgi, plusieurs manuels d'analyse faisant autorité (notamment ceux de Michael Struwe, Jean Mawhin et Michel Willem, Philippe Ciarlet) le citent parmi les résultats classiques, et je commence à rencontrer de jeunes étudiants qui l'ont appris en classe, et qui sont tout étonnés que l'Ekeland du principe ne soit pas aussi âgé que le Pythagore du théorème.

Mais je reste persuadé qu'il n'a pas donné tout ce qu'il pouvait. Louis Nirenberg m'a dit une fois : « On aurait pu le trouver au XIX^e siècle ». Effectivement, c'est une conséquence du théorème de Baire, et les mathématiciens de l'époque, dont Baire lui-même, auraient dû le découvrir ! Pourquoi ne l'ont-ils pas fait ? Sans doute reste-t-il une part de hasard dans les mathématiques : il ne suffit pas qu'on ait les outils pour démontrer quelque chose, encore faut-il qu'une personne, un jour, ait l'idée de le faire. Cela veut probablement dire qu'il reste beaucoup de choses à trouver en mathématiques, même dans des domaines qui ont été beaucoup travaillés et que l'on croit épuisés depuis longtemps. Et s'ils l'avaient fait, qu'est-ce qui se serait passé ? Quand on pense à l'immense développement qu'a connu l'analyse fonctionnelle au XX^e siècle, on ne peut que répondre : beaucoup de choses. Les conséquences de principe variationnel d'Ekeland sont encore loin d'avoir été toutes tirées, il y a un siècle de retard à rattraper. Depuis mon départ à la retraite de Vancouver et mon retour au CEREMADE, je m'emploie à combler ce retard. Déjà, j'ai obtenu un théorème de surjection locale plus puissant, sous des hypothèses plus faibles, que les théorèmes connus, et, en collaboration avec Éric Séré, nous sommes en passe d'obtenir des résultats similaires pour des opérateurs avec perte de différentiabilité, style KAM. J'ai encore d'autres idées en tête, et j'espère vivre assez longtemps pour les mener à bien.



L'économie mathématique à Dauphine

Mathematical Economics at Dauphine

The mathematicians at the University of Paris-Dauphine were the first in the world to create a full-fledged mathematics program where the teaching of physics was dropped in favor of economics. It was an instant success, and has now become a national program in France. This program was instrumental in introducing in France the ideas of Gérard Debreu, and many of the present-day luminaries of French academia went through this program, either as students or teachers. This transmission of ideas across the Atlantic was facilitated by a close connection with the Economics Department at the University of Chicago, notably through José Scheinkman. At the end of the period extending from the creation of Paris-Dauphine to the nineties, mathematical economics had been entirely absorbed into economic theory.

↓ Je ne sais pas quand est née l'économie mathématique (probablement à Vienne, entre les deux guerres, quand Franz Alt montrait que les relations de préférence peuvent être représentées par une fonction d'utilité, et qu'Abraham Wald donnait la première démonstration de l'existence d'un équilibre walrassien), mais je sais quand elle est morte. C'était en 1993, quand il était question de créer une section d'économie mathématique au CNU. Claude Allègre, qui était alors en charge des enseignements supérieurs, m'avait dit que si Jean-Jacques Laffont acceptait d'en faire partie, la section serait créée. Coup de téléphone à Jean-Jacques qui me répond : « Il n'en est pas question, nous ne sommes pas des économistes mathématiciens, nous sommes des économistes ».

Ceci dit, dans les années 70, au moment de la création de Dauphine, l'économie mathématique entamait sa maturité. Elle se présentait comme une science rigoureuse, basée sur des axiomes et procédant par démonstration, *more geometrico*. Le petit livre de Gérard Debreu, "Théorie de la valeur", y jouait le rôle fondateur que les "Éléments" d'Euclide avaient joué en géométrie. Les problèmes logistiques de la guerre moderne avaient conduit à l'essor des méthodes scientifiques de gestion, qui avaient trouvé leur Mecque à Princeton, autour de John von Neumann (citons Harold Kuhn, Albert Tucker, John von Neumann, Oskar Morgenstern, et parmi leurs élèves, John Nash, John Milnor, Lloyd Shapley) et qui avaient été introduites en France sous le nom de recherche opérationnelle : il s'agissait essentiellement de programmation linéaire, d'analyse marginale, de théorie des jeux et de contrôle optimal. Gérard Debreu ne faisait qu'ouvrir un champ nouveau à toutes ces techniques auxquelles nombre de mathématiciens et d'ingénieurs avaient déjà été formés, à la différence des économistes. Ce fut donc aux mathématiciens et aux ingénieurs (dont nombre de polytechniciens qui firent le pèlerinage de Berkeley) de populariser ces méthodes. Curieusement, la résistance que rencontraient ces nouvelles idées ne portait pas sur ce qui m'apparaît aujourd'hui comme leurs criantes insuffisances (analyse très superficielle des processus de production, manque d'intérêt pour les biens publics et les moyens de les financer, voile opaque jeté sur la distribution initiale des richesses), mais sur la théorie de la valeur elle-même, où nous devions défendre la valeur d'échange à la Debreu contre la valeur travail à la Marx. Durant les premières années de Dauphine, avec des étudiants fraîchement émoulus des barricades de 1968, cela donnait lieu pendant les cours à des débats homériques où excellait le regretté Pierre-Marie Larnac.

Revenons au cadre dauphinois. En 1968, tout était incertain, mais tout était possible. Sous l'impulsion de Jean-Pierre Aubin, les matheux ont fait le choix de Dauphine, c'est-à-dire qu'ils ont voulu avoir un département de mathématiques à part entière et de renommée mondiale. Mais ils ont compris qu'ils ne pourraient pas faire concurrence à Paris-6, Paris-7 ou Orsay, où se retrouvait toute la grande tradition française de mathématiques pures ou appliquées à la physique. Il restait un créneau : les mathématiques appliquées à l'économie. Il nous a semblé que les mathématiques

étaient, non pas une science, mais un langage, qu'il fallait donc l'enseigner en même temps qu'une science véritable, mais qu'il n'y avait aucune raison que cette science soit la physique ou la chimie. Et c'est ainsi que, les premiers dans le monde, profitant du fait que Dauphine était un centre expérimental et que nous n'étions pas tenus par les diplômes nationaux, nous avons lancé dès 1970, en premier et en troisième cycle, une formation expérimentale, appelée MD, Mathématiques de la Décision, combinant les mathématiques, l'informatique et l'économie. Grâce à son succès quasi immédiat, elle devait plus tard servir de modèle aux futurs diplômes nationaux de MASS, Mathématiques Appliquées aux Sciences Sociales.

Tout cela pour dire que les mathématiciens de Dauphine ont enseigné l'économie mathématique bien avant de faire de la recherche dans ce domaine ! Moi-même, j'ai écrit deux livres sur le sujet, j'ai enseigné la théorie des jeux pendant longtemps, c'était même le seul cours sur le sujet disponible sur la place de Paris. Jean-Pierre Aubin assurait l'analyse convexe et Alain Bensoussan le contrôle optimal stochastique. Les cours d'économie proprement dite étaient enseignés par Pierre-Marie Larnac, qui avait été formé par Maurice Allais à l'École des Mines, et qui durant toute sa carrière à Dauphine a fait le pont entre les mathématiciens et les économistes. Parallèlement se développait l'UER d'Économie Appliquée, qui mettait l'accent sur le côté concret de l'économie, notamment la collecte et l'analyse des données, et sur la politique économique et monétaire. Elle pouvait s'appuyer sur des compétences reconnues en statistiques : le premier professeur de mathématiques nommé à Dauphine était un statisticien, Pierre Thionet, spécialiste des sondages, et il était accompagné d'un maître-assistant, Alberto Holly, qui devait faire une brillante carrière académique en Suisse. Parmi les économistes qui venaient d'arriver, un certain nombre suivit cette orientation, Michel Poix, par exemple, ou Thierry Granger, et donna à la maîtrise d'Économie Appliquée, puis au magistère, une tonalité très économétrique.

L'aventure de l'économie mathématique à Dauphine a donc commencé par les enseignements, mais la recherche ne devait pas tarder à suivre. Parmi la multitude de diplômés, quelques-uns se sont orientés vers la recherche, et devaient se faire un nom. Citons Jean-Michel Lasry, Hervé Moulin, Bernard Cornet, Georges Haddad, Jean-Charles Rochet, Pierre-Yves Geoffard, Elyès Jouini, autant de normaliens qui sont venus à Dauphine parce qu'ils étaient attirés par l'économie mathématique, et qui sont devenus économistes. Citons aussi Bruno Bouchard, qui a suivi le chemin inverse, de l'économie vers les mathématiques. Il ne faut pas oublier que durant cette même période, Jean-Jacques Laffont était maître-assistant à Dauphine, et son influence se faisait déjà sentir : il travaillait sur l'asymétrie d'information, il venait dans mon bureau me poser des problèmes que je trouvais insolubles, et qui n'ont été résolus par Sannikov que vingt ans plus tard, il poursuivait ces conversations avec Rochet, et il avait déjà

...

recruté Jean Tirole à l'École Polytechnique. Bref, cela a été une période d'intense activité pour cette génération, alors que nous, les fondateurs, nous étions plutôt pris par nos cours et l'administration, tout en essayant de suivre nos élèves.

Un événement imprévu vint ouvrir Dauphine à l'influence transatlantique. En 1974, lors d'un séjour au département de mathématiques de l'Université de Chicago, j'ai été contacté par deux jeunes brésiliens, qui étaient au département d'économie. Il s'agissait de José Scheinkman et d'Aloiso Araujo. Cela a été le début d'une longue collaboration, José notamment a fait plusieurs longs séjours à Paris, soit sur un poste invité à Dauphine, soit dans le cadre d'une chaire Blaise Pascal, et son influence scientifique s'est faite sentir sur toute la génération que nous avons formée, et *in fine* sur tous les économistes parisiens. De notre côté les séjours à Chicago ont continué, au département d'économie cette fois, où j'ai eu Paul Romer comme élève. C'est ainsi que Dauphine a été la première université à décerner un doctorat Honoris Causa à Bob Lucas, dès 1990, avant même son prix Nobel.

Mais déjà on sentait la fin d'une époque. L'équilibre général ne suscitait plus guère d'intérêt, et toute prétention à expliquer l'économie dans son ensemble avait disparu au profit de la théorie des contrats et des mathématiques financières. L'explosion de la finance a détourné les meilleurs esprits de la théorie économique, et même de la recherche, au profit du calcul stochastique.

Suivant la vieille règle de Thomas Kuhn, l'ancienne génération de mandarins, celle qui avait résisté à la mathématisation de la profession, a fini par prendre sa retraite, et a laissé les places au jury d'agrégation à une nouvelle, pour laquelle la modélisation fait partie intégrante de l'analyse économique. L'économie mathématique s'est dorénavant fondue dans l'économie.

Quelles leçons est-ce que je retiens de ces cinquante années ? Tout d'abord, que Dauphine a parfaitement réussi la transition d'une génération à l'autre. En mathématiques comme en économie, il a fallu en très peu d'années (puisque tout le monde avait été recruté en même temps) assurer le transfert du flambeau. Je constate avec joie l'infinie compétence de ceux qui sont pour moi de jeunes collègues, mais qui sont en réalité des chercheurs brillants et établis, et leur attachement à cet établissement. C'est pour eux que j'écris ceci, car ce qui se transmet le moins bien, c'est la mémoire.

Je voudrais dire aussi que cette nouvelle génération d'universitaires doit relever des défis plus importants que ceux que nous avons affrontés. En 1968, il s'agissait d'ouvrir l'université : le nombre d'étudiants dans l'enseignement supérieur allait décupler en quelques années, et il fallait adapter nos formations pour assurer un métier à tous ces nouveaux arrivants. La théorie était disponible, et le marché répondait vaillamment à ce qu'on attendait de lui. Aujourd'hui, la théorie est scandaleusement en retard sur le monde : les inégalités



se creusent, l'intelligence artificielle bouleverse la société, et la planète ne peut plus supporter une croissance exponentielle. Comment continuer à parler d'asymétrie d'information dans un monde où les GAFAs savent tout sur nous ? Peut-on vraiment continuer à enseigner que l'optimum de Pareto est une bonne chose, en sachant pertinemment que la redistribution des gains n'aura jamais lieu, et que les gagnants ne compenseront pas les perdants ? N'est-il pas grand temps de parler du réchauffement climatique à nos étudiants ? Si on ne peut pas résoudre les problèmes, il faut au moins les poser.



L'économie organisée de marché

The Organized Market Economy

Our economy is carelessly defined as a market economy. Organized market economy is the right definition. As such it represents a kind of oxymoron. Provided the concepts of organization and market are strictly defined, their main difference deals with their relation to time. Our Economies are driven by business companies, but also by a wide variety of actors: public agencies, trade unions, lobbies, associations, NGOs, medias. After having underlined the particularities of the business firms and their decision processes, we show how they interact with markets through a wide variety of channels. Their articulations act upon the economic efficiency of a country. The quality of the management of organizations influences economic growth and its discrepancies. Their influence has been underestimated for a long time. Therefore, the analysis of economic situation should peer into their strategies and fill the gap between macroeconomics and microeconomics.

↓ Le Centre universitaire Paris-IX Dauphine, ouvert en novembre 1968, s'est vu d'emblée confier la mission d'enseigner les sciences des organisations et de la décision. Il a donné aux économistes l'occasion de renouveler un regard dominé par le paradigme de l'économie des marchés parfait et imparfaits et par la « mécanique des quantités globales » héritée de la révolution keynésienne. Compte tenu des collaborations dont nous avons bénéficié personnellement¹, nous résumerons nos principales publications sous le thème de l'Économie Organisée de Marché (ÉOM). Ce, dans la perspective de démontrer l'influence du facteur organisation sur le fonctionnement et les performances de nos économies. On avait l'habitude de ne voir dans l'entreprise qu'un point sans dimension et d'attribuer l'efficacité économique des activités principalement aux structures de marché. En amont de l'offre des marchandises disponibles il faut accéder aux processus de production et éclairer dans toute leur technicité les opérations, les compétences et les responsabilités engagées.

MARCHÉ - ORGANISATION : DEUX CONCEPTS OPPOSÉS

L'ÉOM est une économie mixte. Non pas au sens banal du terme, celui de la coexistence entre secteur public et secteur privé, mais au sens où les échanges marchands et les organisations tant privées que publiques et sociétales vivent en interaction permanente. Elle marie deux concepts opposés : le marché et l'organisation. Ces deux modes de coordination des activités diffèrent essentiellement dans leur rapport au temps. Les liens noués dans un contrat de vente se caractérisent moins par l'absence de hiérarchie que par le fait que l'échange pur du superflu contre le nécessaire peut n'avoir ni passé, ni avenir.

Toute autre est la dimension temporelle des entreprises. Ce sont des acteurs singuliers. Chacune a son histoire ; le paradigme du marché pur et parfait nie ce fait ; quand il insiste sur la substituabilité du capital au travail, il néglige et leur complémentarité et le poids des coûts irrécupérables. D'autre part, autant sinon plus qu'une hiérarchie, l'entreprise forme un groupe doté d'une conscience collective indissociable d'un projet dont elle assume les risques. En s'investissant dans son organisation, la firme affiche l'ambition de durer. Et de survivre en se réorganisant. Le temps à venir mesurera le bien-fondé de cet actif immatériel en termes de rapport bénéfices / coûts. Sa viabilité ne dépend pas d'un choix isolé, mais d'un ensemble de décisions auxquelles les techniques d'optimisation apportent leur concours sans pour autant le commander. Ainsi la théorie de l'oligopole focalisée sur le couple prix / part de marché rend mal compte des stratégies déployées par les concurrents pour adapter leur organisation à la taille évolutive de leurs marchés.

La raison pour laquelle les économistes ont privilégié les transactions marchandes et reconnu tardivement le rôle des entreprises en tant qu'organisations, tient à des commodités de mesure et d'appréhension statistique ; on évalue plus facilement les prix et les quantités de biens

qui changent visiblement de propriétaires que les données de la vie intérieure des organisations. Quatre concepts contribuent en effet à définir une organisation : autonomie², stratégie, information, frontières.

Dans le modèle de base, l'autonomie d'une entreprise capitaliste dépend de son aptitude à développer la capacité d'autofinancement à un rythme accordé au taux de croissance du chiffre d'affaires qu'elle juge nécessaire pour se maintenir dans la concurrence. Pour conserver sa liberté d'initiative, une entreprise en difficulté doit convaincre ses actionnaires de sacrifier en tout ou partie leurs dividendes. Si le taux d'autofinancement est durablement inférieur au taux de croissance du chiffre d'affaires désiré, l'équipe dirigeante, dépendant de plus en plus de ses créanciers, risque d'être évincée à la suite d'une prise de contrôle par des capitaux extérieurs ou par faillite. La théorie des relations d'agence a apporté un début de réponse sur les conflits d'intérêts entre dirigeants et actionnaires extérieurs. Mais ce n'est qu'un début. En effet, que sont devenus les actionnaires extérieurs sinon en grande partie des organismes gestionnaires d'actifs et des fonds de pension soumis à leurs propres contraintes de rendement et de liquidités ?

Dans leur principe, le profit et l'autofinancement trouvent leur justification dans l'objectif légitime de maintenir la société en vie et sous réserve qu'ils ne proviennent pas d'une rente de monopole. On doit donc s'inquiéter pour l'avenir de sociétés prospères qui rachètent leur capital pour mieux rémunérer leurs actionnaires au lieu de développer leur activité. La question de la légitimité sociale de l'entreprise revêt une portée nouvelle aujourd'hui sous la pression des syndicats et d'ONG à orientations caritatives, éthiques et environnementales. Encore faut-il que la responsabilité sociale de l'entreprise ne surcharge pas trop la barque.

Quand cesse la confusion entre l'entreprise et son dirigeant supposé rationnel, que devient *l'homo economicus*, sinon un être « normal » ? Avenir incertain, rationalité limitée, rationalité procédurale, autant de concepts éclairant les jeux de pouvoir, les compromis négociés et les improvisations tâtonnantes au fil desquels les décisions s'élaborent, parfois dans l'urgence. Le concept de stratégie tente malgré le flou de ses contours d'assurer une certaine cohérence entre l'environnement de la firme, ses ressources et ses objectifs. Parmi ses ressources, l'information joue sous de multiples formes un rôle stratégique. Avant les années 1970, le secret des affaires la rendait opaque vis-à-vis de l'extérieur ; les dirigeants filtraient soigneusement leurs communications. Le progrès des télétransmissions, puis l'avènement du web 2.0 contribuent à brouiller les frontières délimitant les entreprises en fonction du périmètre de leurs capitaux propres. Dans nombre d'activités, des entreprises leaders animent au sein d'un périmètre élargi des réseaux de coopération de toute sorte.

...

¹ Nous avons collaboré successivement avec l'Institut de l'entreprise (1969-2000), le Commissariat général du Plan (1968-1976), le Conseil Économique et Social (1974-1984), la Direction générale de la Concurrence et de la Répression des fraudes (1995-2000) et, à Dauphine, avec les membres du Centre de Recherches sur la Dynamique des Organisations - CERDO, puis CERESA, puis EURISCO en collaboration avec J.-M. Siroën & N. El Mekkaoui (1980-2003).

² Comme aux diverses organisations qui offrent leurs services à la société en contrepartie des ressources qu'elles sont habilitées à percevoir à cette fin : impôts et taxes, cotisations, subventions, dons, legs, bénévolat...

...

ORGANISATION - MARCHÉ : LEURS ARTICULATIONS EN PRATIQUE

Pour peu qu'on les définisse avec rigueur, marché et organisation sont aux antipodes l'un de l'autre. Ils forment toutefois un couple déterminant pour l'activité économique et marqué par la discordance des rythmes entre ses deux composantes. De même que Robinson Crusoe n'attend pas Vendredi pour aménager son agenda, de même l'organisation précède le marché.

L'influence des organisations privées et publiques sur la croissance d'un pays est indissociable de leur diversité. Elle s'exprime dans leurs missions plus ou moins accordées à celles de l'entreprise³ ; elle transparaît à travers la pertinence de leurs objectifs et la qualité de leur management. Certaines organisations disciplinent les marchés (AMM, AMF, AOP, Régulateurs de réseaux, AFNOR, agences de notation...). En outre, grilles tarifaires, abonnements, prélèvements bancaires, dépenses contraintes reflètent l'ambition organisatrice des administrations et des entreprises. Syndicats, groupes de pression, médias et ONG exercent une influence considérable mais sous-estimée sur les performances de l'économie nationale. Pour cette raison, le rapport coût - efficacité de leur existence et de leur gestion mérite d'être systématiquement évalué.

L'ANALYSE CONJONCTURELLE REVISITÉE

En s'ouvrant à l'international, nos pays ont placé les économistes contemporains en face des réalités du facteur organisation. Ainsi l'État Français s'inquiète-t-il depuis le modèle Fifi de la compétitivité des entreprises. Les autorités de la concurrence imposent souvent les groupes absorbeurs dans les fusions-acquisitions à céder une partie de leurs actifs. Et, si la mondialisation incite les concurrents d'un même secteur à étirer leurs chaînes de valeur à l'échelle planétaire, la libération des échanges confronte gagnants et perdants à l'échelle politique de la nation. La mondialisation ouvre enfin un vaste champ d'action aux ONG à objectifs éthiques (commerce équitable) et environnementaux. L'organisation affiche son omniprésence planétaire.

Les modèles de croissance privilégient les quantités de travail, de capital et de R&D engagées dans la production. Une bonne moitié du phénomène reste dans l'ombre. Il faut décomposer les flux, les stocks et les moyennes indiciaires pour éclairer la responsabilité des opérateurs influents dans l'évolution de la conjoncture. La désagrégation préconisée par Perroux s'arrêtait aux industries. Il faut la pousser à un niveau plus fin pour éclairer le rôle des décideurs de poids stratégique.⁴ Le repérage des organisations, moteurs ou freins, comblerait le vide entre macroéconomie et microéconomie.

La transition numérique rebat les cartes entre organisation et marché sans pour autant éliminer ce qui fait leurs différences ni le caractère chaotique de leurs relations.

³ L'ordonnance de 1986 sur la liberté des prix et de la concurrence a changé la donne sur ce point.

⁴ Par exemple les banques américaines et les subprimes, et en France le transport ferroviaire, la grande distribution de produits alimentaires.



La création d'un lieu de débat énergétique inédit

An Original Forum for Discussing Energy Issues

The Centre de Géopolitique de l'Énergie et des Matières Premières (CGEMP) was created in 1982 for a closer cooperation between University and energy companies. Since, the energy industry has been deeply transformed. Originally, in France, the energy activity was almost entirely state controlled, through a few number of vertically integrated monopolies (coal, electricity, natural gas). After 1990, the building of the common market brought market liberalization, market opening and the emergence of energy regulation. This introduced a complete shift in our research topics and methodology, along with the following questions: How to define and limit the public service? How to manage the unbundling? How to define the rules and principles of regulation? How to evaluate market power on power markets? The approach of industrial organization became the main guideline for energy economics. In addition, global warming became a new fundamental dimension of the energy question. All these dimensions have been, progressively, addressed in the CGEMP research program.

↓ Le Centre de Géopolitique de l'Énergie et des Matières Premières (CGEMP) – désormais équipe du LEDa – a été créé en 1982 par André Giraud qui avait été ministre de l'Industrie – sous la présidence de Valéry Giscard d'Estaing (et sera ministre de la Défense en 1986) – et est devenu professeur associé à Dauphine au moment de l'alternance politique, après avoir occupé des fonctions éminentes au sein des entreprises du secteur énergétique (Cogema, EDF) ou dans la recherche de ce champ (CEA). L'idée centrale était d'associer davantage les entreprises aux travaux universitaires sur les questions énergétiques, d'où son choix d'ancrage à Dauphine à l'évidence. Cette période faisait suite aux deux chocs pétroliers et André Giraud, ingénieur – qui présida même le conseil d'administration de Polytechnique dans les années 1970 – se préoccupait certes de technologie, mais plus encore de géopolitique, suite à ces fracas internationaux – et pour avoir également veillé à l'approvisionnement français en uranium. Il crée ainsi le CGEMP en souhaitant en faire un lieu de débat inédit, mêlant géopolitique, technologie et économie, et largement ouvert à l'international – vers l'Europe, certes, mais également, les États-Unis, l'URSS et le monde méditerranéen. Les archives – très denses – établies alors témoignent de la richesse de ces débats, tout au long des années 1980 et au-delà, dans un secteur qui ne s'était pas caractérisé auparavant par des échanges très ouverts, dans des agoras académiques... Depuis lors, le monde énergétique a connu plusieurs bouleversements, confortant l'intuition initiale d'André Giraud à la création du CGEMP : la nécessité de débattre entre chercheurs, industriels, politiques, ...

DES MONOPOLES PUBLICS ... À L'INTERNET DE L'ÉNERGIE

À cette époque, l'énergie était une affaire quasi-monopolistique et étatique : le charbon, l'électricité et le gaz naturel étaient organisés en monopoles, *stricto sensu*, par des entreprises publiques intégrant verticalement les chaînes de valeur énergétiques ; le pétrole était géré par un système plus ouvert de monopole délégué (loi de 1928) qui, sous contrôle étatique, confiait les opérations pétrolières à des entreprises publiques (Elf Aquitaine) ou dans la sphère d'influence de l'État (Total). Cette organisation traditionnelle a été largement bouleversée par l'intégration européenne, conduisant à une libéralisation progressive des marchés de l'énergie et, concomitamment, par l'émergence d'objectifs de transition énergétique bas carbone face aux impératifs de lutte contre le réchauffement climatique. La recherche universitaire a donc été confrontée à ces bouleversements majeurs qui modifiaient à la fois les structures et les comportements et qui faisaient apparaître de nouvelles formes d'action publique comme la régulation. Ainsi, l'économie de l'énergie, largement centrée initialement sur une optimisation des coûts, s'est-elle considérablement enrichie d'autres approches économiques : économie industrielle, économie de la régulation, économie de l'environnement, ...

La culture des monopoles, garants de l'intérêt général et des services associés, prédominait dans de nombreux

pays européens, y compris la Grande-Bretagne où l'énergie, d'avant Margaret Thatcher, était placée dans le périmètre du secteur public. Cette culture publique était tout particulièrement prégnante en France *via* – au-delà de la maîtrise du capital – un strict contrôle des investissements et des prix, en cohérence avec la vision planificatrice de l'après-guerre. Citons deux exemples : le plan de régression des houillères qui étalonnait la fermeture progressive de toutes les mines, sachant que le charbon français était condamné à ne plus être compétitif face aux produits pétroliers (puis face au nucléaire). Ce plan comportait un volet important procédant de la couverture des coûts sociaux associés à ces fermetures progressives. Autre exemple : après le choc pétrolier de 1973, la France – exemple singulier au monde d'un tel volontarisme – se lance dans un immense programme nucléaire piloté par EDF, qui implique la construction de plus de cinquante réacteurs sous licence américaine en quelques décennies. La recherche était à cette époque focalisée sur la tarification, l'optimisation, le choix des investissements et la planification énergétique, conformément à cette mainmise publique.

Le projet européen est de créer un marché unique sur lequel circuleraient librement les hommes, les marchandises, les capitaux et les services et qui fonctionnerait selon les principes de la libre concurrence, l'énergie n'ayant pas vocation à faire durablement exception. Personne ne songeait – tout au moins en France – que les électrons, les molécules de gaz ou de pétrole seraient concernés par la liberté de circulation. On imagine à quel point le système français, étatique et centralisé, est pris à rebours par les directives de libéralisation de l'électricité et du gaz au cours des années 1990. La politique française fut d'ailleurs longuement animée par une opposition à l'application de ces principes au champ de l'énergie. Mais le mouvement s'amorce : avec la privatisation de *British Gas*, puis de l'électricité en Grande-Bretagne (pionnière de ce mouvement), ou bien encore le déploiement de marchés de l'électricité aux États-Unis, émergent, pour la recherche, des problématiques nouvelles, parmi lesquelles la redoutable question du *market design*.

En France, si la libéralisation s'opère assez rapidement pour le pétrole, un secteur déjà soumis à une concurrence internationale, elle sera plus difficile et plus longue pour l'électricité et le gaz naturel, notamment dans la mise en œuvre de « l'*unbundling* », dissociation entre les activités qui doivent être régies par la concurrence et les activités de monopole naturel, qui doivent être régulées *via* une autorité indépendante (Commission de Régulation de l'Énergie dans le cas français), ou bien encore pour la restriction des tarifs – encore en vigueur à ce jour pour les petits consommateurs. L'économie de l'énergie converge là avec l'économie industrielle et l'économie de la concurrence : sur quel marché pertinent doit-on apprécier les effets de la concurrence ? Comment mesurer le pouvoir de marché et ses abus ? Comment évaluer les tarifs pratiqués par les monopoles régulés ?

...

Comment assurer l'accès de nouveaux entrants aux réseaux en monopole ?

Avec le protocole de Kyoto, signé en 1997, le changement climatique sort des cénacles académiques et gagne progressivement une place dans le débat public ; de sorte que l'économie de l'énergie ne peut rester un champ de recherche sur l'organisation de grands systèmes ou la formation de coûts et des prix, mais doit également converger avec l'économie de l'environnement - compte tenu de la prédominance de la combustion des énergies fossiles dans l'effet de serre. L'accident nucléaire de Fukushima (2011) introduit encore un degré de complexité : en Europe, l'Allemagne, la Suisse et l'Italie rejettent le nucléaire et - à quelques exceptions comme la Chine ou la Russie - l'avenir de cette filière énergétique - pourtant décarbonnée - fait question. En France, un long débat (2012-2015) aboutit à la loi sur la transition énergétique et la croissance verte définissant les contours d'un système énergétique non seulement moins intense en carbone, mais également plus diversifié et plus décentralisé. L'émergence d'un nouveau paradigme augure de nouvelles problématiques : comment développer plus rapidement les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique, sous contrainte budgétaire et en préservant la stabilité du système énergétique - électrique, singulièrement ? comment - dans le cas français - assurer une décrue du nucléaire ? comment combiner transition énergétique et transition numérique ? Certaines questions ont trouvé un écho durant la COP 21 de 2015 et l'Accord de Paris qui constitue une étape essentielle dans la gouvernance du climat, et a fait l'objet de nombreux travaux et débats au sein de notre université.

ADAPTER LES FORMES ET OUTILS DE LA RECHERCHE AUX TRANSFORMATIONS DU MONDE ÉNERGÉTIQUES

Durant ces bientôt quarante années, le CGEMP a adapté ses outils pour se confronter à ces problématiques nouvelles : les premiers chercheurs du CGEMP se confrontaient à l'analyse des monopoles, tandis que l'actuelle équipe a devant elle une transition qui pourrait conduire, au milieu de ce siècle, vers une sorte d'Internet de l'énergie - au terme d'une convergence avec le numérique. Cette évolution a impliqué un enrichissement du portefeuille des outils utilisés (économétrie des prix énergétiques et du CO₂, modélisation micro et macroéconomique) et tout en gardant le lien des origines avec l'industrie. Cela, en particulier, par la création de plusieurs chaires : Économie du Climat (créée en 2009), Marchés Européens de l'Électricité (2012), Économie Gazière (2016, en coopération avec l'École des Mines au sein de PSL), Blockchain Énergie-Climat (en projet). Ce lien s'est également traduit par la tenue d'un Forum de l'énergie - en partenariat avec ENGIE - depuis 10 ans et qui remplit chaque année le grand amphithéâtre de l'Université. Surtout, dans les deux masters animés par le CGEMP - DEA d'Économie Industrielle, puis Master Énergie, Finance, Carbone - plus de 500 étudiants auront été diplômés, et plusieurs dizaines de thèses



auront été soutenues, ce qui constitue une contribution notable à l'accompagnement des transformations du monde de l'énergie. Enfin, les fondateurs du CGEMP et l'actuelle équipe restent liés par l'intermédiaire de Pierre Zaleski, ingénieur nucléaire de premier plan. Il fut l'un des hommes-clés à l'origine de la filière française, présida la *European Nuclear Society*, fut professeur à UCLA, ... Pierre Zaleski était présent auprès d'André Giraud en 1982, est resté depuis fidèle au CGEMP et accorde maintenant une amitié bienveillante aux membres d'une équipe dont le benjamin a à peine 30 ans.



Le laboratoire d'économie et de gestion des organisations de santé (LEGOS) – 1973-2000

Laboratory of Health Economics and Management of Health Organisations (LEGOS) – 1973-2000

Le Legos (laboratory for the management of health organisations) was created by Emile Levy in 1973 and managed by him until 1998. At the beginning, it was a small structure that deliberately chose to carry out research in health economics, at a time when this discipline was being ignored by economists (only a few universities, Paris 1, Dijon, Lille, Lyon, had recruited health economists) and whose academic nobility was not yet established.

↓ Le Legos (laboratoire de gestion des organisations de santé) a été créé par Émile Levy en 1973 et dirigé par lui jusqu'en 1998. Au départ c'est une structure de petite taille qui fait délibérément le choix de mener des travaux de recherche en économie de la santé, à l'époque où cette discipline est laissée de côté par les économistes (seules quelques universités, Paris 1, Dijon, Lille, Lyon, ont recruté des économistes de la santé) et dont la noblesse académique n'est pas acquise.

UNE RECHERCHE STRUCTURÉE AUTOUR DE PLUSIEURS AXES

La première approche du système de santé est descriptive avec un effort pour contribuer à la production de données fiables (tant au niveau du recueil des données que de contributions méthodologiques), un intérêt pour les comptes de la santé et le coût de la santé.

Dans le même temps, des travaux plus systémiques, dans l'air du temps des années 1970, analysent les principes de fonctionnement du système de santé et ses résultats. Au-delà de l'analyse des dépenses, il s'agit de savoir quels sont les biens et services financés et les circuits de financement, les caractéristiques socio-économiques des patients, les actes effectués par les professionnels... Dans l'analyse des coûts une discussion importante porte sur la manière dont les coûts indirects de la maladie (pertes de production) sont en partie compensés par des mécanismes de remplacement dans le cadre de l'organisation sociale. Dans une perspective socio-économique et globale, toute une série de recherches qualitatives étudient les comportements des acteurs et des institutions sanitaires, thèmes très peu traités jusque-là par les économistes : l'hôpital public et privé, le comportement des médecins, l'hospitalisation à domicile et la production familiale de santé, les réseaux de soins coordonnés, l'hypertension, l'éducation sanitaire face aux résistances socio-culturelles, le coût de l'alcoolisme... Ces recherches sont financées principalement par des contrats publics.

Cette vision régulationniste des interdépendances entre acteurs est développée dans plusieurs ouvrages de référence (*l'économie du système de santé*¹, *le coût de la maladie*², *la croissance des dépenses de santé*³). Le système de santé s'analyse en trois volets : la description des états de santé de la population, la production et la répartition des biens et services médicaux et les circuits de financement de la dépense de santé. La croissance des dépenses de santé est articulée aux transformations des pratiques médicales et aux mutations sociales. La question se posera un peu plus tard davantage en termes de marché (demande, consommation, offre, production, croissance). L'équipe initiale comprend principalement É. Levy, G. Duménil, F. Fagnani, M. Bungener.

Un second champ d'investigation des travaux du Legos concerne l'évaluation médico-économique (E. Levy, C. Le Pen, H. Lafarge). Le souci des pouvoirs publics de contrôler la croissance des dépenses de santé implique de disposer d'outils économiques adaptés, ce qui n'a rien

¹ E. Levy, M. Bungener, G. Duménil, F. Fagnani, *Économie du système de santé*, Dunod, 1975.

de la maladie, Tome 2 : *Le Coût social du tabac*, Dunod, 1977.

² (2) E. Levy, M. Bungener, G. Duménil, F. Fagnani, *Le Coût économique et social de la maladie*, Tome 1 : *Évaluer le coût*

³ (3) E. Levy, M. Bungener, G. Duménil, F. Fagnani, *La Croissance des dépenses de santé*, *Economica*, 1982.

d'évident compte tenu des logiques des acteurs du secteur de santé. L'évaluation médico-économique des traitements, l'efficacité des stratégies thérapeutiques donnent donc lieu à de nombreuses recherches (concernant la rougeole, la grippe...)

Le Legos a largement participé au débat sur l'efficacité et l'équité du système de santé, comment la mesurer, comment l'améliorer. Il a pris part également à la réflexion méthodologique sur les méthodes coûts avantages, coûts-efficacité et sur les QUALYs. La discussion a porté sur l'évaluation des avantages et la difficulté à évaluer de façon monétaire l'ensemble des avantages liés à un traitement ou une stratégie thérapeutique, et en particulier les avantages non-marchands. À la suite, cela a conduit à des travaux sur le coût de la vie humaine, sur les indicateurs d'efficacité à utiliser en économie de la santé et sur la manière d'introduire de la qualité dans la notion d'efficacité.

Dès les années 1980, l'étude des prix du médicament a concentré toute une série de travaux en réponse à une demande sociale du secteur privé, soucieux de disposer d'outils et de contributions méthodologiques.

Les débats sur l'évaluation ouvrent sur des réflexions plus théoriques. Se pose la question des limites d'une recherche exclusivement appliquée. Une exigence plus théorique s'exprime à l'occasion, entre autres, d'un article sur la demande de santé⁴.

La question se pose alors en des termes désormais classiques : demande de soins ou demande de santé, différence entre les déterminants de l'offre de soins ambulatoire et l'offre de soins hospitaliers, régulation par le marché ou gestion centralisée, place à donner à la théorie de l'agence, à la théorie des conventions...

Un troisième axe est celui du médico-social et du vieillissement qui émerge également au début des années 1980 (ME Joël, M. Bungener, A. Colombini, P. Roussel, B. Fermon, Y. Joncour).

Les recherches du Legos ne se sont jamais cantonnées strictement au pur sanitaire (hôpital et médecine de ville) mais se sont intéressées aussi au secteur médico-social (personnes âgées et handicapées, protection judiciaire de la jeunesse), aux maladies chroniques, aux liens entre vieillissement et santé, entre chômage et santé, entre inégalités sociales de santé et prévention, aux aidants des personnes âgées, à la maladie d'Alzheimer... Les deux thèmes majeurs sont :

- La protection sociale des personnes âgées en France et en Europe et les politiques de prise en charge. Des travaux récurrents, pour la Communauté européenne ont porté d'une part, sur la description du système de protection sociale des personnes âgées en France et d'autre part, sur la comparaison de la prise en charge et du financement de la dépendance dans différents pays européens. L'objectif de tous ces travaux est la

⁴ E. Levy, F. Benhamou, M. Bungener, ME. Joël, H. Lafarge, C. Le Pen, « La Demande en économie de la santé », *Revue d'Économie Politique*, 98^e année, n°4, juillet-août 1988
C. Le Pen, « Capital humain et économie de la santé », Communication aux Journées de l'AFSE, université de Bourgogne, Dijon, 28 mai 1993

...

compréhension des caractéristiques économiques de ces systèmes (complexité des prestations, coproduction...)

- L'économie des soins de longue durée, de la perte d'autonomie et de la maladie d'Alzheimer. Dans le cadre d'une collaboration avec l'INSERM, des formes de prises en charge différentes de la maladie d'Alzheimer ont été étudiées dans différents pays d'Europe, du point de vue de leur efficacité clinique et économique. L'étude des soins de longue durée attire l'attention sur la relation d'aide familiale et professionnelle et la production familiale de soins et inévitablement sur la qualité des soins de long terme pour les bénéficiaires, les professionnels, les structures de prises en charge, à l'hôpital et en EHPAD.

LES RECHERCHES DU LEGOS PRÉSENTENT PLUSIEURS CARACTÉRISTIQUES.

De 1973 à 2000, la production du LEGOS a été très diversifiée dans un champ encore peu exploré. Les chercheurs ont pu investiguer très librement le champ de la santé et contribuer à la construction d'une discipline économique, ce qui était une belle aventure.

Les travaux de recherche répondent à la demande sociale du moment et induisent de très nombreux contacts avec les pouvoirs publics et les professionnels sanitaires et sociaux et la participation des membres du Legos à de nombreuses instances (commission des comptes de la Sécurité Sociale, commission des comptes de la santé, commission de la transparence...). La recherche menée était une recherche appliquée avec un dialogue entre les praticiens et les chercheurs, qu'il s'agisse de médecins, de pharmaciens, d'infirmiers, de travailleurs sociaux, de membres de l'administration nationale ou territoriale...

La pluridisciplinarité est présente dans ces travaux socio-économiques, avec un regard santé publique puis une approche plus sociologique. Une partie des chercheurs relèvent d'ailleurs de deux disciplines (économie et gestion, économie et sociologie, économie et mathématique, économie et santé publique).

Le passage du qualitatif au quantitatif, la pertinence de la microéconomie et le poids à donner à la recherche théorique, face aux analyses socio-économiques de type qualitatif, font partie des interrogations récurrentes du laboratoire. Le débat s'accroît dès le moment où les données sont plus nombreuses et plus fiables et les travaux quantitatifs et économétriques se développeront davantage après 2000.

L'intérêt pour les questions internationales est déjà présent avant 2000, (travaux avec les équipes québécoises sur la méthodologie de l'évaluation de la qualité, plusieurs contrats avec la communauté européenne sur la protection sociale et la dépendance des personnes âgées).



La communauté des chercheurs en économie de la santé était étroite dans ces premières années. 4 laboratoires étaient concernés : le Cerebe, le Cepremap, le Lest et le Legos. Tous les chercheurs se connaissaient et les débats étaient très intenses. Les membres du Legos ont participé à la création du Collège des économistes de la santé en 1989. Il affiche la volonté de tous ces économistes de la santé de mieux faire connaître la discipline et de jouer un rôle dans le débat public concernant la santé et le système d'assurance maladie.

L'ADN du Legos est faite d'une forte liaison entre la recherche et l'enseignement. La création d'un master «gestion et économie de la santé», en formation initiale puis en formation continue a nourri ces contacts avec les professionnels dont certains ont suivi le master et facilité l'obtention de terrains de recherche. Par ailleurs les étudiants qui ont réalisé leurs mémoires puis leurs thèses en économie de la santé sont venus enrichir le potentiel du laboratoire. Un second master sur l'économie et la gestion du médico-social et un MBA seront créés ultérieurement. À travers divers partenariats, Dauphine et les membres du Legos se sont également investis dans la formation professionnelle des cadres de santé et des cadres supérieurs de l'AP-HP depuis 1980.



Le retour de la science économique dans les sciences sociales : Marc Guillaume, Jacques Attali...

The Return of Economics in Social Sciences: Marc Guillaume, Jacques Attali...

One of the originalities of the research of a number of economists at Dauphine was to revisit the status of economic analysis, to make a criticism of both the neoclassical theory and the then vigorous Marxism, and to attempt reconstructions. The first reason for these reconstructions was the finding of a failure of the « normal » economist and his toolboxes to understand the real economic and social world. The solution lay in the return of economics to the social sciences. According to the researchers and their own inclinations, were summoned either the semiology and the analysis of the signs of the market-based society (Marc Guillaume and Jacques Attali), or sociology (Philippe Steiner), or the historical institutionalism and political science (Bruno Théret).

↓ Une des originalités de la recherche de nombre d'économistes à Dauphine a été de revisiter le statut de l'analyse économique, d'en faire une critique portant aussi bien sur la théorie néo-classique que sur le marxisme, alors vigoureux, et de tenter des reconstructions. La raison première de ces reconstructions, plus esquissées qu'achevées, tenait dans le constat d'une incapacité de l'économiste « normal » et de ses boîtes à outils à comprendre le monde réel. La solution passait par le retour de la science économique dans les sciences sociales. Selon les chercheurs et leurs inclinations propres, furent convoquées soit la sémiologie et l'analyse des signes de la société marchande (Marc Guillaume et Jacques Attali), soit la sociologie (Philippe Steiner), soit encore l'institutionnalisme historique conjugué à la science politique (Bruno Théret).

L'originalité des réflexions des économistes tient probablement au fait que leur curriculum était loin d'être conventionnels : ils étaient pour la plupart ingénieurs de formation, devenus économistes par la suite, ou encore normaliens. Ainsi, Marc Guillaume et Jacques Attali, fondateurs de l'Institut de Recherche et d'Information Socioéconomique (IRIS), structure-souche de l'actuel IRISSO, étaient tous deux anciens élèves de l'École polytechnique, le premier étant devenu Professeur agrégé des universités et le second Inspecteur des finances après un passage par l'ENA, et professeur-associé à Dauphine. Bruno Théret, ancien élève de l'École centrale de Paris, est arrivé à Dauphine comme chercheur au CNRS après un passage à la Direction de la prévision au ministère de l'économie. Philippe Steiner, ancien élève de l'ENS de Cachan, intégra Dauphine comme Maître de conférences d'économie avant de devenir professeur de sociologie, après avoir été un des maîtres d'œuvre du développement de la sociologie économique en France.

Certes, les années 1970 offraient un contexte propice à la critique. Concernant la critique de l'analyse économique, Marc Guillaume et Jacques Attali publièrent en 1974, dans une nouvelle collection qu'ils venaient de créer aux Presses Universitaires de France (« Économie en liberté »), un livre intitulé *L'Anti-économique*, en contrepoint à ce qui était alors un des manuels usuels d'économie, *L'Économique* de Paul Samuelson. L'avant-propos fait le constat que les manuels classiques, tristes et figés, « continuent à décrire imperturbablement les mêmes théories académiques agrémentées parfois... de quelques développements nouveaux traitant marginalement et superficiellement les questions à la mode ». La reconstruction proposée par Guillaume et Attali entend dépasser les limites à la fois de la théorie néo-classique et du marxisme, pour intégrer avant tout la symbolique, via la sémiologie et l'anthropologie. Ce faisant, ils furent parmi les premiers à prendre au sérieux l'analyse du sociologue Guy Debord sur la société du spectacle et à donner un prolongement original à l'analyse du système des objets de Baudrillard. Ils expriment leur sympathie et leur proximité avec le mouvement économique radical américain et dénoncent les « mythologies » de

l'analyse économique conventionnelle. Ainsi, tout l'édifice de la théorie de l'équilibre général et de son optimalité parétienne sont construits sur l'idée que les préférences individuelles et les besoins sont donnés et, surtout, indépendants de l'organisation économique. L'apport des deux chercheurs fut de réintégrer, dans l'analyse économique, la manière dont l'organisation économique (les firmes capitalistes ou le planificateur central) produit des besoins. Ces derniers portent sur des objets qui ont une valeur d'usage, sur le plan fonctionnel, mais aussi une valeur d'échange et surtout, pour reprendre les catégories de Baudrillard, une logique symbolique et une logique de différenciation. Consommer ces objets, c'est entrer dans une sémiologie, une communication de signifiants, forcément sociale. Dans *Le Capital et son Double*, publié seul, Marc Guillaume poursuit l'analyse plus loin : la marchandisation du monde détruit le symbolisme fort auquel les biens, les maisons en premier lieu, sont attachés dans des contextes pré-capitalistes. Pour faire bref, la maison passe du monde de l'habiter (dont les formes et les modalités sont encadrés dans une culture symbolique) à celui du logement (réduit à un bien fonctionnel mis sur le marché). Toutefois, le symbolisme s'y réinvente, guidé par le système de production : l'économie capitaliste invente des « codes sociaux » et produit une « sémiologie marchande et du pouvoir »¹

Dans un autre registre, Philippe Steiner, ancien élève de l'ENS de Cachan, agrégé de sciences sociales, fut un économiste rattaché à l'IRIS (puis IRISES) qui a mis en place le premier Groupe de recherche (GDR) du CNRS consacré à la socio-économie. Après une thèse d'histoire de la pensée économique consacrée à la Physiocratie, il s'est d'abord intéressé, en historien de la pensée, aux relations entre l'économie et la sociologie (en montrant notamment l'apport méconnu de Vilfredo Pareto à la sociologie économique) avant de se consacrer pleinement à la sociologie économique, plus particulièrement aux controverses morales qui entourent les « marchés contestés ». Parmi ces « marchés contestés », il a privilégié la question du don d'organes, à propos duquel il a pu mettre à l'épreuve deux grands paradigmes de la sociologie : celui de l'acteur et celui de la relation. La rareté des greffons et l'existence d'une demande de la part de patients et d'équipes thérapeutiques posent une question économique fondamentale : comment allouer une ressource rare ? Mais, au-delà, il s'agit d'accroître la quantité d'organe disponible, ce qui ne peut être achevé par la mise en place d'un marché des greffons avec une rémunération des offreurs. La qualité morale du don d'organes par les proches d'un défunt est incompatible avec un mécanisme de marché pur : « ... le don peut être détaché de l'idée de sujet décidant d'une manière autonome, idéalement libre de toute pression ou contrainte, pour devenir une relation dans laquelle l'individu laisse de fait à ses proches la possibilité de faire donner une partie de lui-même dans un but thérapeutique »².

¹ Marc Guillaume, *Le Capital et son Double*, PUF, coll. « L'économie en liberté », 1975, p. 14

² Philippe Steiner, « Sociologie de l'acteur ou de la relation ? Le cas du don d'organes », *Revue européenne des sciences sociales*, XXXIX-121, 2001, p. 26

...

Les travaux de Bruno Théret, conjuguant institutionnalisme historique, théorie de la régulation et théorie monétaire, ont ceci d'originaux qu'ils ont été précurseurs, en France, de l'analyse des relations entre les sphères de l'économie, du politique et de la monnaie, tout en pratiquant une lecture historique et comparative. L'histoire économique et l'histoire sociale, l'histoire des institutions, permettent de situer l'observation de ce qui est aujourd'hui au regard des processus qui ont l'ont fait émerger ; l'analyse comparée a surtout porté sur l'Amérique latine, notamment l'Argentine et de Mexique où Bruno Théret a entretenu des collaborations scientifiques continues et réalisé de nombreuses publications, cours et conférences. La thèse de Bruno Théret est, pour l'essentiel, que le politique, l'économie et la famille constituent des ordres autonomes, mus par des logiques propres, mais qui communiquent *via* des médiations : le droit, la monnaie et l'idéologie³. Le régime juridique régime « institue des formes politiques stabilisées de domination sociale et qui, par voie de conséquence, conforme le rapport salarial et plus généralement la mise au travail et les modalités de distribution des revenus » ; le régime monétaire « fait de la société une communauté de paiement au travers d'une unité de compte commune et l'émission de moyens de paiement assurant une possible transformation réciproque des dettes publiques et privées » (*ibid.*) et donc l'interdépendance entre finances publiques et finances privées⁴. Enfin, l'idéologie renvoie aux formes instituées du discours sur la société, donc des idées et représentations qui inscrivent la société dans une communauté de valeurs, qui structurent des conceptions globalement partagées de la manière dont le pays s'inscrit dans le système international.

En résumé, les économistes de l'IRIS ont, dès les années 1970, mis l'analyse économique en connexion étroite avec la sémiologie sociale, la sociologie, la science politique et l'histoire. Les pratiques de l'interdisciplinarité constituent une voie originale dans laquelle Dauphine a été engagée dès ses premières années d'existence.

³ Bruno Théret, « État, finances publiques et régulation », in : R. Boyer et Y. Saillard (dir.), *La Théorie de la régulation. L'État des savoirs*, La Découverte, 2002, p. 6

⁴ Bruno Théret (avec Jaime Marques-Ferreira), « Régimes politiques, médiations sociales de la régulation et dynamiques macroéconomiques », in : *L'Année de la Régulation*, N°5, 2001/2002, Presses de Sciences Po, p. 112

↓ En créant le laboratoire de recherches « Travail et Société » en 1975, Jacques Delors a placé les questions de l'emploi et du travail dans leurs multiples dimensions au cœur de l'enseignement et de la recherche de l'Université Paris-Dauphine où il était alors professeur associé. Il a créé ce laboratoire, – à partir d'une petite équipe qui travaillait avec lui au CREDOC (Jean Marc Ouazan et Didier Jeanperrin) – avec plusieurs de ses étudiants alors inscrits en thèse avec lui et orienté, dans la période 1975-1981, les recherches vers les problèmes de l'emploi et du chômage (enquête sur les jeunes chômeurs dirigée par Olivier Galland et Marie Victoire Louis) ainsi que sur l'évaluation de mesures gouvernementales telles que celles relatives à l'amélioration des conditions de travail ou à la façon dont l'inspection du travail pouvait assumer l'autorisation administrative de licenciement. Parallèlement, il a mis en place un DEA, à l'Université Paris-Dauphine, intitulé « *Politiques économiques comparées* ». Le laboratoire participa également à la structuration, à l'initiative de Jean-Daniel Reynaud, Jean-Maurice Verdier et François Sellier, d'un réseau de recherches en relations professionnelles en proposant d'articuler le DEA *Relations professionnelles*, mis en place par Jacques Delors à la fin des années 1970, avec un séminaire interdisciplinaire, financé par la DGRST, qui prenait alors corps au CNAM. Cette initiative devait déboucher sur la création d'un groupement de recherche coordonné « *Relations Professionnelles, négociations et conflits* » qui deviendra par la suite un GDR très actif jusqu'au milieu des années 1990 et dans lequel l'équipe Travail et Société (puis l'IRIS-TS) prendra largement sa part. Ainsi, qu'il s'agisse de recherche ou d'enseignement, les questions du travail et de l'emploi étaient envisagées dès le départ de façon pluridisciplinaire, alliant sociologie, économie et droit – à l'instar de l'approche française des relations professionnelles. Plusieurs recrutements attestent de cette orientation pluridisciplinaire avec notamment ceux de Pierre Rosanvallon, venu de la CFDT où il était conseiller d'Edmond Maire et avait créé la revue « *CFDT Aujourd'hui* », ou de Xavier Greffe, professeur d'économie, spécialiste des politiques économiques publiques, qui était alors professeur à Paris I. Autre spécificité, la plupart des recherches initiées durant cette période recouvraient une forte dimension comparative. Ces deux spécificités, pluridisciplinarité et dimension comparative se sont maintenues dans les travaux menés sur les thèmes du travail et de l'emploi dans les différentes configurations dans lesquelles l'équipe Travail et Société a évolué après la fusion avec l'IRIS, pour donner lieu à la constitution de l'IRISSO tel qu'on le connaît aujourd'hui.

...

La thématique du temps de travail est devenue centrale dans les recherches développées sur le travail et l'emploi dès les années 1970 et 1980, tant dans sa relation à la question de l'emploi qu'à celle de son articulation avec les autres temps sociaux. Elles s'inscrivaient dans la problématique portée par Jacques Delors dans le cadre du club de réflexion « Échanges et Projets ». Dominique Taddéi, qui avait été professeur d'économie à l'université d'Amiens puis député du Vaucluse, chargé par le premier

Travail et société

Work and Society

Settled by Jacques Delors in 1975, the Institute 'Travail et Société' was one of the first research centers dedicated to work and employment practicing multidisciplinary and comparative research. The issue of working time and social times has become central, as well as collective bargaining on professional qualification and the service relations. Thus, the 'Travail et Société' perspective, which has become a component of IRIS, has shifted to public action, transformations of forms and regulation and governance, as well as technological innovation. It is from these bases that more recent research has been conducted at IRISSO on the transformations of the wage relationship and regulations of the employment relationship.

...

Ministre Laurent Fabius d'une mission sur la question de l'aménagement-réduction du temps de travail, a rejoint le laboratoire au milieu des années 1980. Alors que se mettaient en place dans la plupart des pays européens des politiques de flexibilisation du temps de travail, il a contribué avec J.-Y. Boulin à plusieurs études consacrées à cette thématique, que ce soit en France, – à travers une analyse de la négociation de branche et d'entreprise réalisée pour le Ministère du travail à la fin des années 1980 –, ou à l'international, que ce soit pour des institutions européennes (Eurofound) ou à travers la participation du laboratoire au Séminaire International sur le Temps de Travail (SITT/ISWT), ou encore au programme de recherche européen *Translam* sur les marchés transitionnels de l'emploi à la fin des années 1990. Toutes ces recherches menées autour de la question du temps de travail ont amené le laboratoire à ouvrir un nouveau champ de recherche relatif à l'organisation sociale du temps et aux politiques temporelles locales ainsi qu'aux usages du temps. Ces deux orientations suivies par J.-Y. Boulin ont également été menées dans une dimension comparée à travers des réseaux internationaux (respectivement Eurexter, 1996-2000, et le réseau IATUR). Un autre résultat clé de ces travaux menés dans une dimension comparative et articulante temps et emploi a été constitué par l'orientation consistant à envisager la question du temps de travail et son articulation avec les autres temps sociaux, non plus sur une dimension hebdomadaire (les 35h) mais sur l'ensemble du cours de la vie.

Durant la seconde moitié des années 1980 et le début des années 1990, l'axe travail s'est diversifié en s'ouvrant sur les thématiques de la négociation collective relative à la qualification et la formation professionnelle, ainsi que sur celle de la relation de services. Ces thématiques ont été développées grâce à l'arrivée de plusieurs chercheurs (Michèle Tallard, Nathalie Besucco, Dominique Fougeyrollas) et enseignant.e.s-chercheur.e.s (Christian du Tertre et Tania Angeloff), qui a permis d'investiguer les liens entre économie de services et innovation ainsi que ceux entre relation de service et travail domestique, et plus généralement sur la place des femmes sur le marché du travail. Au-delà des investigations plus économiques sur l'automatisation et la flexibilisation des processus productifs, ainsi que sur le basculement de nos économies vers des sociétés de services et ses implications sur le travail et les rapports au travail menés par Christian du Tertre, l'apport de ces chercheur.e.s et leur implication dans le cadre du DEA *Technologie, Innovation, Emploi*, alors dirigé par Danièle Blondel – qui dirigea l'IRIS-TS de 1991 à 1997 – a permis de développer une série de travaux sur les liens entre mutations du système productif et travail, et leur encadrement institutionnel à différentes échelles territoriales. Ont ainsi été abordées, sur différents objets et en particulier la formation professionnelle, la transformation des niveaux de régulation (branche/entreprises/territoires) et la recomposition des formes de gouvernance. Un intérêt particulier a été porté aux nouveaux modes d'action publique dans une perspective articulante analyse de l'action publique et dynamiques de construction des règles du système de relations

professionnelles. Plus généralement, un groupe de chercheurs, travaillant dans une optique institutionnaliste, s'est interrogé sur les effets de différents contextes institutionnels sur les processus d'innovation technologique et organisationnelle, et sur l'impact en retour de ces derniers sur la dynamique des institutions. Ces réflexions ont donné lieu à un colloque pluridisciplinaire organisé par l'IRIS en 1998 et à un ouvrage. Ces travaux ont contribué à l'ensemble des recherches qui se développaient alors sur l'innovation au sein de l'IRIS ou dans d'autres structures de recherches de l'Université. On peut notamment citer celles de Norbert Alter – directeur du CERSO de 2000 à 2008 – centrées sur les liens entre dynamique de l'innovation et dynamique des organisations, examinant les modalités de contribution des acteurs à ces processus.

Au tournant des années 2000, à la suite d'un séminaire interne organisé par le laboratoire sur les différents aspects de la relation de service, une recherche collective s'était donnée pour objectif de saisir les transformations du modèle de travail selon quatre dimensions – l'organisation du travail, les compétences, la performance et l'évaluation, la professionnalisation – et de cerner comment les logiques d'acteurs se confrontent aux tensions qui résultent de l'importance prise par le client. A notamment été mise en évidence la nécessité de prendre en compte la subjectivité au travail, celle-ci appelant une autre approche de la façon d'organiser le travail et d'envisager les relations entre les différentes catégories de salariés au sein du processus de travail. Cette importance de la subjectivité – qui connaîtra de nombreux développements en psychodynamique du travail dans les décennies suivantes – était alors travaillée dans le laboratoire sous l'angle de la composition organique du temps de travail et de la nécessité de préserver des « temps connexes » au sein même du temps de travail [temps de production immatérielle (formation), temps nécessaires aux retours d'expérience partagés avec les pairs etc ...].

C'est à partir de ce creuset qu'ont pu, à la faveur de nouveaux recrutements, se développer dans les années 2000 et 2010 des recherches sur les transformations de la relation salariale et plus largement sur les régulations de la relation d'emploi dans la crise, qui occupent aujourd'hui une place centrale dans le programme de travail de l'IRISSO.





50 ANS DE RECHERCHE : HIER, AUJOURD'HUI ET DEMAIN

96

97

PARIS-DAUPHINE

La sociologie urbaine

Urban Sociology

The presence of urban sociology at the Paris-Dauphine University is intimately linked to the research carried out since the mid-1980s by Catherine Bidou-Zachariasen (CNRS), who has also played an important role in the development of social science research in the IRISSO laboratory. Her work has focused on the recomposition and spatialization of the middle classes, gentrification processes, the crisis in social housing neighborhoods and the comparison between cities in South America. This research has resulted in multiple collaborations with other laboratories, international research networks and several government departments. Following on from Catherine Bidou-Zachariasen's work, François Cusin has worked on middle-class housing, gentrification and the socio-spatial division of cities. He has conducted and directed collective research in Dauphine on the attractiveness of cities, residential mobility and real estate markets. He is currently working on the analysis of urban policies and participating to the creation of a Master dedicated to this theme.

↓ Plus que par l'existence d'une équipe durablement stabilisée, la sociologie urbaine à Dauphine s'est incarnée dans de multiples projets de recherche menés en partenariat avec d'autres laboratoires, des réseaux de recherche internationaux, plusieurs ministères et, plus récemment, des organismes privés. Cette dynamique a été impulsée par Catherine Bidou-Zachariasen, actuellement directrice de recherche émérite au CNRS. Il est au passage utile de rappeler son rôle déterminant dans l'organisation de la recherche en sciences sociales à Dauphine. Ayant rejoint notre université en 1986, elle a d'abord participé activement à la transformation de l'IRIS (à l'époque dirigé par Marc Guillaume) en laboratoire rattaché au CNRS (URA à l'époque puis UMR). Elle en sera directrice-adjointe, puis directrice de 1999 à 2009. C'est à son initiative que, dans les années 2000, naîtra l'IRISSO, de la fusion avec le CREDEP (en 2004) puis avec le CERSO (en 2008). Durant les années 2000, l'IRISSO hébergera la revue pluridisciplinaire *Espaces et Sociétés* à la direction de laquelle Catherine Bidou-Zachariasen participe.

Le principal fil conducteur des recherches de Catherine Bidou-Zachariasen est la thématique de la recomposition et de la spatialisation des classes moyennes. Deux ans avant son arrivée à Dauphine, elle avait publié un ouvrage qui a fait date : *Les aventuriers du quotidien*. Cet ouvrage est consacré aux « nouvelles classes moyennes » dont le poids numérique a beaucoup augmenté dans les années 1960-1970. Cette croissance s'expliquait par le développement des emplois publics (liés à l'État providence) et par l'essor du secteur de l'information et de la communication. A partir d'une analyse fine des espaces urbains investis par les « nouvelles classes moyennes », Catherine Bidou-Zachariasen a étudié les choix résidentiels, les modes de vie, les formes de sociabilité et les engagements politiques et associatifs locaux de cette fraction des classes moyennes qui, comme elle l'a montré, jouent un rôle important dans la transformation des centres urbains et dans le mouvement de périurbanisation. Elle a mis l'accent sur le rôle des modèles culturels dans le rapport à l'espace de cette population qui se caractérise par sa jeunesse et son niveau de diplôme. Dans les années 1990, elle a pris une part active au GDR Modes de vie, un large réseau de chercheurs coordonné par Yannick Lemel, directeur du CREST (INSEE). Durant cette période, Catherine Bidou-Zachariasen s'est également rapprochée de l'équipe de Pierre Bourdieu, entamant des collaborations qui allaient devenir régulières par la suite.

À une époque où les théories anglo-saxonnes de la gentrification n'avaient pas encore été importées en France, les recherches menées à l'IRISSO par Catherine Bidou-Zachariasen faisaient figure de travaux pionniers. Ils montraient en effet comment, de manière « spontanée » (à Paris) ou à la suite de politiques volontaristes de réhabilitation (à Amiens), des quartiers centraux anciens et dégradés ont été réinvestis par les fractions des classes moyennes disposant d'un important capital culturel mais d'un capital économique beaucoup plus limité. Par leurs choix de localisation et par leur

appropriation des lieux, ces ménages se caractérisant par leur activisme « pratique » (appliqué au quotidien) et idéologique (de nature anticonformiste et réformiste) se sont forgés une identité collective et ont conforté leur position dans l'espace social. À leur corps défendant – dans la mesure où ils valorisent la mixité sociale –, ils ont peu à peu remplacé les classes populaires initialement présentes dans les quartiers en question. Catherine Bidou-Zachariasen a ensuite largement contribué à la diffusion des théories et des débats anglo-saxons à travers l'ouvrage *Retours en ville. Des processus de gentrification aux politiques de revitalisation urbaine* qu'elle a dirigé et publié en 2003. Elle y insiste notamment sur la nécessité de distinguer la gentrification des processus plus classiques d'embourgeoisement en soulignant que les populations et les espaces en jeu ne sont pas les mêmes.

Catherine Bidou-Zachariasen s'est également penchée sur l'origine de la crise des banlieues. Tout en s'inspirant des travaux des économistes régulationnistes consacrés à l'épuisement du modèle fordiste, elle a analysé les rigidités propres à la « ville fordiste » et aux quartiers conçus selon les préceptes de l'urbanisme fonctionnaliste. Les anciennes ZUP (zones à urbaniser en priorité) où ont été construits de grands ensembles souffrent en effet d'un double handicap : économique (chômage de masse) et urbain (quartiers monofonctionnels et enclavés, urbanisme peu évolutif), handicaps que plusieurs décennies de politique de la ville n'ont pas réussi à surmonter.

Dans un registre très différent, Catherine Bidou-Zachariasen a proposé une théorie de l'espace mondain dans le roman proustien. Encouragée à travailler sur ce thème par Pierre Bourdieu, elle a publié en 1997 l'ouvrage *Proust sociologue. De la Maison aristocratique au salon bourgeois* dans lequel elle montre comment l'œuvre de Marcel Proust permet de mieux comprendre l'affirmation sociale de la bourgeoisie (par rapport à l'aristocratie traditionnelle) au tournant du XX^e siècle, ainsi que l'influence croissante de cette classe sociale sur l'évolution de la culture et des modes de vie. Le rapport à l'espace (privé et public, mondain et urbain) et son appropriation symbolique jouent ici aussi un rôle important dans les rapports de classe et dans la construction d'identités sociales distinctives.

Tout en poursuivant ses travaux sur la gentrification et sur son rôle dans la transformation des quartiers investis (revalorisation, segmentation, polarisation socio-spatiale), Catherine Bidou-Zachariasen a ensuite élargi ses travaux de recherche sur les classes moyennes. D'une part, à partir de la fin des années 1990, elle a mené une réflexion sur la stratification et la mobilité sociales dans les sociétés post-industrielles. Elle s'est appuyée sur les travaux britanniques consacrés à la « service class » (*professionals* et *managers*), par opposition à la « servicing class », pour tenter de revitaliser l'analyse des classes sociales alors déclinante en France. D'autre part, ses travaux ont porté sur

...

l'ancrage spatial des classes moyennes et le changement urbain à Mexico, dans le cadre d'un projet ANR consacré aux enjeux urbains et à l'action publique dans les villes d'Amérique du Sud (Buenos-Aires, Caracas, Mexico, São Paulo), avec notamment Christian Azaïs qui avait rejoint l'IRISSO en tant qu'économiste.

La présence de la sociologie urbaine à Dauphine se prolonge aujourd'hui à travers les recherches de François Cusin, professeur et membre du comité de rédaction d'*Espaces et sociétés*. Il a créé et co-dirigé la Chaire Ville et Immobilier (de 2009 à 2017) au sein de la Fondation Dauphine. Avec Thierry Kirat, il a en parallèle animé le pôle de sociologie urbaine et de socio-économie des territoires de l'IRISSO. Ces deux entités complémentaires ont permis de constituer une équipe de jeunes chercheurs (doctorants et postdoctorants) travaillant sur la ville, le logement, les mobilités résidentielles ou encore l'immobilier. Dans ce cadre, deux thèses ont été soutenues : celle de Thomas Sigaud (« Mobilités résidentielles et professionnelles des salariés en France : entreprises, marchés et territoires, une articulation en tension ») ; et celle d'Alexandre Coulondre (« Faire une place au marché. La création des centres commerciaux en France par les promoteurs immobiliers »). Dans la continuité des travaux de Catherine Bidou-Zachariassen, François Cusin a travaillé sur les classes moyennes (gentrification, difficultés à se loger, déclassement social et résidentiel). Ses travaux portent également sur les divisions sociales de l'espace et mettent l'accent sur le rôle des marchés immobiliers dans l'organisation socio-spatiale des villes. La diversité des modèles de villes y est notamment appréhendée à partir de la structure des prix immobiliers des aires urbaines françaises. Ses travaux ont en outre porté sur l'attractivité des villes saisie à partir des mobilités résidentielles. Enfin, ils sont actuellement consacrés à l'analyse des politiques urbaines (planification, développement économique, rénovation, logement), et à leur évolution depuis l'après-guerre à travers le passage d'un urbanisme d'État à un système complexe de gouvernance urbaine dans lequel l'« entrepreneurialisme » des élus locaux, la logique du projet et le marketing urbain jouent un rôle croissant. Il montre que s'il existe des forces de convergence entre les systèmes urbains (globalisation économique et culturelle, tertiarisation, stratégies de développement axées sur l'attractivité territoriale, etc.), les facteurs de différenciation des villes restent importants en raison des spécificités de leur histoire économique, politique et sociale. Les travaux menés par François Cusin sur la comparaison France/États-Unis prolongent l'analyse de la convergence/spécificité des modèles de villes en mettant l'accent sur la manière dont les systèmes nationaux orientent le développement urbain.

Enfin, depuis une dizaine d'année le développement des thématiques urbaines à Dauphine s'est traduite par la création de nouveaux enseignements. Pour renforcer ce mouvement, François Cusin prépare en 2019, avec Jean-Marie Pillon (maître de conférences en sociologie) et Pierre-Yves Baudot (professeur en sociologie), la création d'un nouveau parcours de Master 2 visant à former les



étudiants dans le domaine des politiques urbaines, du développement économique des territoires et de la ville en transition. Ce Master a pour objectif de former des professionnels de l'urbain travaillant au sein de collectivités locales, d'institutions étatiques et d'entreprises privées, mais aussi des étudiants souhaitant poursuivre en thèse au sein de l'IRISSO.



Jean Baudrillard et Lucien Sfez : penser contre !

Jean Baudrillard and Lucien Sfez: Thinking Against!

If we admit, with its columnists, that the Paris-Dauphine University is an “unexpected fruit” of the events of 1968, whose founders had to fight “against the ideologues of the anti-market, the denigrators of the business world”, we will be less surprised when it has been able to shelter and nourish thoughts devoted to criticism...: critique of the very foundations of the institution (management sciences, business management, decision-making and organizational sciences) but also critique of economics, sociology, semiology, capitalism, advanced industrial societies, advertising, communication, the media...

↓ Si l'on admet, avec ses chroniqueurs¹, que l'Université Paris-Dauphine est un « fruit inattendu » des événements de 1968, dont les fondateurs ont dû batailler « contre les idéologues de l'antimarché, les dénigreur du monde des entreprises », on s'étonnera moins dès lors qu'elle ait pu abriter et nourrir des pensées vouées à la critique : critique des fondements mêmes de l'institution (les sciences de gestion, le management des entreprises, les sciences de la décision et des organisations) mais aussi critique de l'économie, de la sociologie, de la sémiologie, du capitalisme, des sociétés industrielles avancées, de la publicité, de la communication, des médias...

Jean Baudrillard (1929-2007) et Lucien Sfez (1937-2018) se sont croisés à Dauphine, à la fin des années 1980 : leurs rencontres, leurs dialogues (ainsi à Cerisy en 1988), leurs ressemblances et désaccords, laissent à penser qu'ils sont tous deux hommes de leur temps et de leur institution, même dans ce qu'ils croient avoir de plus singulier. À Dauphine, dans une université définie par sa place singulière dans le monde universitaire et surtout par son tropisme gestionnaire mâtiné d'interdisciplinarité, ils trouvent les conditions de possibilité d'une pensée hétérodoxe. Contre Dauphine, ils adoptent la technique du judoka, qui se sert d'abord de la force de l'autre, et développent une fructueuse pensée « contre ».

Les deux auteurs aux formations plurielles – Jean Baudrillard, germaniste, rédige une thèse de sociologie sous la direction d'un philosophe, Henri Lefebvre ; Lucien Sfez, juriste, agrégé de droit public et science politique, discute des travaux de philosophie, mais aussi de sciences cognitives, économie, théorie de la communication...-, jouissent d'un statut « entre-deux », qui les positionne aux frontières du monde académique. L'un et l'autre sont critiques vis-à-vis du monde universitaire, raillé pour son conservatisme, et vis-à-vis de leur discipline d'appartenance, sociologie et science politique, chacune vilipendée pour son étroitesse de vue. L'un et l'autre se félicitent de cette position de « franc-tireur » ou d' « électron libre » qui leur autorise à la fois la radicalité et un splendide isolement.

L'un et l'autre, inventeurs de formules et/ou concepts hardis voire provocants, sont plus cités et critiqués que lus : passent ainsi à la postérité un titre (« La guerre du Golfe n'a pas eu lieu ») ou un concept (« le tautisme »), fragments qui font la réputation de leurs auteurs mais ne rendent pas toujours justice à une pensée complexe, parfois obscure.

SOUS LE SIGNE DE LA CRITIQUE

L'un et l'autre sont des auteurs prolifiques – d'une cinquantaine pour Baudrillard à une vingtaine d'ouvrages et directions d'ouvrages pour Sfez – dont les objets diversifiés s'ordonnent autour d'une même ambition théorique : saisir le fonctionnement de ce que le premier appelle « Empire » ou « pensée unique », le second « idéologie ».

Jean Baudrillard, dont le travail peut être inscrit sous les auspices d'Henri Lefebvre, Guy Debord, Georges Bataille

¹ Bienaymé A., Roux D., « Histoire de l'Université Paris-Dauphine (1968-2008) », *Commentaire*, 2008/2, n°122

ou Jorge Luis Borges, propose, dans une tonalité prophétique et poétique, une critique originale et radicale des systèmes symboliques des sociétés de la post-modernité.

Il analyse et dénonce d'abord l'aliénation par les objets (*Le Système des objets*, 1968), la consommation (*La société de consommation*, 1970) et la marchandise (*Pour une critique de l'économie politique du signe*, 1972). Les trois ouvrages pointent l'emprise dans nos sociétés d'un rapport aux objets, dominé par la « valeur d'échange-signé » quand la valeur d'usage n'en est plus que la « caution ». Les médias et la publicité sont désignés, non seulement comme dispositifs de fabrication des besoins, de l'ostentation et de la distinction des consommateurs, mais aussi comme les premiers instruments de la production de signes qui s'autonomisent : « Toute l'architecture actuelle des médias se fonde sur cette dernière définition : ils sont ce qui interdit à jamais la réponse, ce qui rend impossible tout procès d'échange (sinon sous la forme de simulation de réponse) » (PCEPS).

La société de consommation, grand succès de la littérature alternative des années 1970, a inspiré les penseurs de l'écologie politique ou de la décroissance et plus largement, les « idéologues de l'anti-marché » évoqués par les historiens de Dauphine.

Simulacres et simulations (1981) constate la prolifération et même la « précession des simulacres », « prédominance du signe qui de plus en plus élimine la référence objet. Et là on entre dans une phase de la simulation qui suppose la disparition du référent. Le signe fonctionne alors pour lui-même ».

Le développement du web et du virtuel accélère le processus jusqu'à la déréalisation du monde et au « meurtre de la réalité » (*Le crime parfait*, 1995) : « Dans le virtuel le signe lui-même comme représentation a disparu (...). Ce meurtre du signe (...) nous fait entrer dans l'opérationnalité pure, qui n'a même plus besoin de la représentation, qui s'en fiche »².

La radicalité de cette pensée de la disparition suscite de virulentes critiques lorsqu'elle se saisit d'événements violents. Baudrillard publie ainsi, à propos de la guerre du Golfe de 1991, un article³ puis un ouvrage au titre provocateur : « La guerre du Golfe n'a pas eu lieu » (1991), dans lequel il soutient que l'énorme couverture média de la guerre, qui n'a montré ni combats ni cadavres mais quelques scènes abstraites façon jeux vidéo, l'a déréalisée, en a fait une « non-guerre » : « Cette guerre-ci est une guerre asexuée, chirurgicale, *war processing*, dont l'ennemi ne figure que comme cible sur un ordinateur. »

Les critiques s'exacerbent en 2001, lorsqu'il commente l'attentat terroriste du 11 septembre, sans émotion, sans compassion manifestes, s'efforçant de comprendre, de « justifier » diront certains, *L'Esprit du Terrorisme* (2002) : « Que nous ayons rêvé de cet événement, que tout le monde sans exception en ait rêvé, parce que nul

...

² Entretien avec Jean Baudrillard, *Le Philosophaire*, 2003/1, n°19

³ *Le Monde*, 29 avril 1991

...

ne peut ne pas rêver de la destruction de n'importe quelle puissance devenue à ce point hégémonique, cela est inacceptable pour la conscience morale occidentale, mais c'est pourtant un fait, et qui se mesure justement à la violence pathétique de tous les discours qui veulent l'effacer.»

La théorie critique de Lucien Sfez se construit quant à elle sur le commentaire de multiples auteurs et le parcours de multiples champs disciplinaires : du droit à l'intelligence artificielle, en passant par la philosophie, les sciences cognitives, la biologie ou la psychanalyse... Elle vise, à travers des objets successifs – décision, objet local, représentation politique, communication, santé et biotechnologies... – à dévoiler le travail de l'idéologie c'est-à-dire « la prétention à énoncer la Vérité en un lieu producteur de paroles fondatrices et des normes du vrai social », selon les termes d'un de ses disciples⁴.

Dans les années 1970, l'idéologie dominante est « nichée dans la décision » des « grands décideurs publics » puis des « managers privés ». Sfez propose alors une *Critique de la Décision* (1973) qui réfute le « modèle cartésien » au fondement des schémas traditionnels de décision, et plus précisément la « linéarité », la « rationalité », et la « liberté » supposées de la Décision. Il forge le concept de « surcode », qui désigne la traduction, potentiellement « imprévisible et déviante », des codes de chacun des acteurs impliqués dans un processus décisionnel et loue le « rôle de la déviance, capital dans l'invention ».⁵

Dans les décennies suivantes, « c'est la représentation politique, qui dit le vrai de la société », il s'agit alors de démonter les phénomènes de représentation et de symbolique politique (*La Politique symbolique*, 1988). Puis, c'est « le communicateur (qui) dit le vrai à la place de tous » et la communication devient « nouvelle idéologie, voire nouvelle religion mondiale en formation ». La *Critique de la communication* (1988)⁶, au-delà des seules machines à communiquer ou de la « crise » des médias, s'étend aux « technologies de l'esprit », aux biotechnologies et à l'intelligence artificielle. Ce phénomène global est qualifié de « tautisme » : « contraction de « tautologie » (le « je répète donc je prouve » prégnant dans les médias) et « autisme » (le système de communication me rend sourd-muet, isolé des autres, quasi autistique), néologisme qui évoque une visée totalisante, voire totalitaire (la glu qui me colle à l'écran...) ».

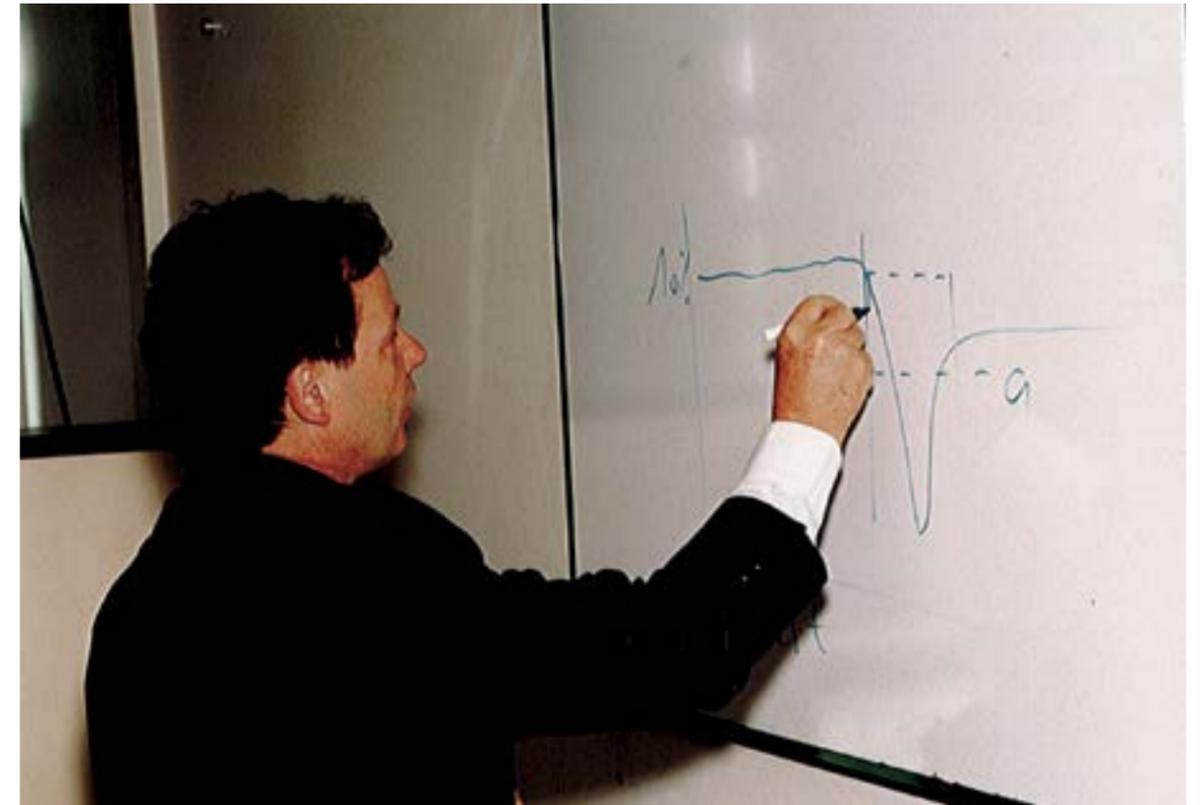
À partir de 1995, c'en est fini de la « fable » de la communication, appelée, à l'ère de la montée des biotechnologies, à être remplacée par le désir de santé parfaite, idéologie « plus globale encore que l'idéologie de la communication » (*La Santé parfaite*, 1995) : « Cette idéologie de la « santé parfaite » est une nouvelle figure bio-écologique, qui suggère l'idée, inquiétante, d'une purification générale de la planète et de l'homme ». L'exploration de cette « nouvelle utopie » conduit l'auteur à une critique radicale des « objets techniques », des discours portés sur eux et de leur enchevêtrement au politique (*Technique et idéologie*, 2002).

⁴ Musso P., *Politique, communication et technologies. Mélanges en hommage à Lucien Sfez*, 2006

théorie de l'Institution », *Cahiers Internationaux de sociologie*, 2010/1, n°128

⁵ Sfez L., « Évaluer : de la théorie de la Décision à la

⁶ Voir aussi : *Dictionnaire critique de la communication*, 1993



On peut pour conclure noter combien les deux œuvres sont parentes jusque dans la réception dont elles font l'objet. L'une et l'autre ont trouvé, à l'étranger un meilleur accueil qu'en France : Baudrillard est perçu aux États-Unis comme représentant de la *French Theory* et se voit consacrer une revue, *l'International Journal of Baudrillard Studies* ; Sfez, à l'occasion de ses fréquents séjours au Canada ou aux États-Unis, noue des liens avec des chercheurs, qu'il discute et associe à ses entreprises collectives telles que colloques, dictionnaire ou revue (*Quaderni*, 1988). L'un et l'autre sont perçus en France, comme des théoriciens plus amateurs de l'exploration des idées, récits ou concepts que de celle du terrain. Ils se voient reprocher, outre un langage souvent abscons, le refus d'une démarche empirique au profit d'une spéculation abstraite ou d'une intuition poético-prophétique. Leurs disciples et lecteurs se consoleront en se remémorant la stimulante remarque de Proust : « Quand nous lisons un beau livre, nous voudrions qu'il nous donnât des réponses, quand tout ce qu'il peut faire est de nous donner des désirs. »



Innovation et nouvelles technologies de l'information et de la communication : les précurseurs

Innovation and New Information and Communication Technologies: the Forerunners

The social, cultural and symbolic issues of innovation and new information and communication technologies have been central in the research conducted in Dauphine, mainly within IRIS, from the 1970s to the 1990s. Conducted by sociologists and socio-anthropologists, political scientists, and economists, the research agenda had a prospective dimension. A key issue was the interplay between technology, collective attitudes and consumption patterns. Investigations into the logics of industry and public policy actors were also prominent. Some scholars have played a highly significant role in the design of technology policies.

↓ Les travaux consacrés à l'innovation, aux nouvelles technologies de l'information, menés dans plusieurs champs disciplinaires réalisés à l'IRIS de sa création aux années 1990, furent précurseurs. Dans le contexte de l'émergence de l'informatique et du numérique, les enjeux sociaux des nouvelles technologies furent naturellement dans l'agenda de recherche des membres de l'IRIS. Mais, en amont des enjeux sociaux, la construction sociale de la technique, les attitudes et représentations, à la fois des organisations publiques et des usagers, la culture et les institutions de la société française, figuraient parmi les questions centrales posées par les chercheurs de l'IRIS, sans omettre les relations avec le travail, la consommation, les inégalités. Le haut niveau d'expertise et de compétence de chercheurs dauphinois a été à l'origine, via Jacques Attali et, surtout, Yves Stourdzé, de réalisations majeures au sein de la politique française de l'innovation après l'arrivée de François Mitterrand à la présidence de la république en mai 1981. Au sein de l'IRIS, la recherche sur les nouvelles technologies a été réalisée par des sociologues (Victor Scardigli, Yves Stourdzé, Jean-Yves Toussaint, Pierre-Alain Mercier), des politistes (Pierre Chambat) et des économistes (Alain Rallet, Dominique Foray).

Stourdzé, Maître assistant en sociologie, s'est très tôt intéressé à l'innovation, initialement dans l'objectif de comprendre en quoi le contexte social, culturel, institutionnel, exerce une influence sur la nature et le rythme de l'innovation. Partant d'abord d'une lecture critique des organisations (publiques et privées) centralisées, verticales, hiérarchisées, il a mis en évidence que l'imminence du développement des réseaux de communications était l'occasion de tester la pertinence de ces modèles d'organisation. Prônant une culture nécessaire de ce qu'il appela l'anti-organisation¹, il mit à l'épreuve la capacité de la société et de l'État français à promouvoir une dynamique de développement et de diffusion de nouvelles technologies aptes à s'imposer dans un marché en voie d'internationalisation rapide. Un de ses textes, joliment intitulé « Autopsie d'une machine à laver »², prend cet objet, tel que l'industrie française le commercialisait au passage des années 1960, comme un révélateur de la construction d'une technique dans une société marquée par à la fois le paradigme de l'industrie lourde et une structure sociale faisant de la femme une domestique. Cette machine à laver n'était pas automatique. L'essorage devait être fait à la main, la machine était faite en fonte, et la ménagère ne pouvait pas vaquer à d'autres occupations pendant le lavage. Par contraste, d'autres pays européens, l'Italie au premier chef, mettaient au point des lave-linge automatiques. Pesanteurs techniques et pesanteurs sociales se conjuguent et se renforcent... C'est dans un cadre autre qu'académique que Stourdzé a cherché des leviers pour sortir de ces pesanteurs. Il fut en effet, jusqu'à son décès prématuré en 1986, directeur-général du CESTA, organisme de conseil auprès de la présidence de la République mis en place par le premier gouvernement socialiste en 1982, à la suite des Assises de la recherche et de la technologie. Stourdzé sera secrétaire général du groupe de travail « Technologie, croissance, emploi », mis en place après le sommet de Versailles, premier sommet

¹ Yves Stourdzé, *Organisation et Anti-organisation*, 1973 (réédition 2015), Sens et Tonka éd.

² Publié dans *Le Débat*, n° 17, décembre 1981

européen consacré à la conception d'un programme de croissance basé sur la coopération technologique, dont le programme Euréka sera issu. En outre, le CESTA eut un rôle majeur dans le développement des sciences cognitives en France, auquel Jean-Louis Lions, alors chercheur à l'INRIA, apporta sa pierre³.

Victor Scardigli a développé une socio-anthropologie des techniques qui répondait à plusieurs questions : qu'est-ce que les nouvelles technologies, notamment celles du digital qui commençaient à poindre à l'horizon, risquaient de changer dans la « culture du quotidien » ? Comment les représentations collectives, les attitudes, vis-à-vis des nouvelles technologies, se façonnent et se transforment ? La pensée et la raison scientifique et technique sont-elles pleinement achevées ? À ces différentes questions, Victor Scardigli (avec ses collaborateurs), a apporté des analyses originales et innovantes, notamment la digitalisation⁴. En liant la question de la consommation à celle du progrès technique, Scardigli soutenait que ce dernier détruit la culture du quotidien, et que la production de biens ou services exige un haut niveau de compétences scientifiques et techniques. Mais, plus généralement, Scardigli a mis en exergue l'importance de la force imaginaire de la technique, cet imaginaire devant être traité comme une production symbolique de la culture moderne. Les nouvelles technologies ne sont pas sans susciter des craintes ou des espoirs, qui s'organisent dans des mythes qui ne sont ni donnés ni figés : ils peuvent survenir dans le contexte d'émergence de nouvelles technologies, se transformer au cours de la diffusion de la technologie, tout cela étant une affaire d'attitudes et de représentations sociales. Scardigli a donné un prolongement original à une comparaison, récurrente dans ses écrits, entre les sociétés traditionnelles et les sociétés modernes : toutes comportent une part de pensée magique. Ainsi, à partir d'une recherche sur l'automatisation du pilotage des avions commerciaux⁵, Scardigli a soutenu que, dans ce processus, les ingénieurs de conception d'Airbus visaient à substituer, à des humains pour eux faillibles, un système automatique de gestion du vol (*flight management system*) infaillible, qui dépossède le pilote d'une gestion active du vol. Dans ces conditions, tout se passe comme si l'ingénieur de conception, même absent physiquement du *cockpit*, y était quand même présent via les dispositifs de gestion du vol, de la même manière que les « choses dotées de pouvoir » de Leroi-Gourhan (le bâton du chamane, l'idole, l'icône) exercent une action à distance de leur artisan.⁶

Le renouveau technologique et économique de la télévision a été au cœur des nombreux travaux réalisés - ou coordonnés - par Pierre Chambat. La convergence des technologies des télécommunications, de l'informatique et de l'audiovisuel laissaient en effet présager, au seuil des années 1990, l'émergence d'une « culture de l'écran » au sein de laquelle la diffusion télévisuelle s'ouvrait à de nouvelles chaînes privées. Le cœur des interrogations sur la nouvelle télévision se situait dans la compréhension des enjeux sociaux,

...

³ Brigitte Chamak donne un compte-rendu très détaillé de ces différents points. Cf son article « Yves Stourdzé et les réalisations du CESTA », *Quaderni*, 2016/1, pp. 11-24

⁴ Pierre-Alain Mercier, François Plassard, Victor Scardigli, *Société digitale*, Seuil, 1984

⁵ Victor Scardigli, *Un anthropologue chez les automates. De l'avion informatisé à la société numérisée*, PUF, coll. « Sociologie d'aujourd'hui », 2001

⁶ Victor Scardigli, « Le corps de l'automate », *Communication*, 81, 2007. « Corps et technique » (numéro coordonné par Georges Vigarello et Thierry Pillon), pp. 162-187

...

culturels, du rapport des français à la télévision. La thèse alors dominante en sociologie des médias ou de la consommation était que les individus, notamment des milieux sociaux les plus modestes, étaient des consommateurs passifs, en masse, de contenus et d'images peu valorisés par les catégories sociales supérieures. Prenant le contrepied de cette thèse, Chambat (avec Ehrenberg) s'est employé à démontrer que cette passivité, cette consommation de masse, n'ont jamais été établis empiriquement, et que l'enjeu principal de connaissance portait sur « l'expérience télévisuelle ». Le modèle économique et technologique de la nouvelle télévision laissait en effet présager des évolutions majeures, de la masse à l'individu (capable de produire des choix de programmes), de la passivité à l'activité, du spectacle à la communication (via les techniques télématiques).⁷

Avec les travaux d'Alain Rallet, les NTIC aillaient être mises au cœur des changements du travail, de l'organisation de la production notamment sur le plan spatial. Précurseur, avec d'autres, du rapprochement de l'économie industrielle et de l'économie spatiale⁸, qui a donné lieu à une École française de la proximité bien connue internationalement⁹, Rallet (ainsi que sa doctorante Catherine Poirier) a été un des premiers économistes à s'intéresser aux perspectives du télétravail et aux conditions de son utilisation¹⁰. En clarifiant la nature des effets de proximité (physique, organisationnelle et institutionnelle), Rallet et Poirier ont établi que les possibilités de recours au télétravail étaient déterminées par le mode d'organisation du travail, les formes de contrôle du travail, les incitations au travail et la représentation de l'entreprise. *In fine*, l'éloignement physique du lieu de travail que peut permettre le recours au télétravail ne saurait être exclusif de rencontres en vis-à-vis avec les autres salariés et la hiérarchie, notamment par ce que des connaissances tacites, non formalisables, ne peuvent être échangées sans contact direct.

Les connaissances, tacites et formalisées, leurs combinaisons, ont été au cœur des travaux de l'économiste de l'innovation Dominique Foray¹¹ qui, pendant sa période dauphinoise (1993-2000), a été liée à la mise en place de l'Institut pour le Management de la Recherche et de l'Innovation (IMRI). Introduceur en France des apports nouveaux de l'économie de la standardisation, des *lock-in* technologiques et des rendements croissants d'adoption, expert auprès de l'OCDE avant de rejoindre l'école Polytechnique fédérale de Lausanne, Foray a été une figure majeure de l'économie de la connaissance, de la R&D privée et publique et des standards technologiques.

⁷ Pierre Chambat et Alain Ehrenberg, « De la télévision à la culture de l'écran », *Le Débat*, 1988/5, pp. 107-132 ; « Télévision, terminal moral », *Réseaux*, Hors-série 11, n° 2, 1993, pp. 143-170

⁸ Alain Rallet et André Torre (dir.), « Économie industrielle et économie spatiale : un état des lieux », *Economica*, 1995

⁹ André Torre & Alain Rallet, « Proximity and localization »,

Regional Studies 39, 2005, pp. 47-59

¹⁰ Catherine Poirier et Alain Rallet, « Télétravail et proximité », in M. Bellet, T. Kirat et C. Langeron (dir.), *Approches multiformes de la proximité*, Hermès, coll. « Interdisciplinarité et nouveaux outils », 1998, pp. 223-239

¹¹ D. Foray, *L'Économie de la connaissance*, La Découverte, coll. « Repères », 2009



Concevoir «le droit de la régulation» à Dauphine

Creating Regulation Law at Dauphine

When I was professor of Economic Law in Dauphine University between 1996 and 2001, Professor Ivar Ekeland asked me to cooperate to a collective work about the tariffication of the infrastructure network access. At the beginning I refused to do it because in France these sort of questions are studied by specialists of Public Law and I was only professor of Private Law. But for my colleagues, who are professor of Economics, Finances or Mathematics, this distinction so important in my field seemed irrelevant; therefore I have been forced to work on the legal rules applicable on regulated sectors, such as Energy, Transport or Post which are in Public Law, and not only on Financial and Banking Regulatory Law as I had done before (these fields belong to Private Law in a classical way). Because we were friends, they asked me to understand the logic of Law and I tried to explain it, not to submit it under their own fields, by linking Law and regulatory mechanisms, not in a Law & Economics perspective, which is only an economic conception, but in a very truly interdisciplinary work. This was how I wrote an article, «Le Droit de la régulation», in respect of Law and Regulation, above Private Law and Public Law. Thanks to Dauphine, Thanks to my dear Colleagues.

↓ Merci de l'honneur et de cette bonne occasion que constitua pour moi cette proposition d'écrire une présentation d'un article ou d'une innovation illustrant mon activité de recherche lorsque j'étais professeur à Dauphine. Les auteurs de cette offre ont suggéré la monographie parue en 2001 au Recueil Dalloz : *Le Droit de la Régulation*.

Faudrait-il le résumer, sorte de fiche de lecture pour dispenser le lecteur de lire l'article-même, rappelant la structure et les idées ? Cela reviendrait avant tout de dire du bien de soi-même pour suggérer que oui c'était une bonne idée de proposer une branche du Droit qui s'appellerait ainsi. Et de rappeler certes toutes les critiques qui s'en suivirent, sur l'inadéquation de la définition proposée, mais les critiques ne sont jamais qu'une variation de l'hommage.

Je voudrais plutôt raconter pourquoi c'est bien parce que j'étais à Dauphine et non ailleurs que j'ai publié cet article-là. Il en est l'aboutissement. Merci, Dauphine. Merci à l'Institut de Finance et aux professeurs au départ inconnus de moi et pour lesquels j'étais aussi une inconnue. Dauphine, lieu merveilleux mêlant des inconnus ayant pour principe de s'adresser la parole sans rien savoir les uns des autres.

Car c'est une grande chance d'arriver dans un endroit qu'on ne connaît pas. Je suis entrée à Dauphine un peu par hasard et je n'y étais pas familière. Quand j'ai croisé pour la première fois le Président Ivar Ekeland dans un couloir, je ne savais pas qui il était et il m'a accueillie en ces termes : « nous avons toujours plaisir à accueillir dans nos murs une jeune maître de conférences, bienvenue ! ». Arrivant d'un monde où le concours d'agrégation est au centre du système et des conversations, cela m'a permis de comprendre que dans ces murs-là le codage de l'*Alma Mater* juridique n'existait donc pas.

Et puis, Ivar Ekeland eût besoin de forces de travail pour son Institut de finance. Dans une première réunion où j'étais la seule juriste, j'ai vécu une expérience qui m'a conduite à associer deux choses : le Droit d'un côté et la Régulation de l'autre, sans pouvoir y appliquer le savoir juridique comme première trame, parce que ce savoir-là n'était pas compréhensible par mes collègues, notamment pas la distinction du Droit public et du Droit privé. J'ai dû le faire en raison de leur ignorance et j'ai pu le faire parce qu'ils n'ont pas imposé pour autant leurs propres matières, qu'ils demandaient à en savoir plus, qu'il me fallait expliquer la logique juridique, laquelle fût reçue non pas en hiérarchie mais en amitié. Le «Droit de la régulation», équilibre entre le Droit et la Régulation, dans lequel aucun ne dévore l'autre, en a résulté.

L'on cherche d'une façon d'autant plus fructueuse que l'on est entouré de personnes qui ne connaissent pas votre matière technique : l'Institut de Finance de Dauphine.

Christian Stoffaës dirigeait une étude sur la tarification d'accès aux réseaux de transport d'électricité. Étaient aussi présents Jean-Marie Chevalier et Ivar Ekeland. Je ne voyais pas ce que j'avais à dire sur cette question,

ayant pour ma part fait une thèse en procédure civile, pénale et administrative et écrivant notamment en droit processuel financier, car le droit bancaire et le droit des sociétés cotées relèvent du Droit privé et je suis agrégée de droit privé.

Mais Ivar se tourna vers moi et dit «Le droit dit quelque chose sur les tarifs d'accès, c'est donc Marie-Anne qui va s'en occuper». J'ai immédiatement répondu : «Non, je ne le peux pas». Sommée de me justifier, j'ai expliqué que cela concernait des questions de service public, avait donné lieu à de la jurisprudence du Conseil d'État, que des agrégés de droit public en étaient spécialistes.

Ils ne savaient pas qu'il existe en France deux agrégations, l'une de Droit public et l'autre de Droit privé, que le droit des tarifications d'accès tombait par une sorte d'effet de nature dans le jardin des spécialistes du droit public, le «droit de l'électricité» relevant de celui-ci, et ce d'autant plus qu'EDF est une entreprise publique. Public, public, public. Mais pour eux, trêve de bavardage, il fallait rendre une étude dûment commandée dans laquelle le Droit avait sa part. C'est ainsi que j'ai commencé à travailler non plus seulement sur la régulation bancaire, financière et assurantielle mais encore sur les secteurs électriques, des transports, des télécommunications, etc.

Simplement parce qu'ils n'avaient pas fait d'études de droit et n'avaient pas répondu à cette question de préséance que nous nous posons le plus souvent entre juristes : « Est-ce du Droit public ou est-ce du Droit privé ? ». Ce faisant, ils m'en ont libérée. Merci.

Pendant quatre années, j'ai travaillé chaque jour davantage sur des questions sectorielles, sans plus passer par les fourches caudines des classifications juridiques, en demeurant dans le droit technique - car la sociologie quant à elle associe régulation et réglementation (comme continue de le faire l'analyse économique du droit) et les travaux en la matière portent plutôt sur les formes de l'État moderne. Il m'est apparu que toutes les difficultés sectorielles étaient qualifiées de la même façon, étaient l'objet d'un même raisonnement (le raisonnement téléologique), étaient centrées sur une autorité spécifique : l'autorité de régulation exprimant l'opposition entre la régulation *Ex Ante* et la concurrence *Ex Post*, que la Régulation bancaire ressemble à la Régulation énergétique, alors que celle-ci ne ressemble pas à la régulation des télécommunications.

Il existait donc un Droit de la Régulation. À la fois commun à tous les secteurs et ne relevant pas seulement du juge administratif, un Droit à la logique juridique *Ex Ante* issu des défaillances de marché, un Droit distinct du Droit de la concurrence, voire opposé à celui-ci. Dans cet ensemble, les rapprochements sectoriels faits par les juristes, comme celui entre les télécommunications et l'énergie, ont peu de pertinence, alors que tant de points de contact existent entre l'assurance et l'énergie. Mais c'est bien le Droit public qui unifie en façade les deux

...

premiers alors que la parenté des seconds (qui est le risque) est masquée du fait que l'assurance relève du droit privé et l'énergie du droit public.

Ce Droit de la Régulation n'était pas très nettement apparu sans doute parce qu'il n'y avait eu assez de hasard pour conduire des mathématiciens de la finance, des ingénieurs et des économistes de l'énergie, à mettre dans le même *shaker* des réalités différentes et pour en faire sortir des points de contact et des éléments communs à force de ne pas se comprendre, d'en prendre conscience et de demeurer pourtant à la même table de travail avec une juriste interdite de se prévaloir de cette hémiplegie consistant à ne connaître qu'une partie du Droit.

Dans ces discussions qui ont duré plusieurs années, il est apparu que les Droits secteurs ne peuvent certes pas se fondre les uns dans les autres mais que le Droit de la Régulation agit avec le même effet de ciment que le fait l'Économie de la Régulation, et que si l'on ne constituait pas une branche du Droit, branche qui ne soit dépendante ni dans le Droit privé ni dans le Droit public, alors cela sera un autre système juridique qui l'accueillera. C'est sans doute pour cela que les travaux des économistes désignent si souvent la *Common Law* comme le Droit qui conviendrait le mieux aux secteurs régulés.

Il m'a semblé que l'on pouvait soutenir le contraire. En effet, le Droit de la Régulation est conforme à la tradition du système romano-germanique. Il est appuyé sur un pouvoir d'établissement des règles *Ex Ante* avec des principes clairs et nets. S'ils sont de nature téléologique, c'est bien sûr des principes que ce Droit est construit. De nombreuses règles techniques sont propres aux secteurs car c'est un Droit qui sort des objets-mêmes : le téléphone, le rail, l'électricité, l'argent, le titre coté, le médicament, etc. Mais cela appelle justement la nécessité d'une interrégulation entre la banque, la finance, les télécommunications, etc., ce à quoi je consacrais la dernière partie de l'article ici présenté en 2001. Ainsi ce mécanisme d'interrégulation permettrait d'appréhender des phénomènes comme le numérique, qui comme la finance a tant recouvert le monde qu'on doit hésiter à le qualifier de secteur.

Cette articulation entre un Droit général de la Régulation, construit sur des principes clairs et une méthode unique de la téléologie, avec une interrégulation sur des secteurs dont la technicité propre était ainsi préservée et dépassée, est l'architecture classique du *Civil Law*.

L'on cherche d'une façon d'autant plus fructueuse que l'on est entouré d'amis : Ivar, Jean-Marie, Christian, Maurice et les autres.

C'est Jean-Marie Chevalier qui m'a suggéré d'écrire cet article sur « Le Droit de la régulation », parce qu'il ne retrouvait pas trace de la part juridique de nos discussions dans les écrits qu'avec soin (dans tout professeur demeure un étudiant), il lisait dans les revues

sur le Droit de l'énergie. Et nous avons écrit ensemble de très nombreux articles, notamment sur la libéralisation de ce secteur par le Droit communautaire.

C'est avec Maurice Nussenbaum que j'ai écrit d'autres articles sur le Droit de la régulation financière et notamment pour mesurer l'articulation à faire entre les différents types de marché financier ou pour peser le rapport entre le juge judiciaire et le marché boursier.

C'est avec Christian Stoffaës que j'ai intégré la commission qui, sous la présidence de Renaud Denoix de Saint-Marc, a élaboré une définition du service public.

C'est avec Ivar Ekeland que j'ai fait la connaissance de Jean-Jacques Laffont, avec lequel j'ai rédigé un rapport pour la Cour des comptes sur la façon dont celle-ci pourrait évaluer les autorités de régulation, en reprenant notamment le principe téléologique et la mesure d'efficacité.

Nous avons pu faire cela parce que nous étions et sommes demeurés amis.

Entre amis, il n'y a pas une discipline-mère, qui aurait été la finance ou l'économie, et des disciplines servantes, qui auraient été le droit, ou la sociologie, apportant juste leur écot. Ivar, Christian, Jean-Marie, Maurice n'ont jamais demandé cette allégeance, qui est si souvent requise lorsque l'on travaille non pas entre l'Économie et le Droit mais en *Law & Economics*.

Chacun demeure pourtant ancré. Cela est nécessaire pour se parler. Ainsi, lorsqu'il s'est agi de poser les principes du Droit de la Régulation, c'est-à-dire son but, chacun a pensé dans sa discipline. Jean-Marie Chevalier et Christian Stoffaës évoquant plutôt la sécurité et l'autonomie énergétique. Ivar Ekeland et Maurice Nussenbaum, plutôt la prévention de la défaillance systémique des marchés bancaires et financiers. Pour ma part, sans doute en souvenir de ma thèse sur « Le principe du contradictoire et les droits de la défense », j'ai plutôt pensé que la finalité du Droit de la régulation tenait dans le souci des êtres humains.

C'est cela le travail entre amis, discuter en tenant d'une façon égale ses positions. C'est grâce à ce travail que j'ai pensé au Droit de la régulation.

Aujourd'hui l'on m'explique souvent que le Droit de la Régulation serait une branche spéciale du Droit public français, qui aurait toujours été implicitement présente dans celui-ci, tandis que les spécialistes de droit privé auraient suffisamment à faire avec le Droit de la régulation bancaire et financière. C'est possible.

Il ne faut pas s'épuiser dans ce que l'on pourrait appeler des batailles de branches.

Pour ma part, ayant constaté que les buts monumentaux des Régulations que nous avons signalés entre amis ont

...

...

été internalisés dans certaines entreprises en position de les concrétiser, je construis aujourd'hui une autre branche du Droit : le Droit de la Compliance.

Le Droit de la Compliance est le prolongement du Droit de la Régulation, un Droit global d'une nouvelle sorte, déjà là et encore peu conçu pour lequel un vocabulaire nouveau doit être trouvé et des catégories établies, sans pleurs pour des distinctions anciennes qui obscurcissent la vision. Et peut-être que je rencontrerai un jour d'autres merveilleux amis ignorants de ma matière pourront me nourrir de leur non-science.

Merci à eux, merci Dauphine.



À quoi sert la régulation ? L'exemple de l'aménagement numérique du territoire

Regulation: What for? The Example of the Digital Land-Use Planning

I started working on regulation at the University of Paris-Dauphine and am carrying out my work as a member of the Autorité de Régulation des Communications Électroniques et des Postes (ARCEP), an independent French agency in charge of regulating telecommunications in France. Regulation's initial goal is to open markets to competition but its end goal is to stimulate investments and innovation for the common good. The expansion of digital services must therefore allow everyone, even in the most remote areas, to benefit from digital opportunities, making it the main propriety for network regulation as the evolution of uses leads to increasing mobile and fixed connectivity needs. To face these challenges, the regulator must adapt its tools to make them more responsive. Data-driven regulation now allows the regulator to better target these uses.

↓ Travaillant sur la régulation des réseaux à l'Université Paris-Dauphine lors de la mise en place des institutions créées à cette fin, j'avais étudié comment la régulation des télécommunications devait permettre une ouverture effective de ce secteur à la concurrence. Mais cette mission n'est bien sûr pas exclusive d'autres objectifs - complémentaires et non pas antagonistes - en ce que leur but final est toujours de stimuler l'innovation et l'investissement. Ainsi, depuis 2004, pas moins de cinq lois ont mis l'accent sur l'aménagement numérique du territoire. Comme membre aujourd'hui du collège de l'Autorité de régulation des communications électroniques et des postes (Arcep), je constate que les élus locaux ne manquent jamais, lors des Commissions régionales de stratégie numérique auxquelles l'Arcep participe régulièrement, de nous rappeler avec force ce nouvel objectif qui figure parmi ceux assignés au régulateur par la loi.

Le numérique est en effet à la fois un défi et une chance pour les zones rurales. Un défi en ce que la fracture territoriale en matière numérique pourrait accroître l'isolement des territoires les moins bien connectés. L'Arcep avait mis l'accent dès 2017 sur cette problématique dans le cadre du « Baromètre du numérique » qu'elle fait réaliser chaque année avec le Conseil général de l'économie et l'Agence du numérique. Il en ressortait que la fracture territoriale est la première des inégalités, qui peut être mise en corrélation avec d'autres, telles que des revenus plus faibles en moyenne dans les zones rurales que dans le reste du territoire, moins de jeunes, moins de diplômés souvent. Pourtant le numérique peut être une chance car il permet d'abolir les distances, en permettant notamment d'attirer - ou de retenir - des entreprises dans les zones rurales, donc en y suscitant plus de développement économique. Des solutions numériques (télé médecine, télétravail, etc.) peuvent également retenir les plus jeunes et les plus diplômés tout en permettant de bénéficier d'une meilleure qualité de vie. Mais, pour permettre tous ces usages, il faut des réseaux qui desservent les zones rurales avec un débit suffisant !

Le constat s'impose donc qu'il faut impérativement améliorer tant la qualité du réseau mobile que la connectivité fixe dans les zones rurales. C'est d'abord un objectif de politique publique défini au plus haut niveau de l'État, en concertation avec les collectivités territoriales. Le régulateur peut et doit cependant y contribuer, comme le veut la loi, sans rien manquer à l'indépendance et à la légitimité que lui confère son expertise technique et économique. Les nouveaux instruments qu'il a développés depuis sa revue stratégique de 2015, et qui mettent l'accent sur la régulation par la donnée, se révèlent extrêmement efficaces à cette fin. La construction de données agrégées, vérifiées et publiées sous un format pratique pour chaque utilisateur, en particulier sous forme de cartes, peut en effet avoir une portée incitative extraordinairement puissante, en ce qu'elle permet aux consommateurs de disposer d'informations non plus seulement sur les prix mais aussi sur la couverture et la qualité de service assurée par chaque opérateur, et cela

aussi bien pour la connectivité fixe que mobile. Ces outils permettent au régulateur de mieux cibler l'usage qu'il peut faire dans un deuxième temps de sa gamme d'instruments classiques et plus contraignants, qui s'attachent à son rôle de gendarme des télécoms.

Les cartes de couverture mobile ont longtemps été binaires, tout un bourg étant considéré comme couvert s'il était possible de passer un appel en extérieur et pas trop loin de la mairie. La loi dite croissance et activité du 6 août 2015 a donné compétence à l'Arcep pour exiger des opérateurs des données beaucoup plus fines, avec différents niveaux de couverture, selon qu'elle est limitée (probabilité de pouvoir passer un appel seulement à l'extérieur des bâtiments), bonne (possibilité de passer un appel parfois à l'intérieur d'un bâtiment), et enfin très bonne. En outre, cette loi a permis à l'Arcep de faire, aux frais des opérateurs, tout un travail de mesures et de vérification de la fiabilité des cartes. Le résultat de cet important travail est disponible depuis octobre 2017 pour la métropole (et le sera pour l'outre-mer à l'été 2018) sur le site de l'Arcep à travers l'application monreseau mobile.fr, qui permet de zoomer sur telle commune, telle rue ou tel hameau, et de constater qui couvre ou ne couvre pas, et avec quelle qualité. Cela a provoqué un choc de transparence. Alors que, jusqu'alors, à peu près tout le territoire semblait uniformément couvert, avec quelques taches blanches ponctuelles en montagne, la situation apparaît dorénavant beaucoup plus contrastée : environ 5% du territoire n'est bien couvert par aucun opérateur et 20% du territoire, où résident environ 1,5 million de personnes, est en zone grise, en ce sens qu'il est bien couvert par certains opérateurs mais pas par d'autres. Ces données enrichies sur la couverture mobile du territoire ont ainsi ouvert la voie à un ample débat sur les moyens d'y remédier.

Dès janvier 2018, le gouvernement a annoncé être parvenu à un accord avec les quatre grands opérateurs par lequel l'État renonce à certaines rentrées financières à condition que ces derniers investissent plus que ces sommes dans une amélioration forte et rapide de la couverture du territoire. Cet accord, dit *New Deal*, est beaucoup plus ambitieux que les anciens programmes « zones blanches », qui ne s'appliquaient pas aux zones grises et ne suffisaient pas à garantir une bonne couverture là où les collectivités locales l'estiment nécessaire. Le *New Deal* comporte quant à lui d'abord des engagements généraux notamment de couverture en 4G -d'ici fin 2020- de tous les sites existants et en outre de 55.000 kms d'axes routiers, ainsi qu'une offre généralisée de solution de couverture à l'intérieur des bâtiments. Il y ajoute des dispositifs ciblés, avec 5.000 zones supplémentaires à équiper par chaque opérateur, choisies en concertation avec les collectivités locales, avec une forte incitation pour les opérateurs à mutualiser ces équipements. Si les zones habitées seront visées en priorité, le dispositif pourra aussi s'appliquer à des zones non habitées (touristiques par exemple) selon les choix faits par les collectivités territoriales.

...

C'est alors que les instruments classiques de la régulation doivent prendre le relais. Les engagements pris par les opérateurs ont en effet vocation à être inscrits dans les autorisations d'utilisation des fréquences qui leur sont délivrées et seront donc juridiquement contraignants pour ces derniers. L'Arcep assurera le suivi de ces déploiements à travers un tableau de bord qui sera rendu public. Et elle pourra utiliser, si besoin est, ses pouvoirs d'enquête et de sanction, eux-mêmes récemment renforcés par la loi, à l'égard du ou des opérateurs qui y manqueraient.

Pour la connectivité fixe, il faut espérer que les nouvelles cartes de couverture disponibles fin 2018 auront un impact similaire. L'Arcep a certes mis en place depuis longtemps un observatoire rendant compte des évolutions des déploiements et des abonnements de la couverture fixe haut et très haut débit. Les nouvelles cartes marqueront cependant un tournant en ce qu'elles devront permettre à chaque utilisateur d'entrer sa propre adresse pour savoir quels sont les services offerts par les différents opérateurs en ce lieu précis, avec quelle technologie, en lui permettant d'obtenir quel débit (au moins minimal). Ces données seront fournies non seulement au présent mais aussi au futur, en fonction des engagements pris par les opérateurs sur leurs calendriers de déploiement notamment de la fibre optique.

Là encore, cette transparence doit permettre d'enclencher un cercle vertueux : les consommateurs pourront alors faire des choix en fonction d'autres paramètres que le seul prix, ce qui permettra une monétisation de l'investissement, qui à son tour devrait en être stimulé. C'est d'autant plus nécessaire que le constat fait par l'Arcep dès l'automne 2017 dans un avis rendu au Sénat, au vu des données rassemblées dans son observatoire, était que les opérateurs devaient très fortement accélérer leurs déploiements de fibre optique au regard des annonces publiques d'un très haut débit pour tous en 2022. La fibre optique a en effet l'avantage essentiel de ce que le débit n'y dépend pas, à l'inverse du cuivre, de la distance entre tel local et le répartiteur. En apportant un débit équivalent en habitat dispersé autant qu'urbain, cette technologie est donc particulièrement adaptée pour remédier à la fracture territoriale en matière numérique.

Dans le prolongement de la régulation par la donnée, les outils classiques de la régulation gardent ici aussi toute leur utilité : l'Arcep jouera, si nécessaire, son rôle traditionnel de gendarme des télécoms en particulier si les deux plus grands opérateurs privés venaient à manquer aux engagements qu'ils viennent de prendre sous une forme juridiquement contraignante pour la couverture en fibre optique de 3.500 communes péri-urbaines ou rurales d'ici fin 2020.

En outre, pour les territoires les plus ruraux, l'Arcep joue un rôle de facilitateur pour les déploiements de réseaux d'initiative publique de fibre optique. Pour ceux de ces territoires qui ne pourront bénéficier de solutions filaires dans un délai satisfaisant, l'Arcep les aide à mettre en



place des solutions de THD radio là où, à titre transitoire, elles apparaissent nécessaires. Ainsi, après une consultation publique sur la bande de fréquences pouvant être utilisée à cet effet, l'Arcep a ouvert fin 2017 un guichet permettant l'attribution de fréquences 3,5 MHz. Les premières autorisations d'utilisation de fréquences ont alors pu être délivrées sans délai. Mais il faut que les collectivités territoriales aillent vite car ce guichet n'est ouvert que jusqu'à fin 2019, ces fréquences ayant vocation ensuite à être utilisées pour la 5 G.

L'aménagement numérique du territoire est en effet une course de vitesse tant la consommation de data augmente de façon exponentielle au fur et à mesure que les usages se développent. La régulation des réseaux doit donc s'adapter aussi vite que les usages numériques pour être pertinente. Ce n'est qu'à cette condition que le numérique pourra vraiment être une chance sur tout le territoire. En l'état, cela reste un défi. Au régulateur de savoir y répondre en liaison avec les opérateurs, les utilisateurs et les pouvoirs publics. Son indépendance est à cet égard un gage d'expertise comme architecte et gardien de ces infrastructures de liberté que sont les réseaux de communication.



Entreprendre et réduire les risques sur son patrimoine privé

Entrepreneurship and Reduce Risks to its Private Assets

The risks incurred by the manager and his family in the event of business difficulties are one of the main issues for business creators. Reflection is legitimate in the face of an individual entrepreneur who exposes all his private assets in the event of liquidation. As for the manager, he may be sentenced for mismanagement to pay all or part of the shortfall in the assets of the company subject to collective proceedings. To encourage economic initiative and the creation and development of businesses, it is important that the failure of a business does not follow the failure of a lifetime. The law offers a whole series of measures that can constitute islands of resistance to creditors' action. It is a question of setting up an appropriate patrimonial organization, and resorting to insurance contracts. However, all the measures taken must not constitute fraud against creditors' rights.

↓ Traditionnellement, le patrimoine professionnel permet de constituer, de consolider, d'accroître le patrimoine privé. À l'inverse, le patrimoine privé peut être rudement affecté, voire anéanti par les risques liés à son activité professionnelle. On sait, en effet, que l'entrepreneur individuel doit répondre de ses engagements professionnels sur la totalité de son patrimoine considéré comme unique. Quant au dirigeant de société, il peut subir de lourdes condamnations à payer l'insuffisance d'actif de la société, en cas de faute de gestion ; pèsent également sur lui des menaces en matière de responsabilité civile, en matière fiscale...

À l'heure où la création et le développement des entreprises présentent un enjeu pour la croissance, la création d'emplois, il faut éviter que le chef d'entreprise prenne des risques disproportionnés sur son patrimoine privé. Il faut encourager l'initiative économique, il ne faut pas qu'à l'échec d'une entreprise succède l'échec d'une vie. Dans le respect de la loi qui offre des solutions opportunes, il s'agit, en cas de difficultés rencontrées par l'entreprise, de constituer des îlots de résistance à l'action des créanciers. Des ressources existent par une organisation patrimoniale pertinente et le recours à l'assurance. C'est l'un de principaux axes de recherche que nous avons développé au sein du CR2D.

L'ORGANISATION PATRIMONIALE

Des choix appropriés exercés par le chef d'entreprise peuvent protéger efficacement son patrimoine privé.

L'observation a montré que la majorité des chefs d'entreprise n'a pas conclu de contrat de mariage préalablement à leur union. Ils sont donc exposés au régime légal, particulièrement à l'article 1413 du Code civil selon lequel les dettes contractées par les époux, à quelque titre que ce soit, peuvent toujours être poursuivies sur les biens communs. On pense à la liquidation judiciaire du conjoint ou à sa condamnation en insuffisance d'actif prévue par l'article L. 651-2 du Code de commerce. D'autant plus que la jurisprudence inclut désormais les gains et salaires dans l'assiette de la procédure collective. À l'inverse, le notaire pourra proposer, lors du mariage ou pendant sa vie, l'efficacité du régime de séparation de biens ou de participation aux acquêts. Dans les deux cas, chacun des époux reste seul tenu des dettes nées en sa personne, avant ou pendant le mariage.

Il reste qu'il faut poursuivre la réflexion sur la cohérence entre un régime matrimonial protecteur et l'organisation de l'entreprise. En droit des sociétés, il est impérieux que les époux ne soient pas dirigeants de droit ou de fait de la même entreprise, co-gérants, administrateurs, membres du directoire ; en cas de défaillance de l'entreprise, les époux seraient actionnés sur leur patrimoine propre.

La voie du recours à la société civile sera surtout précieuse pour le dirigeant de société qui ne peut bénéficier de l'insaisissabilité de ses actifs immobiliers, sur le fondement de l'article L. 526-1 du Code de commerce, mesure réservée à l'entrepreneur individuel.

Face aux appétits des créanciers, la séparation des actifs et leur apport ou acquisition au profit de sociétés civiles présente des intérêts non négligeables. La résistance de la société face à l'action des créanciers mérite d'être rappelée sous réserve que ces derniers ne remettent pas en cause l'organisation.

Si un dirigeant de société apporte à des sociétés civiles sa maison d'habitation, sa résidence secondaire, son portefeuille titre, les créanciers pourront, il est vrai, saisir les parts reçues en rémunération des apports. Toutefois, l'examen de la réalité démontre que l'entreprise n'est pas aisée. La première difficulté est de trouver un adjudicataire intéressé. Il ne s'agit pas, ici, de devenir propriétaire d'un immeuble net de tout passif mais de parts sociales d'une société titulaire d'un patrimoine comportant des éléments d'actif et de passif, régie par des statuts dotés de clauses parfois dissuasives, comme celles conduisant à l'irrévocabilité du gérant, l'existence d'une clause de tontine sur les parts ou d'un bail consenti au dirigeant. Si, malgré tout, un candidat adjudicataire est trouvé, il n'est pas au bout de ses peines. La vente sur saisie ne le rend pas automatiquement associé. Il doit, en effet, être agréé par les associés puisque ceux-ci peuvent se substituer à lui dans un délai de cinq jours à compter de la vente.

L'ensemble de ces observations permet de considérer que la détention d'actifs par des sociétés civiles met le débiteur dans une situation particulièrement favorable comparée à la détention directe d'immeubles ou de valeurs mobilières dont la saisie est aisée. Certes, la saisie de parts de sociétés civiles est juridiquement possible mais, en pratique, on constate que l'îlot de résistance du dispositif permettra au débiteur d'être en situation de proposer une transaction à ces créanciers où ceux-ci, face à la situation, seront conduits à consentir des concessions significatives.

Encore faut-il que la constitution des sociétés soit le fruit de l'habileté et non de la fraude et que leur fonctionnement ne prête pas à contestation.

Les clauses d'inaliénabilités visées par l'article 900-1 du Code civil sont fréquemment insérées par les notaires notamment dans les dotations-partage d'entreprise. Les biens donnés deviennent-ils insaisissables ? C'est ce que décide la Cour de cassation en ces termes « attendu que le donateur, libre de ne pas donner, était libre d'attacher une pareille restriction à sa propre libéralité et de retenir une partie de la propriété, d'où il suit que les créanciers ne pouvaient puiser que dans la personne de leur débiteur le droit de poursuivre la vente de ses immeubles, et le droit lui manquant, leur manque également ». La jurisprudence a, par la suite, confirmé, voire accentué, sa position initiale en annulant par exemple un commandement de saisie immobilière et en accueillant le droit pour les intéressés de demander la radiation de ce commandement. Par ailleurs, renforçant le dispositif, la Cour de cassation a déclaré purement et simplement irrecevable toute action oblique des

...

créanciers tendant à obtenir la mainlevée de la clause d'inaliénabilité sur le fondement de l'article 900-1 du Code civil.

Dans l'état actuel de la jurisprudence, tous les biens donnés ou légués au dirigeant comportant une clause d'inaliénabilité ne peuvent faire l'objet d'une saisie tant que cette clause est en vigueur, notamment tant que le donateur est en vie.

Pour être complet sur cette question, on doit relever que le régime des procédures d'exécution comporte une hypothèse de stipulation d'insaisissabilité autonome des clauses d'inaliénabilité. L'article L 112-2-4 du Code des procédures civiles d'exécution dispose que ne « peuvent être saisis [...] les biens disponibles déclarés insaisissables par le testateur ou le donateur, si ce n'est avec la permission du juge et pour la proportion qu'il détermine, par les créanciers postérieurs à l'acte de donation ou à l'ouverture du legs ».

LE RECOURS À L'ASSURANCE

Le chef d'entreprise doit privilégier le contrat d'assurance-vie pour sanctuariser ses économies, il lui est également conseillé de souscrire un contrat d'assurance pour couvrir sa responsabilité civile.

En principe, le contrat d'assurance-vie, plus précisément sa valeur de rachat est insaisissable par les créanciers en application des articles L. 132-14, L. 132-9 et L. 132-12 du Code des assurances, consacrée par la Cour de cassation. Cette insaisissabilité cède néanmoins en cas de fraude paulienne, de versement de primes en période suspecte et en matière fiscale. Il importe de préciser que la saisie par le comptable public n'est possible que pour les assurances comportant une faculté de rachat, principe rappelé par la doctrine fiscale (BOI-REC-FORCE 30-30-20170828). Les contrats dépourvus de faculté de rachat ne sont donc pas saisissables, c'est ainsi le cas de la Tontine visée notamment par l'article R 322-139 du Code des assurances, la répartition des fonds ne pouvant avoir lieu qu'à l'expiration de l'association tontinière.

La responsabilité civile du dirigeant peut être également couverte par l'assurance responsabilité civile mandataires sociaux (RCMS) qui couvrira les condamnations du dirigeant, même en cas d'insuffisance d'actif sous la réserve de l'absence de faute intentionnelle.

Ajoutons qu'un nouveau produit d'assurance est apparu et qui peut être utile patrimoniallement au dirigeant : l'assurance santé économique des entreprises. En cas de difficultés de l'entreprise, pour une prime modeste, l'assurance prend en charge les honoraires des professionnels spécialisés dans le traitement des difficultés des entreprises : experts-comptables, avocats, mandataire *ad hoc*. Leur concours peut permettre d'éviter la liquidation judiciaire et l'action en insuffisance d'actif...

LA REMISE EN CAUSE DE L'ORGANISATION

L'habilité doit être saluée ; il n'est pas interdit de faire le choix de mesures protectrices résultant du jeu de la liberté contractuelle. Ce qui est condamnable c'est de prendre ces dispositions lorsque l'incendie est déclaré, que le débiteur à la situation obérée entend mettre son patrimoine à l'abri. Là, les montages illégitimes sont d'abord sanctionnés par l'action paulienne prévue par l'article 1341- 2 c.civ. Ce texte autorise le créancier à faire déclarer inopposable les actes fait par son débiteur en fraude de ses droits. La jurisprudence est significative à l'encontre des apports réalisés au profit des sociétés civiles, le Code des assurances et le droit matrimonial y font expressément référence. À l'égard de l'entrepreneur individuel soumis à une liquidation judiciaire, les mesures prises pourront également être annulées si elles ont été accomplies pendant la période suspecte. Enfin, ajoutons qu'à l'égard des dettes légales (condamnation délictuelle, fiscal) le chef d'entreprise peut être condamné pénalement pour organisation d'insolvabilité.

Les sanctions plaident pour conseiller les chefs d'entreprise à mettre en place le « bouclier patrimonial » le plus tôt possible, avant que l'entreprise ne rencontre des difficultés.



Itinéraire d'un chercheur gâté

A Route for a Privileged Researcher

What could be the road of a privileged researcher? First, one must be open and modest when discovering the systems of law of other countries, and one should also be open to other sciences as well as economics needs. After travelling in different systems and countries, it is possible to do researches on any legislation or case law. But, sometimes, one writes a paper that will open a new domain of research. In the new field of The French Law for Commercial Tenancies, the researcher will discover that such contracts, created in 1926, must be adapted to follow the economic evolutions. During years, papers and papers will be opening the ways to such reform, maybe without great success. But a privileged researcher must keep in mind that hope is more important than success.

↓ Difficile d'écrire à propos de soi. L'exercice ne concernerait-il que l'activité de recherche passée et publiée ? Mais telle est la demande. Alors en cherchant ce qui pouvait être saillant à ce propos, je dois avouer que c'est l'itinéraire suivi au cours des quarante années dernières qu'il me semble possible d'observer dans le miroir de Narcisse. L'itinéraire de recherche que j'ai eu la chance de parcourir est plus qu'étrange. Alors que j'avais envisagé d'être praticien après une formation en droit et en gestion, à Paris et à Londres, de retour d'Afrique où j'ai enseigné et servi à la Cour suprême locale, le virus *quaerere* m'a atteint. L'accord d'un directeur de recherche m'ouvre l'accès à la thèse en droit comparé et celle-ci à l'université, donc à la « Recherche » ? En espionnant John Le Carré, on apprend que ceux qui font la loi ont « passé tant de temps à arrondir les angles qu'ils ne pouvaient plus écrire en ligne droite ». Fort d'une telle méthode, vous passez les obstacles. La thèse vous qualifie, la chance fait le reste, et vous voilà « chercheur ». La thèse, ce moment essentiel, permet d'apprendre que pour prétendre s'adonner à la recherche sur les sources, le sens, la portée des normes légales qui régissent la vie économique, la modeste doit se conjuguer avec l'audace. Il faut admettre que les systèmes parfaits – tout spécialement le sien – sont illusoire ; sont illusions. Tel ou tel voyage, *in vivo* ou *in textu*, vous conduit à examiner le Droit des autres ; à faire l'étonnante découverte de l'évidence. Ce Droit, ces Droits offrent des solutions plus pertinentes que celles qui prévalent dans le vôtre. C'est vrai lorsque le droit visité est celui d'hier, voire d'il y a fort longtemps. C'est vrai lorsqu'il est celui d'un autre peuple. Enrichi du savoir des autres, des expériences exogènes, il devient possible de voir clair sur votre droit. Vous constatez aussi que l'urgence n'est qu'une forme de l'éphémère ; qu'elle est trompeuse, et même malicieuse. Il faut penser long lorsque l'on constate l'inadaptation de telle règle ou de tel système de pensée. En Droit sûrement. Ailleurs, sans doute.

Alors, au fil des ans, des lieux, le droit des sociétés, le droit comptable, le droit de l'avocat, le droit de la concurrence, les droits étrangers – voisins ou lointains, dans le temps comme dans l'espace ont retenu mon attention. Telle l'abeille, j'ai butiné de fleur en fleur. Mes vols, parfois erratiques, de Droit en Droit, de l'économie ou de la sociologie vers le Droit, et inversement, ont fécondé mes réflexions. Jusque-là, rien que de très classique. Il me fallait trouver un domaine privilégié.

Une rencontre imprévue avec l'un des papes du droit des baux commerciaux, à la suite d'un article conjuguant les droits des sociétés, de la concurrence et de la distribution, avec un zeste de droit de la copropriété (L'organisation de la concurrence dans le préambule des statuts d'un centre commercial : JCP E 1986, II, n° 14726, éd. LexisNexis) m'ouvre un nouvel univers de recherche : le droit des baux commerciaux. Celui-ci allait me gâter pour le reste de ma carrière. En effet, ce « petit contrat », comme aiment encore à le dire certains auteurs classiques qui n'osent pas l'observer, implique au sein d'une approche systémique, une compréhension des données et choix économiques des

signataires pour être compris. Il repose tout entier sur la protection juridique de la créativité économique des commerçants exerçant dans des boutiques en pied d'immeuble ou dans des galeries commerciales.

En 1926, est née la « propriété commerciale », greffée sur la propriété de l'immeuble qui abrite l'activité du commerçant. Créer un droit opposable au propriétaire de l'immeuble au seul motif qu'il le loue pour qu'y soit exploité une activité économique, un fonds de commerce, perturbe profondément la puissance traditionnelle du droit de propriété. Ce « droit le plus absolu », toujours affirmé avec un pléonasm qui fût voulu en 1804, dans l'article 544 du Code civil, dans la grande tradition romaine, se voit souvent amputé à la fin de la période locative. Le propriétaire qui veut reprendre son bien immobilier, doit indemniser le locataire évincé de la perte économique subie – le plus souvent égale à la valeur du fonds de commerce. Ce système dit de « statut des baux commerciaux », largement impératif, est né des excès des propriétaires (Il faut relire Balzac à propos de César Birotteau). Cette prévalence du droit de propriété, chère au droit libéral du XIX^e siècle, survit au Luxembourg, avec le même Code civil, et en Suisse dans le code des obligations inscrit dans la même philosophie, en Allemagne, avec le BGB, en Espagne et dans les pays de l'est de l'Union européenne lorsqu'ils ont retrouvé la liberté d'antan. Il est aisé d'imaginer l'apport de la comparaison des droits. Il est intéressant d'observer les effets économiques du système locatif français. Cela concerne non seulement les commerçants, mais encore les promoteurs et constructeurs d'immeubles, les aménageurs urbains, les politiques, les consommateurs, ultimes payeurs des coûts, directs et indirects, du système légal et de l'art contractuel développé au fil du temps. Nul besoin de dire la pertinence d'une bonne corrélation entre le droit du bail commercial et les choix et contraintes économiques et pourtant quand on se plonge dans les textes votés par le Parlement, force est de dire, de redire et d'écrire que le droit en vigueur ignore l'évidence principielle. Ce fut un grand moment que de mener avec une belle équipe une recherche sur celle-ci (V. Pour un bail commercial adapté aux réalités économiques, s. dir. J. M., CREDA, CCIP, LexisNexis 2010) !

Dès 2003, après avoir participé à la Commission « Pelletier », chargée de proposer des éléments pour une réforme du droit des baux commerciaux, je me suis laissé aller à penser qu'une réforme allait naître, que « le nouveau statut » qui sortira des ministères devrait simplifier et rendre clair ce qui au fil des combats judiciaires et de l'évolution des besoins et des contraintes des activités industrielles, commerciales et artisanales a été frappé d'obsolescence ou d'obscurité (*Loyers et copr.* 2003, 7, p. 1).

Chateaubriand écrivait que « les Français n'aiment point la liberté ; l'égalité seule est leur idole » avant d'ajouter « Or, l'égalité et le despotisme ont des liaisons secrètes ».

...

Rapportée au droit du bail commercial, la formule garde tout son sens. Faut-il reconnaître que parmi les commerçants, il n'y a pas que des forts, comme il était d'usage de l'affirmer au début du xx^e siècle. À l'évidence, écrivais-je alors, « la quête du juste et de l'équilibre en ce domaine est aussi indispensable que difficile ». Cette quête a pu être ressentie comme une menace pour les professionnels des secteurs concernés. Un statut du xxi^e siècle, s'il pouvait voir le jour, serait une avancée vers l'efficacité économique. Participer, « avec passion et avec modération », à la recherche du juste et de l'équilibre contractuel m'avait semblé alors et me paraît toujours apporter une contribution « à la simplification et à la modernisation d'un système aux vertus indiscutables et aux défauts insupportables ». Même si Camus estimait que « tout le malheur des hommes vient de l'espérance » et c'est bien ce que ressent le chercheur dans n'importe quel domaine ; Rousseau offrait le réconfort en écrivant « qu'on jouit moins de ce que l'on obtient que de ce qu'on espère ». Telle est bien ce que celui qui a gardé l'espoir et la passion a pu ressentir, en lisant la réforme née du défaut d'écoute et de l'idéologie exacerbée, de la loi du 18 juin 2014, dites loi Pinel.

Les « États généraux des baux commerciaux » qui s'étaient tenus à Paris-Dauphine à l'automne 2013 (LexisNexis 2014) avaient pourtant ouverts les voies à suivre. Elles furent ostensiblement ignorées. Mais l'espoir est toujours vivace. Sortir des tranchés de l'incompréhension du réel. Il a été dit et redit, écrit et réécrit que la réforme de 2014 en voulant satisfaire les exigences du commerce d'hier, non seulement a réussi à lui nuire ; mais a ignoré la mutation des modes de distribution. Elle a voulu maintenir dans le carcan du droit de 1926, la location d'immeubles à usage de bureau, d'hôtel, de salle de spectacles, de galerie commerciale ... alors qu'il est nécessaire, à défaut d'un retour pur et simple à la loi du contrat, comme ailleurs, que des régimes spécifiques soient imaginés autour d'un cœur central du bail, dont la nature pourrait être d'ordre public, de protection ou de direction, selon qu'il y a ou non une exigence impérieuse, économique ou sociale. Même si on ne peut comparer les événements, ne dit-on pas que le xx^e siècle a commencé en 1919 ? Le xxi^e siècle du bail commercial ne pourrait-il pas émerger en 2019 ? Pourquoi ne pas ouvrir à nouveau les États généraux de Dauphine à cet effet ? C'est ainsi que l'itinéraire parcouru pendant plus de trente années par l'un des chercheurs de Paris-Dauphine, au sein de Paris Sciences et Lettres, serait pleinement celui d'un chercheur gâté.





50 ANS DE RECHERCHE : IER, AUJOURD'HUI ET DEMAIN

128

ARIS-DAUPHINE

La recherche dauphinoise de demain Research at Dauphine Tomorrow



129



La finance numérique et les *fintech* : quelles perspectives pour la recherche dauphinoise ?

Digital Finance and FinTech: What Outlook for Research at Dauphine?

Advances in digital technologies, such as artificial intelligence and big data, distributed computing, cryptography, and mobile access and internet, are deeply transforming the financial industry. Financial technologies, commonly known as *fintech*, create new services such as automated credit decisions, automated investment advice, crowdfunding, algorithmic trading, blockchain-based instantaneous settlement, digital currencies and digital wallets, etc., and they blur boundaries between intermediaries, markets, banks, and new service providers. Studying the economic consequences of *fintech* for services suppliers and final customers, assessing the need for new regulations, and evaluating the effectiveness of those new regulations have opened a vast field of research in which the DRM Finance research team of Université Paris-Dauphine has already strongly positioned itself as illustrated by the forthcoming launch of a chair on *fintech*. The team's recent and future work in the field covers all the areas of finance impacted by *fintech*, i.e., access to financing and fundraising by firms and individuals, trading and post-trading services, data analysis and information services, as well as banking and monetary instruments.

↓ Le terme *fintech*, contraction de *financial technology*, désigne toutes les activités consistant à utiliser les technologies numériques pour améliorer les activités financières, et par extension, les *fintech* désignent aussi les sociétés innovantes qui œuvrent dans ce domaine. Une note du FMI, sortie en juin 2017, classe les technologies numériques appliquées à la finance en quatre grandes catégories : l'intelligence artificielle et les données massives (*artificial intelligence and big data*), l'informatique distribuée (*distributed computing*), la cryptographie (*cryptography*) et l'accès par téléphonie portable et internet (*mobile access and internet*).

L'intelligence artificielle et les données massives sont des technologies qui consistent à analyser, par le biais d'algorithmes sophistiqués, d'immenses bases de données contenant les caractéristiques et les transactions de milliards d'agents économiques dans le but de prendre de façon automatisée des décisions financières comme pourrait le faire l'être humain. Il peut s'agir d'automatiser des décisions d'octroi de crédit, des conseils en investissement, la détection de fraude financière, ou encore des choix de placement d'ordres sur les marchés financiers.

L'informatique distribuée met en réseau des ordinateurs individuels. Plus spécifiquement, les registres distribués (*distributed ledgers*) sont des registres de transactions et de droits de propriété mis à jour en temps réel et en toute sécurité, grâce à la technologie de la chaîne de blocs (*blockchain*), pour un vaste réseau d'utilisateurs qui font eux-mêmes les mises à jour sans intervention d'une entité centrale. Ces registres ont de multiples applications en finance monétaire et dans les services post-négociation, parmi lesquels l'amélioration du règlement-livraison sur les marchés, la possibilité de transactions B2B (*business-to-business*) désintermédiées, et l'émission de cryptodevises (*cryptocurrencies*) pouvant se substituer aux espèces et aux monnaies.

Les progrès de la cryptographie combinés aux technologies de télédétection et à la biométrie permettent la mise en place de contrats intelligents (*smart contracts*) déclencheurs de transactions dès lors que certaines conditions sont réalisées. La cryptographie permet aussi de protéger des données personnelles dans les transactions financières.

Enfin, grâce à l'accès par téléphonie mobile et internet, des milliards d'individus peuvent intervenir sur des plates-formes de financement permettant à des particuliers de prêter directement à d'autres particuliers (*peer-to-peer lending*), ou à des entreprises par le biais du financement participatif (*crowdfunding*). Les applications s'étendent également à la microfinance en permettant aux populations de pays à faibles revenus d'accéder à des services financiers pour la première fois.

Par ces diverses technologies, la finance numérique a généré une nouvelle offre de services aux particuliers,

aux entreprises et aux investisseurs, susceptible de modifier leurs comportements et donc les équilibres économiques. Elle a bouleversé les jeux concurrentiels dans le secteur bancaire et sur les marchés financiers, soit en permettant l'arrivée de nouveaux entrants, soit, plus rarement, en augmentant les barrières à l'entrée. Ces nouveaux comportements et ces nouveaux équilibres appellent à repenser la réglementation financière pour maintenir un jeu concurrentiel équitable et pour protéger les clients, comme l'a souligné un article de 2016 de S. Darolles, membre de DRM, dans le *Financial Analyst Journal*.

L'étude des conséquences économiques de la finance numérique, l'évaluation des besoins de réglementations nouvelles, et l'évaluation de l'efficacité de ces nouvelles réglementations ont ouvert un immense champ de recherche pour la décennie en cours, et probablement la suivante, dans lequel l'équipe de recherche DRM Finance de l'Université Paris-Dauphine s'est déjà fortement positionnée, comme l'illustre le prochain lancement d'une chaire sur les *fintech* par H. Alexandre. Les travaux récents ou à venir de l'équipe dans ce champ couvrent cinq domaines de la finance : l'accès au financement et la levée de fonds par les particuliers et par les entreprises, le *trading*, les services post-négociation, les services d'analyse des données et d'information et de conseil auprès des épargnants, ainsi que la finance monétaire et les moyens de paiements.

LA LEVÉE DE FONDS ET L'ACCÈS AU FINANCEMENT

Dans ce domaine, deux thèmes de recherche ont émergé : le financement participatif et le financement par cryptomonnaie. Le financement participatif ou *crowdfunding* consiste à croiser la demande de crédit d'entreprises ou de particuliers avec l'offre d'épargne de multiples prêteurs sur des plates-formes électroniques. Cela peut prendre des formes variées, dont le financement par dons avec contreparties par lequel la firme récompense les donateurs de fonds par ses propres produits. Dans un récent papier de recherche, Chemla et Tinn montrent que ce type de financement permet à la firme émettrice d'extraire de l'information sur la demande et le succès potentiel de ses produits auprès d'un échantillon de consommateurs. Cette information lui confère une option réelle particulièrement intéressante si les produits de la firme sont très innovants ou peu connus.

Les émissions en cryptomonnaie ou *ICO* (*Initial Coin Offerings*) permettent à des entreprises de financer des projets d'investissement via l'émission de jetons (*tokens*) conférant à leurs souscripteurs un droit d'utilisation des services qui seront développés grâce aux fonds collectés. Dans le cadre de la chaire *Fintech de l'Université Paris-Dauphine*, H. Alexandre, S. Darolles et F. Riva étudieront dans quelle mesure la liquidité du marché secondaire de ces jetons impacte la valorisation des projets financés.

...

LE TRADING

L'avancée technologique et l'abolition des monopoles des bourses traditionnelles ont favorisé le lancement de nouvelles plates-formes d'échange ultra-rapides concurrençant les bourses traditionnelles. Si cette concurrence a considérablement fragmenté les marchés d'actions, avec plus de 35 % de part de marché capturés aujourd'hui par les plates-formes alternatives, elle a contribué à améliorer la liquidité, notamment sur les grandes valeurs, comme l'ont montré S. Buti et ses co-auteurs en 2015, et C. Gresse, en 2017, membres de DRM.

Un facteur ayant favorisé la fragmentation des marchés et le succès des plates-formes alternatives est le développement d'algorithmes de *trading* à grande vitesse capables de placer des ordres sur plusieurs plates-formes simultanément. Jusqu'ici, la recherche académique a généralement considéré que la négociation à haute fréquence ou *HFT* (*high-frequency trading*) avait un impact positif sur la liquidité de marché. Cependant, une piste de recherche inexplorée est le risque de liquidité caractérisant des marchés très automatisés et fragmentés. Dans un projet financé par l'Institut Europlace de Finance (IEF), C. Brownlees, S. Darolles, G. Le Fol et B. Sagna cherchent à analyser ce risque de liquidité en construisant un modèle prédictif de la liquidité future. Dans un autre projet financé par l'IEF, C. Gresse, P. Mazza et M. Petitjean s'interrogent sur la capacité des *traders* algorithmiques à fournir de la liquidité dans les périodes d'assèchement de la liquidité. Enfin, dans une recherche en cours financée par l'Agence Nationale de la Recherche, C. Gresse et ses co-auteurs mettent en évidence des effets de liquidité fantôme non accessibles aux investisseurs traditionnels lorsque des algorithmes annulent en quelques millisecondes des ordres dupliqués entre bourses.

LES SERVICES POST-NÉGOCIATION

Concernant les services post-négociation, l'innovation numérique majeure est la chaîne de blocs qui rend possible le règlement-livraison immédiat à faible coût. Cette apparente amélioration modifie le risque de contrepartie et peut indirectement affecter les stratégies de *trading*. Dans un modèle de *trading* avec prêt de titres, M. Khapko et M. Zoican montrent qu'un règlement-livraison plus rapide réduit effectivement le risque de contrepartie mais accroît les besoins de prêts de titres.

LES SERVICES D'INFORMATION ET D'ANALYSE DES DONNÉES

Avec la numérisation, les bases de données financières à analyser par les experts sont devenues massives. En outre, les vastes bases de données issues des réseaux sociaux, qui modifient les canaux de diffusion de l'information, constituent un nouvel objet de recherche (cf. l'article de H. de La Bruslerie sur le sujet, 2017). Des outils spécifiques sont donc nécessaires pour exploiter

ces bases. Dans le cadre de la chaire QMI, D. Ardia, S. Darolles et G. Le Fol projettent d'utiliser des techniques d'intelligence artificielle pour capter le sentiment des investisseurs et leur aversion au risque à partir de données massives de marché. D. Lautier mobilise la théorie des graphes et propose de nouveaux types de graphes pour analyser les prix sur les marchés de matières premières et de dérivés.

LA BANQUE ET LES MOYENS DE PAIEMENT NUMÉRIQUES

Concernant les moyens de paiement, la principale conséquence du numérique est la progressive disparition de la monnaie physique du fait, par exemple, de la généralisation du paiement électronique et par *smartphone*. D'après une étude récente de H. Alexandre, cela est susceptible de changer le rapport de l'individu à l'argent et à l'*échange économique*. À la confiance en l'argent matière se substitue la confiance envers l'institution et l'*échange économique devient un facteur d'intégration* dans une communauté.

Ces différents travaux font ressortir de nouveaux risques engendrés par la finance numérique et mettent en lumière la nécessaire évaluation par la recherche académique de ces risques au regard des bénéfices attendus afin de fournir des réponses pertinentes aux autorités monétaires, bancaires et de marché. L'enjeu auquel celles-ci sont confrontées, aujourd'hui et dans les années qui viennent, est de produire une réglementation équilibrée qui jugule les risques sans pour autant altérer les gains d'efficacité pour les utilisateurs finaux.



L'économie collaborative, une opportunité pour répondre à des enjeux environnementaux et sociaux ?

The Sharing Economy: A Solution to Environmental and Social Issues?

Since a decade, collaborative economy emerged as a major disruptor in the way people produce, consume or maintain goods and services in Western Economies. Optimistic views consider the phenomenon as a contributor to sustainable development' growth, considering its positive social impact as well as the environmental impact of the optimization of goods' use. The PICO research project joining Dauphine marketing researchers with colleagues from other institutions investigates this topic through the eyes of entrepreneurs as well as consumers. It reveals the heterogeneity of the collaborative sphere in terms of motivations, the hybridization of economic and non-merchant logics embedded within social networks.

↓ Blablacar, Airbnb, La Ruche qui dit oui, Leboncoin, Recupe.net, l'économie collaborative recouvre un ensemble d'initiatives portées par des entreprises ou des associations qui bouleversent les façons de produire, d'échanger, de consommer, de se déplacer. Son périmètre et son émergence historique sont difficiles à déterminer, mais ces pratiques ont un point commun : elles s'appuient sur des relations pairs-à-pairs où ce sont les particuliers qui sont tantôt offreurs, tantôt clients ou consommateurs de biens et de services au sein d'une communauté élargie. En tant que telle, c'est une pratique fort ancienne qui recouvre notamment les activités de troc, de vente d'occasion, etc... La cristallisation sous forme de courant économique fut le fruit de l'avènement d'Internet et de la constitution de plates-formes (ex. Leboncoin et Blablacar en 2006) offrant une grande fluidification des relations pair-à-pair et une croissance exponentielle et rapide de ces communautés. Le terme de *consommation collaborative* a été consacré à compter de 2010 par le livre de *Botsman et Rogers What's mine is yours : the rise of collaborative consumption*.

Mais pourquoi le phénomène fait-il autant l'actualité ? Tout d'abord parce qu'il prend de l'ampleur du fait de sa croissance rapide et qu'il représente une part non négligeable de l'économie : un rapport du cabinet de conseil PWC évaluait le secteur à 28,1 milliards d'euros de chiffre d'affaires en Europe généré par 275 plates-formes, en croissance de 97% entre 2014 et 2015. Une véritable explosion ! Au-delà des chiffres, elle transforme (ou *disrupte* selon le néologisme consacré) les façons de consommer et ce faisant les acteurs traditionnels de l'économie, à commencer par deux secteurs : l'hébergement et les transports.

Plus globalement, le phénomène est animé de controverses : il suscite tout autant de peurs que d'espoirs... Le spectre de l'*uberisation* d'un côté, avec ses emplois précaires, un travail ouvrier fait de précarité et d'exploitation, la mort de grandes entreprises et son corollaire, l'explosion du chômage... En contrepartie, les tenants de la contre-culture américaine, ceux du mouvement *opensource* fondé sur les théories de l'économie des communs, y lisent une merveilleuse opportunité pour une émancipation des individus, une société où les liens sont renforcés et nourrissent le pouvoir d'agir des citoyens ou consommateurs.

Parmi ces promesses, celles du développement durable, c'est-à-dire des promesses environnementales et sociales sont au cœur du phénomène. Une meilleure utilisation des biens (voitures inutilisées, appartements vides, objets en état d'usage mais stockés dans des greniers,...) permettrait de moins produire et aurait ainsi des vertus écologiques. Les liens entre pairs offriraient quant à elles des vertus sociales, en libérant l'Homme de la dépendance aux grandes entreprises. Si la presse et les sondages d'opinion font état de ces questionnements, qu'en est-il vraiment ? Comment comprendre un phénomène aussi complexe et hétérogène ? C'est là que les chercheurs de Dauphine et d'ailleurs peuvent trouver leur place.

C'est ainsi que le projet Pionniers du collaboratif (PICO) est né, financé par le programme MOVIDA du Ministère du Développement Durable, réunissant en réseau des chercheurs en Marketing de Dauphine (rattachés à DRM, Dauphine Recherche en Management) : Florence Benoît-Moreau, Valérie Guillard, Béatrice Parguel, ainsi que des chercheurs d'autres disciplines (logistique, stratégie, sociologie, économie de l'environnement...) et de nombreuses institutions (ESCP, Université de Reims, Kedge,...) sous la coordination de Damien Demailly, de l'IDDRI (Institut du Développement Durable et des Relations Internationales). La particularité de ce réseau fut d'associer à ce parterre de chercheurs des membres de *think tanks* ou associations liés à l'économie collaborative : le collectif OuiShare ainsi que ZeroWaste.

Comment s'attaquer à un tel sujet aux contours flous ? Tout d'abord réduire le périmètre en ne considérant qu'un secteur d'activités, moins investigué que les transports ou l'hébergement : celui des *objets*, pratique de ventes d'occasion, de troc, dons, prêts, réparations au sein des *repair cafés*, en listant une série d'initiatives cibles : recupe.net, leboncoin, vestiaire collective, kikakwa. Sur le plan méthodologique, une pluralité d'approches a été privilégiée : une trentaine d'entretiens avec des porteurs de projets, des entretiens semi-directifs avec une soixante-dix usagers de plates-formes collaboratives, des enquêtes quantitatives sur ces usagers.

QU'AVONS-NOUS DÉCOUVERT ?

Le développement durable n'est pas absent des logiques d'action des porteurs de projets collaboratifs. En effet, l'analyse des projets d'économie collaborative dans le domaine des biens matériels (FabLab, Volumes, Vestiaire Collective, Place de la Loc, Mutum, Co-recyclage, etc.) fait émerger plusieurs business modèles qui se caractérisent par différentes manières de répartir la valeur créée. Parmi ces logiques, les *collectivistes* ou les *altruistes* (Repair café, Recupe.net, Co-recyclage, Sharevoisin,...) visent à mettre en commun des ressources ou à servir d'intermédiaires entre utilisateurs à titre gracieux, en vue de servir une cause sociale qui constitue la raison d'être de l'initiative. Lutter contre l'obsolescence, réduire les déchets, construire du lien social sont des objectifs mis en avant par ces porteurs de projets collaboratifs, qui doivent néanmoins faire face à la nécessité de générer des revenus pour pérenniser le modèle. À l'opposé de ces schémas, d'autres initiatives obéissent avant tout à une logique lucrative où la valeur créée est appropriée par l'entreprise, comme dans le cas de Vestiaire collective, Place de la Loc, DressWing, où des commissions sont prélevées au niveau de la plateforme de mise en relation. Les plates-formes collaboratives constituent un monde hétérogène dans lequel cohabitent idéalistes et néo-capitalistes.

...

QUID DES INTENTIONS DES USAGERS ?

Les entretiens qualitatifs conduits avec des usagers de plates-formes de consommation collaborative de biens montrent que prolonger la durée de vie des objets, lutter contre l'obsolescence, faire plaisir aux autres sont des motivations fortes sur certaines plates-formes, notamment celles de don ou de prêt entre voisins, et quasiment absentes sur d'autres, comme celles consacrées à l'achat-vente d'occasion où la logique marchande prime. La création de liens sociaux n'est jamais une motivation centrale dans le recours à ces plates-formes, même si elle peut être un bénéfice secondaire... qui donne l'occasion d'interactions sympathiques et agréables mais ne s'inscrivent pas dans une logique de long terme dans la plupart des cas. L'exemple de Kikakwa est sans doute un peu atypique car il s'agit d'un réseau *local* (dans un quartier de Toulouse) au sein duquel les membres de la communauté se connaissaient par ailleurs dans le monde *réel*. La plateforme n'est alors qu'un catalyseur d'échanges déjà existants et, en ce sens, elle contribue à renforcer les liens en augmentant la fréquence et les occasions d'interaction.

En conclusion, si certaines motivations se retrouvent chez tous les usagers du collaboratif (facilité d'utilisation, envie de se débrouiller par soi-même,...), ce n'est pas le cas des motivations environnementales et sociales : de ce point de vue, il n'y a pas UN consommateur collaboratif mais des consommateurs collaboratifs... voire un consommateur dont les logiques varient selon les contextes de consommation. On retiendra que la particularité de l'économie collaborative est de faire renaître une économie encadrée dans le social (comme la décrivait Karl Polanyi en 1944 dans la Grande Transformation), où logiques marchandes (primat de la valeur du bien, re-marchandisation de services traditionnellement gratuits, professionnalisation de la vente,...) et logiques de don (générosité, réciprocité, primat du lien sur le bien,...) s'hybrident dans de degrés variant d'une plateforme à l'autre et d'un consommateur à l'autre.

AU-DELÀ DES INTENTIONS DÉCLARÉES, QUE RETENIR DES COMPORTEMENTS EFFECTIFS DES USAGERS ?

L'enquête quantitative menée auprès des usagers du boncoin sur leur dernier achat sur la plateforme est fort éclairante. Les travaux sur l'achat d'occasion montrent qu'au-delà des discours sur ses effets vertueux quant à l'optimisation de la durée de vie des produits, l'adage « J'ai évité la production d'un bien neuf ! » est fort remis en cause par les effets rebonds suscités : renouvellement accéléré des biens, ou achat d'autres objets avec le surplus perçu d'une vente ou économisé par rapport à un achat neuf. Ce constat permet de développer l'hypothèse d'une éventuelle *surconsommation* incitée par les plates-formes d'achat-vente d'occasion. L'observation quantifiée des comportements réels sur leboncoin au travers d'un échantillon de transactions récentes montrent en effet



que ces plates-formes incitent à consommer plus que de besoin, et que ce phénomène est d'autant plus marqué chez les consommateurs sensibles à l'environnement, chez qui la plateforme permet de déculpabiliser les achats surnuméraires.

En synthèse, évitant d'un côté l'idéalisation et de l'autre la diabolisation de l'économie collaborative, nous, chercheurs de Dauphine en réseau avec nos collègues d'autres institutions et autres disciplines, tentons de dénouer les fils et d'apporter des éclairages théoriques et empiriques pour mieux comprendre les phénomènes et aider managers, régulateurs ou simples citoyens à mieux comprendre les nouveaux modes de vivre ensemble qui émergent. La tâche est loin d'être finie...





Innovation managériale, fondamentaux du management et invariance

Management Innovation, Fundamentals of Management and Invariance

The research team M-Lab (DRM) has designed a research program on the theme of management innovation. This program aims at both an understanding of processes of design and adoption of management innovations and the highlighting of invariants that go beyond management innovation and that remain, regardless of the dynamics of management objects. The researches included in this program, led by M-Lab, lead to the design of a methodological architecture allowing the qualification of innovative management objects and the rediscovery of genealogical fundamentals and invariants of management.

↓ L'histoire des idées et des pratiques de management est faite de moments de rupture et d'innovation et de révolutions plus lentes et moins visibles. L'innovation managériale, qui existait bien avant que ne fut inventée l'expression, désigne une structure, une pratique managériale, un procédé ou une technique, présentant un caractère de nouveauté par rapport à un état de l'art ou à un état des pratiques¹. M-Lab, est l'équipe de recherche de Dauphine Recherches en Management qui s'est donnée comme programme l'étude des objets de management nouveaux. Plusieurs études de ses chercheurs montrent que le caractère de nouveauté est souvent double. Il provient d'une singularité par rapport à des contextes de management car les objets de management sont façonnés par les organisations, leurs enjeux stratégiques, sociaux, culturels et économiques à un instant donné. La nouveauté est également le rappel à un état des connaissances et des étiquetages théoriques que l'académie produit régulièrement, signe qu'un objet de management est repéré, connu, analysé et, d'une certaine façon, légitimé.

Les processus d'innovation managériale sont foisonnants et permanents. L'histoire du management montre cependant qu'il est également transcendé par des lignes directrices stables, sortes d'invariants et de fondamentaux qui existent en tout temps, tout lieu et tout contexte. Elle nous convainc de la pertinence du programme de recherche de l'équipe de recherche M-Lab qui se donne une ambition double : la compréhension de l'innovation managériale, sa fabrication, son adoption, d'une part, et la mise en évidence des invariants qui dépassent l'innovation managériale et qui demeurent, quelles que soient les dynamiques des objets de management, d'autre part.

INNOVATION MANAGÉRIALE, FAÇONNAGE ORGANISATIONNEL ET INVARIANCE

Les objets de management sont des artefacts toujours façonnés par un contexte organisationnel. Les processus d'adoption des innovations de gestion consistent en une série de transformations et de modifications d'objets de gestion pour les adapter à un contexte organisationnel donné. En d'autres termes, pour comprendre l'innovation managériale, il faut comprendre que dans le processus de conception des objets de management, il y a un processus de réappropriation et d'expression de forces organisationnelles qui impactent la forme finalement prise par l'objet de management. Ainsi, par exemple, dans de nombreuses organisations, les démarches de management de la qualité totale (ou TQM), ont finalement été significativement transformées si bien que finalement elles n'avaient plus grand-chose à voir avec les pratiques et méthodes de la TQM tel que proposée dans sa forme originale.

Il est cependant possible de défendre l'idée d'une nature plus invariante des objets de management, notamment parce que ces objets sont intrinsèquement constitués de philosophies, de postures ou de principes génériques récurrents. Ainsi, les méthodes TQM, ABC (*Activity Based Costing*) et BPR (*Business*

Process Reengineering) partagent une approche processuelle ou globale : ces objets ne sont supposés fonctionner que si l'ensemble de l'organisation est concerné. L'approche TQM est cohérente avec cette logique : toutes les composantes de l'organisation doivent adopter le TQM pour que le TQM fonctionne. Le BPR consiste en une refonte intégrale de l'organisation. La méthode ABC indique que les responsables doivent identifier les inducteurs de coûts en amont dans l'ensemble de l'organisation pour comprendre les activités d'établissement des coûts. Un autre élément : les méthodes BPR, JIT (*just-in-time*) et TQM reposent sur l'idée d'un changement de philosophie de gestion et de changement et rupture continus. Enfin, TQM, ABC, BPR et JIT ont en commun de considérer la nécessité d'une gestion descendante et menée depuis le haut.

Les objets managériaux ne sont pas seulement façonnés par l'organisation : ils sont nécessairement, en tant qu'objets techniques, le fruit de processus de conception. Ainsi que nous en convainquent tout une série des travaux de l'équipe M-Lab, les innovations managériales ont des inventeurs, un travail d'ingénierie se déroule, des raisonnements de conception sont à l'œuvre et combinent, dans une forme de rationalité non pas limitée mais expansive², deux registres en interaction : celui de la résolution de problèmes et celui de l'incarnation, dans les dispositifs inventés, d'idéaux qui composent une philosophie de management.

PHILOSOPHIE DE MANAGEMENT, INVARIANCE OU FONDAMENTAUX DU MANAGEMENT

Il existe une forme de logique qui transcende les artefacts que le management produit. Les réflexions autour du champ de la philosophie de management qui ont très tôt préoccupé les auteurs et praticiens du management, nous en convainquent. Les pionniers d'une discipline ont plus que d'autres la nécessité de réfléchir aux fondations de leur discipline et c'est probablement la raison pour laquelle les premiers auteurs de management sont ceux qui ont le plus écrit sur les « fondamentaux du management », sans nécessairement avoir explicitement utilisé le terme d'invariant ou même de philosophie de management. Citons, par exemple, H. Fayol qui indiquait dès 1916 que les compétences managériales devaient inclure, quels que soient les contextes, les mêmes capacités « morales » (énergie, fermeté, souhait d'accepter les responsabilités, l'initiative, la loyauté, le tact, la discipline)³.

L'invariance dans la philosophie de management prend plusieurs formes. Elle peut désigner les éléments qui décrivent ce qu'est l'activité de management, en tout temps, tout lieu, toute époque. Un travail de recherche ancien identifiait ainsi dix constituants systématiques⁴ parmi lesquels : l'efficacité, la prospérité et son partage dans l'organisation, la prospérité et la prise en compte de l'impact, le fonctionnalisme, le travail collectif ou encore l'intégration de toutes les parties

...

¹ Birkinshaw J., Hamel G. & Mol M. J., "Management Innovation", *The Academy of Management Review*, 2008, 33(4) : 825-845

² Hatchuel A., "Towards design theory and expandable rationality : the unfinished program of Herbert Simon",

Journal of Management and Governance, 2002, 5 : 260-273

³ Fayol H., *Administration industrielle et générale*, Dunod, 1916

⁴ Wren D. A., *The Evolution of Management Thought*, Ronald Press, New York, 1972

...

prenantes. L'invariance peut aussi désigner le système d'idées normatif sous-jacent aux pratiques de management. Celui-ci a plusieurs fonctions : il définit ce qui est vrai ; il définit les questions importantes à poser aux autres ; il prescrit un ensemble de valeurs utiles dans la prise de décision pour savoir ce qui est bon ou mauvais.

CHARGE ÉTHIQUE ET CORPUS DE PRINCIPES

Il est possible de soutenir l'idée que tout manager a une conception du management très subjective, l'analyse des problèmes de management se faisant selon le sens que le manager leur donne et donc selon les valeurs et les croyances qui ont une signification pour lui. La nature de la charge éthique d'une activité de management est également liée aux conflits de paradigmes à certaines époques. Les fondamentaux du management peuvent alors être présentés comme un état de ces conflits à un instant donné. D'une certaine façon, ils sont ainsi le fruit d'une bataille entre différents modèles ou visions du fonctionnement des organisations. Le management a été dominé dans les années 1960 par les questions de hiérarchie, d'efficacité, de coordination fonctionnelle, de prédiction du comportement humain. En fait, c'est l'approche fonctionnaliste qui a dominé : l'idée qu'il était possible d'accroître l'efficacité et la productivité en application des méthodes issues du management scientifique avec comme hypothèse centrale l'idée que les hommes sont rationnels par nature et que les facteurs influençant la motivation sont prédictibles.

Il est possible aussi de défendre la thèse selon laquelle il existe un *corpus* de principes vrais dans toutes situations de management. Si un tel *corpus* existe et si les managers le connaissent et savent comment l'appliquer alors, ils remplissent les fonctions managériales de façon efficace et efficiente. Ce corpus de principes génériques est également une base pour la résolution de problèmes de management. Quand de grands changements surviennent, le mode de pensée managériale doit pouvoir s'appuyer sur des fondamentaux qui ne changent pas. Les décisions de planification et de contrôle doivent s'appuyer sur des vérités que l'on ne peut pas faire varier. Ces vérités sont alors des pierres fondatrices d'une philosophie d'action managériale. Par suite, il y a des concepts fondamentaux sous-tendant toute position en management : la satisfaction du client est le premier objectif du management ; la croyance en la propriété privée ; la croyance que les intérêts personnels des propriétaires, des cadres et des opérationnels sont mis au service de l'organisation ; la croyance en l'importance de la méthode scientifique ; la croyance en les *incentives* et récompenses, les sanctions comme les meilleurs leviers pour la performance économique ; la croyance en la nécessité d'explorer en continu les principes de *leadership* ; la croyance en des principes éthiques comme base de bonnes relations d'affaires ; la croyance en les droits des travailleurs de négocier collectivement ; la croyance en l'importance de préserver l'initiative et la liberté individuelles.



Nous le voyons, les singularités et fluctuations que les innovations managériales symbolisent, sont tout à la fois des manifestations d'une contingence extrême des objets de management par rapport à leurs contextes ou leurs époques et des traductions concrètes de lignes directrices qui structurent durablement l'activité de management. Cette tension justifie un recours essentiel, dans le programme de recherche de M-Lab, portant sur l'innovation managériale, à l'histoire des idées et des pratiques du management, mais aussi à des cadres conceptuels permettant de comprendre les raisonnements de conception à l'œuvre.



La recherche en Management : les promesses de l'art

Management Research: Art's Promises

Art and science have been increasingly associated since the beginning of the 21st century. Using various forms of artistic expression (visual or literary, performing arts or media), research projects associating art and science have concerned as much "hard" formal sciences as "soft" social sciences and humanities. Within Paris-Dauphine PSL University, the research team "Most" from DRM (Dauphine Research in Management) Laboratory, has developed since several years a research program called "Art & Management" which builds on this dialogue between art and research, and suggests alternatives in terms of production and dissemination of knowledge on organizations and their management.

↓ Les représentations communes de l'Art et de la Science sont souvent conçues sur le registre de l'opposition. On attribue volontiers à l'art les qualités de l'intuition, de l'imagination et de la singularité, la science quant à elle se fonde sur les vertus de la rigueur, de l'objectivité, de la reproductibilité. L'art rechercherait la beauté et s'adresserait à l'émotion, la science rechercherait la vérité et parlerait à la raison. Cette séparation de l'art et de la science est cependant un phénomène relativement récent. Elle se cristallise au tournant du XIX^e siècle, période à laquelle on assiste à l'institutionnalisation des disciplines académiques et à la spécialisation scientifique. Le mouvement d'autonomisation de la science moderne va se construire sur des dichotomies entre théorie et pratique, connaissance et action, faits et valeurs, et établir ainsi une hiérarchisation de la nature et la valeur des connaissances.

La critique, nourrie à l'encontre du projet moderne, et la complexité des défis sociétaux et environnementaux, auxquels la recherche scientifique doit aujourd'hui répondre, invitent cependant à rompre avec cette conception hémiplegique de la science et l'isolement de ses pratiques.

(Re)nouer un dialogue entre art et science est l'une des voies empruntées pour répondre à cet enjeu. L'axe de recherche *Art et Management* de l'équipe Most du laboratoire Dauphine Recherche en Management (DRM) s'inscrit dans cette dynamique pour proposer des formes alternatives de production et de médiation des connaissances sur les organisations et leur management. Les motivations des chercheurs, artistes et institutions qui s'engagent dans cette voie sont diverses mais l'on peut identifier trois raisons principales :

**« LA CRÉATIVITÉ EST CONTAGIEUSE, FAITES-LA TOURNER »
(ALBERT EINSTEIN, PHYSICIEN)**

Lorsque l'on cherche à établir une parenté entre démarche scientifique et démarche artistique, on s'accorde facilement pour reconnaître que la créativité et l'innovation se trouvent au cœur du travail de l'artiste comme de celui du scientifique. Pour autant les exigences de rigueur et de démonstration de la connaissance scientifique conduisent trop souvent à atrophier les dimensions sensibles et expérientielles ainsi que les ressorts subjectifs et imaginaires qui fondent la démarche de recherche.

Dans le milieu des années 2000, partant du constat que les dynamiques d'innovations portées par les nouvelles technologies brouillent résolument les frontières de ce qui est conventionnellement perçu soit comme art, soit comme science, David Edwards forge le terme d'*Artscience* pour désigner le processus de pensée créatrice qui synthétise les démarches esthétiques et analytiques.

La rencontre des arts et des sciences comme catalyseur de l'innovation s'inscrit aujourd'hui dans le paysage institutionnel avec la constitution de réseaux de recherche et de formation dont l'identité s'inscrit dans cette dynamique. On peut en particulier évoquer les

réalisations menées dans le cadre de l'Idex PSL (Paris Science et Lettres) avec la création en 2012 du programme doctoral SACRe qui vise à rapprocher les sciences et les arts et permettre à des créateurs et à des scientifiques de travailler et d'inventer ensemble en mettant en jeu une étroite articulation de la pensée et du sensible. Plus récemment, la création du programme *Enamona by PSL*, fruit de l'expertise et des savoir-faire de trois établissements membres de PSL (l'EnsAD, MINES ParisTech et Paris-Dauphine), ambitionne de former les talents créatifs de la mode et du textile de demain par le dialogue transdisciplinaire entre créatifs, ingénieurs et managers. La coordination de ce programme pour Paris-Dauphine est assurée par Colette Depeyre, Maître de conférences de l'équipe Most.

**« L'ART NE DIT PAS SEULEMENT LES CHOSES DIFFÉREMMENT,
IL DIT (SURTOUT) "AUTRE CHOSE" » (ÉRIC ROHMER, CINÉASTE)**

Appréhender la complexité et saisir la multi-dimensionnalité des dynamiques sociétales contemporaines constituent un défi auquel se heurte aujourd'hui la connaissance académique construite dans une logique de spécialisation de plus en plus poussée. L'inter- (trans-) disciplinarité des projets à la frontière de l'art et de la science porte la promesse d'un renouvellement des cadres de pensées, des manières de concevoir et de se représenter ces phénomènes complexes. Le projet ANR Abrir (2014-2017), coordonné au sein de l'équipe Most, a rassemblé pendant trois ans et demi une équipe d'artistes et de chercheurs d'horizons disciplinaires différents autour d'une thématique commune : l'art pour repenser les mutations critiques des organisations. L'entreprise, le travail, le management sont devenus des objets de création et des lieux d'expérimentations pour de nombreux artistes. Mobilisant les œuvres et les interventions artistiques comme un matériau de recherche, le projet Abrir s'est attaché à mettre en évidence la dimension sensible, incarnée et expérientielle des mutations managériales et identifier les signaux faibles, invisibles ou invisibilisés, que la recherche classique en management a du mal à saisir.

Par la mise en distance du monde qu'il suppose, parce qu'il réveille la perception et instruit la dispute en brisant les réifications sociales, l'art dispose d'une puissance critique qui peut nourrir la recherche académique et proposer une connaissance alternative. Par exemple, dans le travail de S. Debenedetti, I. Huault et V. Perret, paru en 2016 dans la revue *Sociologies Pratiques*, la mobilisation du film *Les Temps Modernes* de Chaplin devient un outil d'analyse critique pour repenser le concept de résistance au travail.

Dénonçant le regard frontal de la science qui ne rend visible que certains phénomènes pour en masquer d'autres, le travail de l'artiste Johann Le Guillerm cherche à apporter de la perturbation pour remettre en question la connaissance et invite le chercheur à mettre en abîme sa propre pratique. Cette fonction réflexive de l'art se révèle un puissant moteur de renouvellement des méthodes et

...

pratiques de la recherche. Le courant des *Art-Based Research* fédère aujourd'hui les travaux portant sur les méthodes de recherche en sciences sociales au sein desquelles les postures et les démarches de chercheurs-artistes ou artistes-chercheurs peuvent être explorées et mises à l'épreuve. En 2019, dans le cadre d'un ouvrage collectif consacré aux méthodologies qualitatives publié chez *Economica*, S. Debenedetti, V. Perret et G. Schmidt proposent un aperçu de ces méthodes et analysent leur pertinence pour la recherche en management.

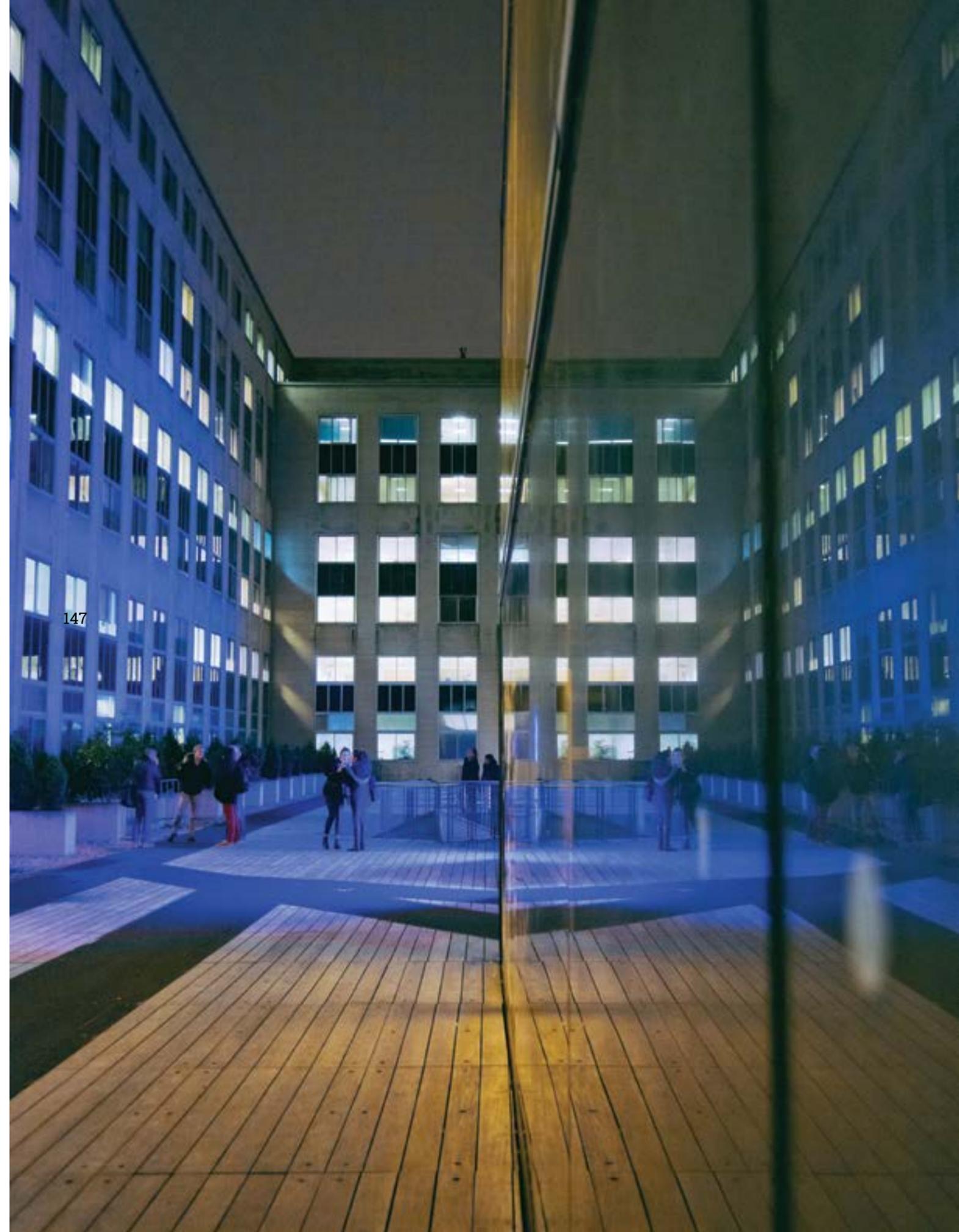
Pour que la collaboration entre art et recherche soit fructueuse, il faut cependant accepter la transgression de certaines barrières disciplinaires et institutionnelles. Il faut également concevoir des espaces-temps propices à l'accueil de modes de production et de médiation des connaissances alternatifs.

« LA FONCTION PREMIÈRE DE L'ART EST CELLE DE LA REPRÉSENTATION (...) SA CAPACITÉ À PRODUIRE DES FORMES SYMBOLIQUES » (JEAN-MARC HUITOREL, CRITIQUE D'ART)

Alors que la recherche scientifique instruit le réchauffement climatique au travers de publications dont l'abstraction suscite l'incompréhension pour une majorité de gens, l'artiste Olafur Eliasson, à l'occasion de la COP 21 à Paris en 2015, choisit d'incarner de façon concrète le phénomène en laissant fondre devant le Panthéon douze blocs de glace disposés tel le cadran d'une horloge. 80 tonnes de glace, c'est-à-dire l'équivalent du volume de glace qui fond dans le monde chaque centième de seconde.

Grâce aux formes symboliques qu'il produit, l'art permet d'établir un langage commun basé sur une expérience sensorielle qui lie ce que nous savons et ce que nous ressentons. Cela en fait un puissant vecteur de médiation scientifique dont de plus en plus se saisissent pour valoriser la recherche au-delà des cercles académiques. Ceci constitue un axe important du programme de recherche de l'équipe Most. Les réflexions d'Abrir sur la *mise en forme* des connaissances ont ainsi donné naissance au journal *Dysfunction* qui propose un format alternatif de dissémination de la recherche. La médiation par l'art permet également de penser de nouveaux dispositifs d'apprentissage des connaissances en management. Le projet *Art&Facts*, conçu par G. Nogatchewsky et P. Mairesse, est une innovation pédagogique, labellisée par PSL en 2016, qui intègre l'art dans la formation à la comptabilité au sein du Master *Contrôle Audit Reporting* de l'Université Paris-Dauphine.

Finalement, nous n'en sommes peut-être déjà plus aux stades des promesses. Art et Science écrivent aujourd'hui une histoire commune et donnent naissance à des innovations, tant en matière de recherche que de pédagogie. Pour les membres de l'équipe Most de DRM c'est un encouragement à poursuivre sur ce chemin qui s'écrit en cherchant.



L'entreprise au XXI^e siècle : Faire société

The Firm of the 21st Century: Re-building Society

The media bubbling around new managerial concepts, such as the liberated company and the holacracy, or incantations around happiness at work and the end of the wage-labour, testify to the profound questioning of our society on the place of the company and the need to rethink our management methods. DRM's M&O research team, with 40 years of work in organizational theories, analyses the transformations of work in our companies and makes propositions for refounding our modes of organization and collective activity.

↓ Le bouillonnement médiatique autour de nouveaux concepts managériaux, tels que l'entreprise libérée et l'holocratie, ou d'incantations autour du bonheur au travail et de la fin du salariat témoignent du profond questionnement de la société sur la place de l'entreprise et le besoin de repenser nos modes de management. L'équipe de recherche M&O de DRM, forte de 40 ans de travaux en théories des organisations, analyse les transformations du travail dans nos entreprises et propose des pistes de réflexions pour refonder nos modes d'organisation et d'activité collective.

Qui s'intéresse à l'évolution des entreprises se trouve confronté à une complexité croissante des structures organisationnelles. Si leur reconfiguration est une réalité permanente, elle a de multiples visages qui traduisent une transformation de ce qui fonde le lien social au sein de ces collectifs organisés. Un terme permet de les caractériser : éclatement. Cet éclatement du lien social prend trois formes et interroge d'autant nos modes de management¹.

ÉCLATEMENT DE L'UNITÉ DE GOUVERNANCE

Le développement des marchés boursiers et l'accélération exponentielle de la vitesse d'exécution de leurs opérations ont installé le règne des actionnaires, instables et multiples, voire nébuleux. Les entreprises cotées sont ainsi soumises au diktat d'un cours de l'action capricieux ou mimétique, fluctuant et potentiellement déconnecté de l'activité réelle. Dans l'ère de la *shareholder value*, c'est la rentabilité et l'ebitda qui deviennent les critères de performance, même pour les sociétés non cotées. C'est ainsi la représentation de la performance qui a changé radicalement : si le propriétaire se concentre sur le développement des actifs sur le long terme, l'actionnaire s'intéresse à la rentabilité des capitaux investis, sur le moyen voire sur le court terme. C'est le règne de la *société*, ensemble de titres de propriété possiblement répartis en autant d'actionnaires, aux dépens de celui de *l'entreprise*, projet collectif animé par la figure de l'entrepreneur. Les fonctions financières prennent dans ce contexte une place centrale pour piloter et s'assurer du contentement d'exigences toujours plus fortes en termes de rentabilité financières, avec un chiffre d'or autour de 15% de marge et des cycles de reporting toujours plus courts.

Nous assistons actuellement à un nouvel éclatement de la gouvernance, des actionnaires vers les parties prenantes. Ces réflexions vont au-delà du discours. Les débats en France sur la loi PACTE ou sur le droit de vote double d'actionnaires en fonction de leur orientation long terme en témoignent. Les innovations aux États-Unis en terme de statut juridique des sociétés et la création de la *flexible purpose company* en sont l'illustration.

L'entreprise fait face à des attentes sociétales difficiles à ignorer. Les systèmes de financement fondés sur le crowdfunding démultiplient le nombre d'actionnaires, tout en refondant une forme d'engagement dans le projet long terme de l'entreprise. Plus largement, de multiples parties prenantes porteurs d'intérêts différents

font entendre leurs voix, depuis les actionnaires minoritaires jusqu'aux lanceurs d'alertes. Le rôle des médias et des réseaux sociaux n'est pas étranger au souci porté à la réputation de l'entreprise et à la transparence de ses activités.

Ces changements peuvent transformer à terme notre représentation de la performance et renouveler notre compréhension de la place de l'entreprise dans la société. L'impact immédiat pour les entreprises et leur direction est la judiciarisation croissante de la vie des affaires, c'est la première étape, souvent douloureuse. À terme, l'entreprise peut être amenée à intégrer une vision renouvelée de sa performance, permettant d'évaluer sa capacité à répondre à des missions élargies, tenant compte de sa place contributrice dans des systèmes sociologiques et politiques.

ÉCLATEMENT DE L'UNITÉ DE LA RELATION D'EMPLOI

L'entreprise, sous sa forme moderne, depuis près de deux cents ans, repose sur *le lien de subordination* en échange de la sécurisation des revenus. Ce pacte social, acté par le contrat de travail, a connu de nombreuses brèches. La montée du chômage et la fin de l'emploi à vie au sein de la même entreprise, dont le CDI était l'emblème, ont largement entamé sa crédibilité. Le développement des individualités, le besoin d'autonomie face au contrôle hiérarchique et la capacité démultipliée à faire circuler ses connaissances, achèvent la déconstruction d'un des piliers de la relation d'emploi.

Par ailleurs, depuis Fayol, les organisations productives se sont structurées autour de *l'unité de commandement*, autre socle de la relation employeur-employé. La complexité des relations d'affaires, la nécessité d'être au plus près des spécificités locales, les besoins accrus de coordination face au déploiement des compétences dans les différentes activités, ou encore la nécessité d'innover toujours plus vite, ont généré des structures organisationnelles plus complexes. Organisation matricielle, combinaison de lien fonctionnel, hiérarchique, opérationnel, équipe projet, transversalité, réseau : le lien hiérarchique perd de sa substance. L'entreprise entre dans des formes dites collaboratives où ce sont les « communautés », les capacités d'influence, de mobilisation de compétences diverses, plus que l'autorité hiérarchique opérationnelle, qui sont bien souvent sources de pouvoir.

Ces transformations préfigurent un nouvel éclatement de la relation d'emploi avec le développement d'autres formes de relation à l'entreprise. Certains prédisent ainsi la fin du salariat au profit de liens plus souples, voire plus faibles. D'autres insistent sur les formes d'hybridation du salariat et de l'entrepreneuriat, à l'échelle individuelle (slashers, entrepreneuriat-alterné, auto-entrepreneurs salariés...) ou organisationnelle (Coopérative d'Activité et d'Emploi, regroupements d'Employeurs, coworking...). Les injonctions sur la « confiance partagée », l'organisation « libérée », sont autant de tentatives de

...

¹ Ces réflexions sont notamment issues des travaux dans le cadre des chaires partenariales animées par l'équipe M&O ainsi que de son séminaire de recherche dédié en 2016 et 2017 aux transformations

du travail. Une première analyse des trois formes d'éclatement détaillées ici a été publiée dans la revue professionnelle *Finance & Gestion* en juillet 2015.

...

renouveler, hybrider et déconstruire nos conceptions de la relation employeur-employé. Les interrogations qui agitent les cabinets de conseil sur l'engagement au travail et la responsabilisation sont symptomatiques des difficultés des entreprises et des organisations à réinventer leur tissu social. Cet éclatement de la relation d'emploi implique de repenser le périmètre de l'entreprise, de reconcevoir les systèmes d'information pour animer des réseaux internes et externes de contributeurs et d'informateurs toujours plus divers, de revoir l'espace et le territoire même de la cité afin de mieux intégrer ces nouveaux mouvements et décloisonnements.

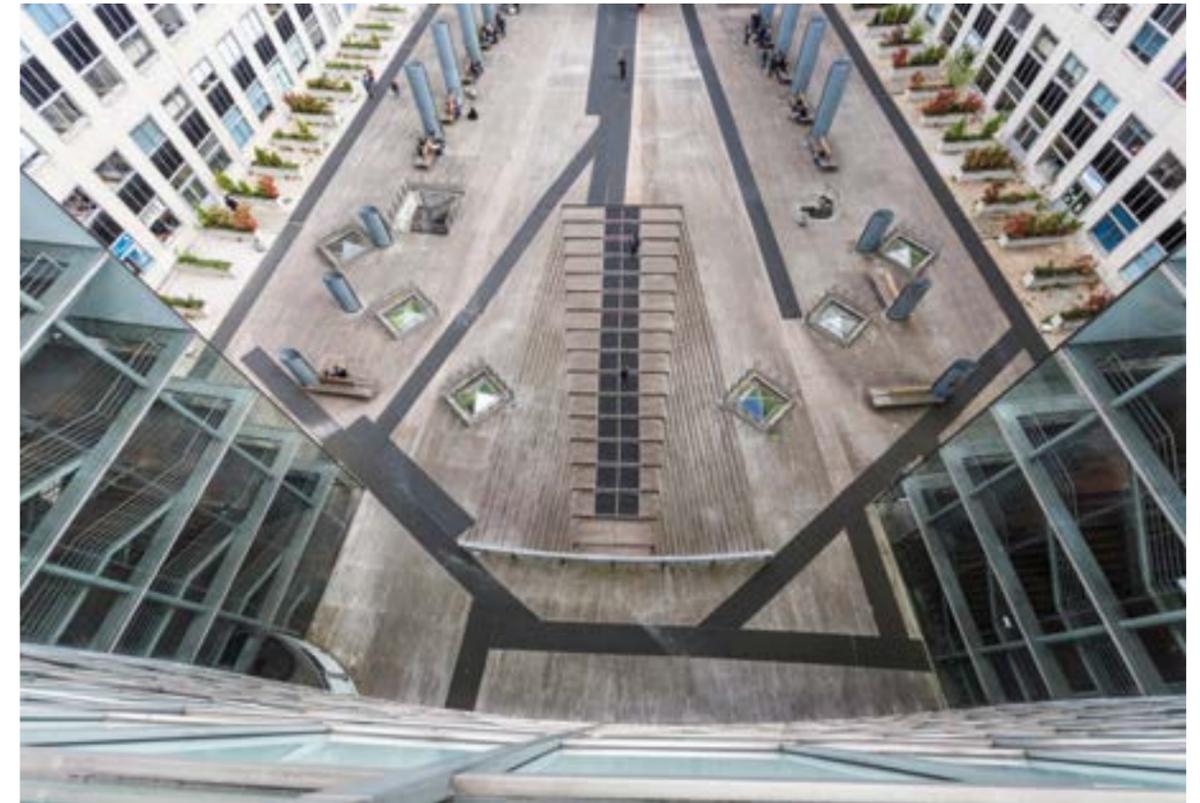
ÉCLATEMENT DE L'UNITÉ D'ESPACE-TEMPS

La question du temps et du lieu de travail est une source de débats entre les partenaires sociaux et fondent les travaux théoriques sur l'entreprise depuis Taylor. Le rapport contribution-rétribution se contractualise suivant cette notion de temps et de poste de travail, et, pour la plupart des salariés, les modes de rémunération se calculent en fonction d'une activité visible et mesurable. Un premier éclatement de cette unité de temps s'est produit avec la multiplication des projets, il a fallu articuler le temps opérationnel et routinier avec celui des missions et des projets *ad hoc* (innovation, ...). Un deuxième éclatement de cette unité de temps est survenu avec l'internationalisation et la globalisation des activités qui impliquent de composer avec des fuseaux horaires différenciés, des équipes virtuelles, et une forte mobilité.

La troisième phase que nous vivons est plus radicale encore et nous n'en voyons que les prémises. L'ère du numérique bouleverse profondément nos représentations des temporalités et des espaces. La transformation numérique va même jusqu'à questionner la pertinence de la notion de lieu de travail et d'une métrique d'une durée linéaire du temps de travail. En conséquence, on assiste à une porosité croissante des temps professionnels et privés, qui floute d'autant plus les frontières de l'entreprise. Télétravail, gamification, travail mobile, coworking, Do It Yourself (DIY) sont autant de tendances qui hybrident des pratiques et émotions professionnelles et privées auparavant très séparées. Si explosion des cadres spatiaux et temporels traditionnels a d'abord concerné les cadres dirigeants et les professions intellectuelles, elle s'étend à d'autres catégories socio-professionnelles pour toucher le plus grand nombre. L'intégration du travail à distance dans certaines conventions collectives témoigne de ce mouvement.

DE LA FIN DU TRAVAIL À LA FIN DU MANAGEMENT ?

Que devient le manager dans ce contexte de grand éclatement ? Tous les attributs du manager traditionnels ont sans doute volé en éclat avec les trois ruptures que nous avons évoquées précédemment. Qu'anime aujourd'hui le manager dans ces contextes d'équipes distribuées, d'organisations et de bureaux flexibles et ouverts, de moyens dissouts dans les abysses des marchés financiers ou du crowdfunding, d'infrastructures



informationnelles de plus en plus imbriquées dans celles du web, d'innovation ouverte qui floute la propriété ? Plutôt que la fin du travail, assiste-t-on à une fin du management ?

Bien sûr, le manager et la formation au management restent plus que jamais d'actualité. Le manager doit plus qu'auparavant animer des collectifs sans être dans la certitude et le pseudo-confort d'un lien hiérarchique. Plus que jamais porteur et animateur de « communautés », il doit rendre visible des pratiques et acteurs invisibles pour lui et ses clients. Il doit veiller à des solidarités et des encastres dans la société qui ne sont plus évidents. Il doit prendre conscience qu'il joue un rôle inédit dans l'histoire de nos sociétés, plus que jamais faites et défaits par les actions, les projets et les utopies des managers. Il doit être un stratège du quotidien qui doit bricoler avec les moyens et les espaces immédiatement disponibles. À lui ou elle de créer et re-crée en permanence les espaces-temps qui seront nécessaires à l'activité collective de l'entreprise. Au-delà des murs et des techniques de l'entreprise traditionnelle, le corps, le geste et l'humain seront alors au cœur du management.



L'avenir du travail entre automatisation et ubérisation : la preuve au-delà des fantasmes

The Future of Work between Automatisation and Uberisation: Evidence beyond Fantasy

In recent years, media discourses on the future of work have focused on two topics: automation and gig economy. These two situations both provoked reactions of enthusiasm and anguish, suggesting that a form of technological determinism would be imposed on our societies: for better or for worse, we would have to passively support the deployment of radically new forms of employment and work and their consequences on the quantity of employment and the relation to work. But things are not so simple. Several studies have shown that these analyzes presented a double weakness: made in the room and not supported by the observation of living organizations of work, they jumped too quickly the pace of the automation of the task to the automation of the work station. Moreover, all these analyzes act as if any innovation must necessarily unfold without provoking either reaction or resistance. The work of sociologists has shown the limits of such approaches, as well as the other side of the coin: the dehumanization of the human work involved in these new organizations.

↓ Ces dernières années, les discours médiatiques concernant l'avenir du travail se sont polarisés sur deux sujets : l'automatisation et l'ubérisation, ce dernier néologisme étant consacré par la version 2017 du *Robert* qui a défini le verbe « ubériser », comme le fait de « transformer (un secteur d'activité) avec un modèle économique innovant tirant parti du numérique ».

Ces deux situations ont d'ailleurs toutes deux suscité à la fois des réactions d'enthousiasme et d'angoisse, laissant supposer qu'une forme de déterminisme technologique s'imposerait à nos sociétés : pour le meilleur ou pour le pire, nous aurions à supporter passivement le déploiement de formes d'emploi et de travail radicalement nouvelles ainsi que leurs conséquences sur la quantité d'emploi et le rapport au travail. Mais les choses ne sont pas si simples.

En ce qui concerne l'automatisation, c'est au début des années 2010, à partir notamment des travaux de Erik Brynjolfsson et Andrew McAfee (deux chercheurs du *MIT Center for Digital Business*), que le discours selon lequel l'automatisation serait sur le point de faire disparaître une part considérable des emplois existants et de révolutionner le travail a connu un développement foudroyant et acquis très rapidement le statut d'évidence.

Dans *Race Against The Machine*, publié en 2011, les deux auteurs soutiennent que les ordinateurs sont désormais capables de réaliser ce que seuls les humains savaient faire auparavant et que nous sommes à l'aube d'une « Grande Restructuration ». Extrêmement créatrices de valeur, ces technologies permettront d'améliorer considérablement la productivité et donc la richesse collective. Elles exigent des innovations organisationnelles radicales, orchestrées par des entrepreneurs et un investissement massif dans le « capital humain » susceptibles d'éviter la polarisation des compétences et de la société qui s'annonce.

Dans « *The Future of Employment : how susceptible are Jobs to Computerisation* », publié en 2013, Carl Benedickt Frey et Michael A. Osborne étudient 702 métiers et estiment la probabilité qu'ils soient remplacés par des machines intelligentes. Pour les États-Unis, les auteurs estiment que « 47 % des actifs se trouvent dans un secteur à haut risque de chômage » et que leurs emplois pourraient être remplacés par des robots ou machines « intelligentes » dans un délai de dix à vingt ans. Ces études seront reprises en boucle dans le monde entier.

Selon d'autres sources, le travail, qui est déjà collaboratif, sera appelé à l'être encore davantage. Le *crowdsourcing* constituera l'une des modalités les plus répandues d'exercice du travail, laissant une place centrale à la co-production. Celle-ci ne sera plus réalisée principalement au sein de grandes organisations hiérarchisées mais au sein de plates-formes créatrices de valeur. Il y aura de moins en moins de différence entre travail et non travail, vie professionnelle et vie privée. Le travail se confondra avec un engagement 24h sur 24, la carrière sera une succession d'emplois que chacun aura à gérer lui-même.

152

153

Des travaux ultérieurs ont montré que ces analyses présentaient une double faiblesse : faites en chambre et non appuyées sur l'observation des organisations du travail vivantes, elles sautaient trop vite le pas de l'automatisation de la tâche à l'automatisation du poste. Par ailleurs, toutes ces analyses font comme si toute innovation devait nécessairement se déployer, sans susciter ni réaction, ni résistance. Les travaux des sociologues ont montré la limite de telles approches, ainsi que l'envers de la médaille : la déshumanisation (certains disent la tâcheronisation) du travail humain qu'entraînent ces nouvelles organisations.

Du côté de l'ubérisation aussi, les prédictions prennent parfois le pas sur les enquêtes. Les médias se sont fait l'écho d'analyses particulièrement divergentes, entre une vision enchantée d'une économie innovante et collaborative, et des inquiétudes sur la prolétarisation des travailleurs « à la tâche ». La littérature (plus) académique suit en partie cette polarisation. Pour certains, l'économie numérique favoriserait le progrès et le partage, les pratiques y seraient plus innovantes et libres et plus collaboratives. Tandis que pour d'autres, elle marquerait l'avènement de formes renouvelées, voire aggravées, d'exploitation, certains parlant alors pour certains de « *cybertariat* ». Cette littérature, bien que bouillonnante, manque encore d'enquêtes empiriques approfondies permettant d'interroger ces hypothèses.

C'est pour renverser cette tendance et participer à l'effort de collecte de données empiriques, et d'analyses circonstanciées, qu'une équipe de recherche sur les plates-formes a été mise en place, avec l'Université Paris-Dauphine comme centre de gravité. Les plates-formes sont ici interrogées comme nouveaux intermédiaires entre travailleurs et entreprises, ces dernières utilisant l'opportunité offerte par les innovations technologiques afin de contourner le cadre établi de l'emploi et du droit du travail. En effet, derrière ce qui est présenté comme un modèle économique innovant, une particularité fondamentale caractérise ce nouveau type de transaction économique : les offreurs de travail sont parfois, voire souvent, des particuliers, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas salariés, ni même forcément professionnels. Ce sont eux qui possèdent l'outil et la force de travail, qu'ils vendent en qualité d'indépendants, soit directement aux consommateurs, soit à un intermédiaire.

Notre programme de recherche s'appuie sur une réflexion pluridisciplinaire en sociologie et en droit du travail et il vise à répondre à quatre principales questions de recherche aux enjeux théoriques mais aussi sociaux et politiques :

- Qui sont les travailleurs proposant leurs services via les plates-formes et à quelles inégalités renvoie cette structuration sociale du capitalisme de plates-formes ?
- Quels enjeux la marchandisation du travail gratuit fait-elle peser sur les professions ? Dans quelle mesure

...

...

cette marchandisation peut-elle elle-même s'inscrire dans une trajectoire de professionnalisation ?

- Quels sont les modes de travail et les statuts d'emploi qui lient les plates-formes et les travailleurs ? Que nous apprennent à ce sujet les réflexions en termes de lien de subordination juridique et de dépendance économique ?
- Comment s'organise la régulation juridique et politique des plates-formes ? En particulier, quels rôles jouent les instances de protection traditionnelles des travailleurs telles que les syndicats et organisations professionnelles ?

Pour répondre à ces questions, nous avons constitué une équipe comprenant des sociologues de l'IRISSO (Sarah Abdelnour, Pauline Barraud de Lagerie, Sophie Bernard, Guillaume Compain, Julien Gros, Anne Jourdain, Dominique Méda, Arnaud Mias, Luc Sigalo Santos), des juristes de l'Institut Droit Dauphine (Morgan Sweeney et Hélène Tissandier), et des collègues sociologues d'autres établissements (Sidonie Naulin et Diane Rodet). Plusieurs plates-formes font alors l'objet d'enquêtes approfondies, notamment du côté des travailleurs qui y exercent tout ou partie de leur activité professionnelle, qu'il s'agisse de transport de personnes, de livraison de repas, de vente d'objets artisanaux ou encore de micro-tâches réalisées en ligne.

Si le nombre de travailleurs de plates-formes semble connaître une croissance rapide, il convient de décrire les situations hétérogènes que recouvre cette dénomination. En effet, si pour certains les missions réalisées par l'intermédiaire des plates-formes constituent l'activité principale, elle représente pour d'autres un simple complément de revenus. Ces variations sont notamment perceptibles en fonction des contextes nationaux : alors qu'il s'agit d'un emploi principal pour la majorité des chauffeurs français qui utilisent Uber, c'est une activité d'appoint pour les américains. Or, les vécus des travailleurs des plates-formes et leur niveau de satisfaction diffèrent profondément en fonction du statut associé à cette activité. Exercée à titre principal, les enquêtes démontrent qu'il est difficile d'en vivre et qu'elle est source de précarité, certains en venant à rejeter le terme de « micro-entrepreneur » pour désigner leur situation tant celle-ci serait vulnérable. En revanche, quand il s'agit d'un revenu complémentaire, la satisfaction des travailleurs des plates-formes est plus élevée.

En dépit de cette polarisation entre les travailleurs des plates-formes qui se professionnalisent et ceux qui y voient une opportunité de compléter leurs revenus, il convient de mettre en évidence ce qui rend désirable le fait d'y travailler. Concernant les livreurs à vélo, bien que leurs conditions d'emploi soient précaires, le fait qu'il s'agisse principalement d'étudiants et de « cumulants » explique leur relative satisfaction. Mais au-delà de ces conditions spécifiques, ces plates-formes ont réussi à rendre attractives des tâches *a priori* stigmatisées. C'est le tour de force réalisé par les plates-formes que d'être

parvenues à valoriser cette activité en mettant en avant les vertus d'une pratique sportive. Outre l'attrait de la pratique cycliste, les livreurs à vélo disposent de supports externes (un emploi salarié, le soutien du conjoint ou des parents) qui permettent de rendre leur situation soutenable, réaffirmant « l'adossement crucial des auto-entrepreneurs au système salarial ».

Le débat juridique est actuellement ouvert quant au statut des travailleurs des plates-formes. Le cas des chauffeurs recourant à l'application Uber est à cet égard emblématique. Des décisions ont été rendues dans de nombreux pays, qui stipulent la subordination des chauffeurs, et en ordonnent donc la salarisation. Ainsi, en juin 2015, dans l'affaire *Berwick v. Uber*, la Cour Supérieure de Californie et son « *Labor Commissioner* » ont arbitré en faveur du salariat, en raison notamment des modalités de rémunération, de contrôle et de sanction des chauffeurs. En France, la cour d'appel de Paris a pour la première fois estimé dans un arrêt rendu le 10 janvier 2019 que la relation unissant Uber à l'un de ses anciens chauffeurs était un contrat de travail. Ce qui est en jeu, c'est le statut de travail, et par conséquent l'accès aux droits sociaux. Car si la quête d'autodétermination dans le travail est légitime, elle ne sera pas résolue par un accroissement d'un travail indépendant sous-protégé, et encore moins par l'abandon d'un système social solidaire et de protections collectives publiques.





Responsabilité sociale des entreprises et gouvernement des risques

Corporate Social Responsibility and Risk Government

A series of research studies conducted at IRISSO are examining how companies are responding to new social expectations (see the movement for "Corporate Social Responsibility"). They meet another series of studies that deal with public policies related to risk regulation, and question the place of industry in negotiations. In the end, through the study of new instruments for risk regulation, this research program examines how new ways of dealing with public problems (regarding health, social and environmental issues) are invented and redefine the power relations between the various stakeholders involved.

↓ En 2005, un éditorialiste *The Economist* affirmait que la « RSE (avait) gagné la bataille des idées ». Il précisait : « De nos jours, on demande aux grandes entreprises d'être de bonnes citoyennes, et elles veulent toutes montrer qu'elles le sont. » Le monde contemporain semble certes avoir largement avalisé l'usage de la notion de « responsabilité sociale » pour désigner, tous azimuts, les démarches par lesquelles les entreprises assument et devraient assumer « l'intégration volontaire des préoccupations sociales et écologiques des entreprises à leurs activités commerciales et leurs relations avec leurs parties prenantes » (*Livre vert de la Commission Européenne*, 2001). Plus aucune entreprise ne peut aujourd'hui se permettre de renvoyer au mot d'ordre défendu par Milton Friedman en 1970, selon lequel la seule responsabilité sociale de l'entreprise est d'accroître son profit. Un ensemble de travaux menés à l'IRISSO examinent la façon dont les entreprises sont amenées à répondre à de nouvelles attentes sociales et interrogent l'articulation de leurs initiatives volontaires avec d'autres formes de gouvernement des risques.

EXAMINER LES CONTROVERSES AUTOUR DU RÔLE SOCIAL DÉVOLU AUX ENTREPRISES

L'essor de la notion de responsabilité sociale des entreprises a été de pair avec le foisonnement de structures institutionnelles nouvelles (des « départements RSE », des « rapports RSE », ...). Mais la puissance institutionnelle acquise par la notion de « RSE » s'est aussi accompagnée d'une forte labilité de sa définition dans les usages. Elle regroupe des actions de nature différente, pouvant aller du don philanthropique à de véritables politiques d'entreprises, en passant par l'investissement socialement responsable. Ce flou est d'ailleurs un enjeu stratégique important, pour les entreprises comme pour les militants. Par exemple, à la suite de l'effondrement, en 2005, de l'usine Spectrum au Bangladesh, qui avait fait 64 morts, les entreprises donneuses d'ordre (le groupe Inditex/Zara, Carrefour etc.) avaient accepté d'apporter volontairement une aide financière aux familles des victimes (« volontairement » car au regard du droit, un donneur d'ordre ne pouvait être tenu pour légalement responsable d'une telle catastrophe chez un fournisseur). Mais tandis que les militants considéraient cette aide financière comme un « dû » requis pour réparation d'un préjudice dont les entreprises étaient jugées partiellement responsables, les entreprises insistaient pour la présenter comme un « don » librement consenti pour aider des malheureux (au même titre que les dons à des associations humanitaires).

Étudier l'incorporation de valeurs morales dans la valorisation économique des entreprises

Contre l'idée d'un pur don, la vision de la RSE comme intégration des préoccupations sociales et écologiques des entreprises « à leurs activités » peut suggérer que les entreprises doivent internaliser les externalités négatives de leurs activités. La finance s'est d'ailleurs emparée de cette notion avec la mise en place de l'investissement socialement responsable, qui évalue les entreprises selon des critères économiques mais

également sociaux et environnementaux. Plus concrètement, les entreprises sont supposées revoir leur *business model* pour y intégrer la protection de la nature et des populations. Les cas sont nombreux et variés, depuis les configurations où les entreprises sont appelées à agir sur les conditions de production de leurs biens et services jusqu'à celles où les entreprises sont conduites à transformer les caractéristiques des biens et services mis sur le marché. Pour améliorer les conditions de travail chez leurs fournisseurs, les entreprises du secteur textile peuvent être amenées à augmenter les prix d'achat et les délais de fabrication aux fins d'une meilleure rémunération et d'un temps de travail plus soutenable. Dans le contexte de la lutte contre l'obésité, les industries agro-alimentaires peuvent revoir la formulation des produits vers une « meilleure » composition nutritionnelle (aliments moins salés, moins sucrés, moins gras) ou une diminution de leur valeur calorique ; c'était le projet du deuxième Plan National Nutrition Santé (2006-2010). Dans un cas comme dans l'autre, l'idée est que les entreprises ne s'achètent pas un supplément d'âme en finançant des actions « à côté » mais touchent au cœur de leur activité, quitte à reporter ensuite sur les consommateurs le surcoût de ces nouvelles qualités des produits. Il y a là un objet passionnant pour qui s'intéresse, en sociologie économique, aux dynamiques de construction de la valeur des biens marchands comme aux processus de (re)définition des règles et normes.

INTERROGER LES ENJEUX DE LA RÉGULATION PAR LA RSE

Au bout du compte, on peut s'interroger sur les espoirs ou dangers du recours aux acteurs privés pour défendre le bien commun. Contre une réponse univoque mettant en avant soit un supposé effet gagnant/gagnant pour l'entreprise et le « bien commun » (la thèse irénique de la RSE comme processus « win-win »), soit une inévitable capture de l'intérêt général au profit du seul intérêt des entreprises capitalistes (la thèse critique de la RSE comme pur « greenwashing »), il faut surtout identifier les effets induits par cette participation des intérêts privés à une cause publique. On peut légitimement craindre que les démarches humanitaires et sociales des entreprises ne risquent de faire fi de l'exigence proprement politique selon laquelle les objectifs sociaux et politiques devraient être soumis au débat public et à l'assentiment du plus grand nombre. Et l'on saluera d'autant plus la dynamique par laquelle des démarches de RSE ont pu devenir des obligations de droit dur, comme dans le cas de la « loi sur le devoir de vigilance » adoptée en 2017. Mais au-delà de cette problématique du passage de la « soft law » à la « hard law », on peut s'interroger plus largement sur la façon dont se combinent action publique et acteurs privés dans les politiques de régulation des risques. Les recherches sur la RSE rejoignent alors un autre ensemble de travaux qui, à l'IRISSO, s'intéressent plus largement aux politiques publiques de régulation des risques dans les domaines sanitaires et environnementaux, y compris ceux liés à la santé au travail.

...

ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES ET RISQUES

Les activités des entreprises ont des effets majeurs sur l'environnement et la santé des populations. Pour ne prendre que quelques exemples, le développement de l'agriculture intensive adossée à l'utilisation de pesticides (dont le glyphosate, qui a récemment défrayé la chronique, n'est que le plus connu), la pollution de l'air liée aux activités industrielles et aux déplacements automobiles, la multiplication des perturbateurs endocriniens liée notamment à l'usage de matières plastiques dans des applications de plus en plus nombreuses, l'usage de produits toxiques voire cancérogènes en milieu de travail par des entreprises encore très nombreuses, posent des défis particuliers aux États et aux institutions publiques dont le rôle historique est de protéger les populations vis-à-vis de différents risques sociaux, sanitaires et environnementaux. Analyser les politiques de régulation de ces différents risques met en évidence que le rôle des États et des instances internationales de régulation (comme l'Union européenne) est à la fois de limiter l'exposition à certains risques et de permettre, voire de faciliter l'activité économique des entreprises présentes sur leurs territoires. Or, l'analyse de ces politiques d'encadrement des risques montre que ces contradictions se résolvent rarement à l'issue d'une large discussion publique. Bien au contraire, ces risques sont débattus le plus souvent dans des arènes confinées, pour le plus grand profit des industries concernées qui disposent de ressources en expertise bien plus étendues que les associations défendant les citoyens ou les consommateurs.

DE LA RÉGULATION DES RISQUES À L'INTERROGATION SUR L'EXPERTISE

Les questions comme « est-ce dangereux ? » ou « est-ce cancérogène ? » renvoient de nos jours à des dispositifs techniques et scientifiques extrêmement complexes. Pour prendre ce dernier exemple, on a vu que répondre à la question « le glyphosate est-il cancérogène ? » n'est pas toujours aussi simple que cela pourrait paraître. En 2015, le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC), dépendant de l'Organisation mondiale de la santé et faisant autorité parmi les scientifiques, a classé ce produit comme un cancérogène probable pour l'homme. Mais dans le cas de produits générant des chiffres d'affaire importants, certains industriels peuvent chercher à rendre moins définitif le classement du CIRC en faisant jouer d'autres agences d'expertise dont ils espèrent qu'elles arbitreront entre les dimensions scientifiques des enjeux et leurs dimensions économiques. Monsanto a ainsi fait jouer l'expertise de l'Agence européenne de sécurité alimentaire (EFSA) contre celle du CIRC pour tenter d'éviter les effets négatifs liés au classement comme cancérogène. Au-delà des classements, les seuils permettent aussi d'encadrer l'usage d'un produit dangereux tout en permettant la poursuite des activités économiques liées à sa production et à ses usages. Dans de très nombreux domaines, les expositions aux produits dangereux sont encadrées par des seuils limites d'exposition, comme la



dose maximale acceptée de résidus de pesticides sur les produits de consommation ou les valeurs limites d'exposition professionnelle aux substances chimiques. Perpétuellement dénoncés par certains industriels comme des entraves au fonctionnement des entreprises, ils sont pourtant des instruments permettant la perpétuation d'activités économiques présentant des dangers pour l'environnement et la santé.

En somme, à travers l'étude de ces nouveaux instruments de régulation des risques, les travaux de l'IRISSO examinent surtout comment de nouvelles façons d'appréhender les problèmes publics (sanitaires, sociaux et environnementaux...) s'inventent et redéfinissent en pratique les rapports de force entre les différentes parties prenantes impliquées.



Finance et société

Finance and Society

The Political Sociology of Economy analyses the institutional change of capitalism by tracing the history of economic policies and institutions and following the trajectories of agents, within various national configurations. This genealogical perspective challenges the often taken-for-granted divisions used for describing economic facts: distinction between “economic” and “social”, “public” and “private” finances, “Welfare State” and “market”. Instead of opposing distinct social spheres, these researches focus on embedding-disembedding processes between the economy and the political and social institutions. Money has got “par excellence” this double face, as the economic institution at the very foundation of the political sovereignty. The histories of stock exchanges, public debt and economic leaders show the interweaving of the State and at the first sight “strictly economic” institutions. Finance, as a professional universe which allocates capital, decides which human activities are worth being and challenges former social compromises between labor and capital. One century after Max Weber, financiarisation renews the puzzle of Economy and Society.

↓ Depuis le milieu des années 2000, un groupe de chercheurs, initialement regroupés autour de Bruno Théret, alors directeur de recherche au CNRS, étudie à Paris-Dauphine les transformations du capitalisme à partir d’un point de vue novateur, interdisciplinaire et transméthodologique, sur les faits économiques. Pratiquant une « sociologie politique de l’économie », ces chercheurs venus de l’économie, de la sociologie ou de la science politique, intègrent les résultats du droit, de l’histoire et de la comptabilité à leurs recherches pour construire un véritable point de vue interdisciplinaire, peu développé dans la recherche française comme internationale. Inspiré par l’économie institutionnaliste de la tradition américaine (Old Institutionalism) et de l’école française (Théorie de la Régulation) ainsi que par la sociologie et l’anthropologie économique et la science politique françaises, ils s’inscrivent dès leur constitution dans un dialogue théorique et empirique avec les recherches d’autres pays et notamment les USA, la Grande Bretagne, la Chine, le Brésil et l’Argentine. Cette dimension d’emblée internationale permet d’étudier les transformations des institutions du capitalisme à partir de l’histoire des politiques économiques, de la structuration des institutions et des trajectoires sociales des agents au sein de configurations nationales variées. Ces recherches charpentent en outre un collectif de travail où les méthodes d’enquête les plus diverses sont connues, utilisées et comparées les unes avec les autres : ethno-comptabilité, analyse de correspondances multiples, prosopographie, sociogénétique de l’écriture, herméneutique jurisprudentielle, travail sur archives, économétrie, lexicométrie, analyse de réseaux, ethnographie embarquée.

Ses membres partagent enfin une perspective historique et généalogique qui remet en cause les distinctions habituellement utilisées pour décrire les faits économiques : la séparation entre « économie » et « social », entre « finances publiques » et « finances privées », entre « l’État social » et « le marché ». Ils prêtent en effet attention aux processus de désencastrement et de réencastrement de l’économie vis-à-vis des institutions politiques et sociales. Ils suivent l’alternance de phases d’émancipation des pratiques de production et d’échange à l’égard des tutelles traditionnelles, pendant lesquelles l’économie semble devenir une sphère d’activité autonome, et des phases de réencastrement politico-étatique. Les ordres économiques ainsi construits balisent simultanément des zones d’accès et, réciproquement, de non-droit à la discussion publique et politique. (Gayon, Lemoine, 2014)¹.

La crise financière de 2008 et ses prolongements offrent l’exemple criant d’une telle intrication : après être venus au secours des banques commerciales, les États se voient acculés à des plans de rigueur, sous la contrainte des exigences d’un financement de leurs déficits publics auprès des marchés financiers. En articulant leurs enquêtes à des temporalités longues ou très contemporaines, les travaux de ces chercheurs étudient les agents, les savoirs mobilisés et les dispositifs qui dessinent les différentes configurations du capitalisme. Le large spectre des objets étudiés offre finalement des

¹ « Maintenir l’ordre économique. Politiques de désencastrement et de réencastrement de l’économie », *Politix* 2014/1, n°105

clés de lecture aussi bien macrosociales que socio-techniques des processus historiques qui sont au fondement de la longue transition de l’ordre économique et politique keynésien vers le néolibéralisme.

AU FONDEMENT DE L’INTRICATION ENTRE POLITIQUE ET ÉCONOMIQUE : L’ÉTAT ET LA MONNAIE

Les travaux de Bruno Théret révèlent l’imbrication des logiques étatique et économique en dévoilant la nature économique de l’État et la nature politique de la monnaie. Dans *L’État, la finance et le social : souveraineté politique et construction européenne*, il propose d’appréhender l’État au-delà de ses formes institutionnelles qui, telles la Constitution, le Budget ou le Président de la République, le représentent comme un tout unifié et en font la clef de voûte unique et rationnelle de l’architecture des sociétés modernes. Rassemblant des recherches sur la genèse de l’État, les conditions de sa perpétuation, son rapport au territoire, à la finance, au marché, le livre analyse la construction de l’Union européenne, de manière comparatiste et dans la longue durée et délimitent ainsi trois formes générales de l’État-Nation : l’État souverain, l’État de finance et l’État-providence. B. Théret rassemble à nouveau historiens et économistes autour du livre *La monnaie dévoilée par ses crises*, pour réfléchir aux différentes représentations de la monnaie. Le livre établit une morphologie des crises monétaires (depuis la Grèce de la fin du v^e siècle av. J.-C., jusqu’à l’Argentine de 2002, sur trois continents, l’Europe, l’Asie et l’Amérique et dans des systèmes politiques variés, des cités, des empires, des États et des républiques fédérales). Il dévoile les dimensions non seulement économiques mais aussi politiques, sociales et symboliques de la monnaie. La monnaie, loin de n’être qu’un instrument d’échange, est une construction sociale essentielle à la création d’une souveraineté politique. Si les crises monétaires problématisent le fait monétaire en termes de dette, elles révèlent également que la monnaie est un rapport de confiance.

LA FINANCE ET L’ÉTAT : RAREMENT L’UN SANS L’AUTRE

Les travaux relativisent l’image usuelle selon laquelle les secteurs financiers visent à s’affranchir de la tutelle d’États aux velléités régulatrices. La financiarisation des mondes sociaux ne résulte pas d’une déréglementation au sens d’une diminution de l’activité réglementaire, mais au contraire de la production par les pouvoirs publics d’un environnement juridique favorable aux activités financières. Les chercheurs de ce pôle analysent sur le temps long la porosité et l’interdépendance entre les secteurs financiers et étatiques, aux échelles des institutions et des individus, à travers des objets tels les marchés boursiers, la dette publique ou les grands patrons.

Le livre *Histoire de la Bourse* écrit par Paul Lagneau-Ymonet et Angelo Riva mobilise ainsi une approche mêlant histoire, économie et sociologie pour comprendre

...

le fonctionnement des bourses et notamment de la bourse de Paris. Créée par le pouvoir royal après la débâcle du financier John Law, la Bourse de Paris est analysée comme une image grossie du capitalisme moderne et un « raccourci de l'univers marchand » pour reprendre la belle expression de l'historien Fernand Braudel. À la confluence de la raison d'État et des logiques marchandes, la bourse recouvre trois aspects : un lieu, un dispositif d'échange et un espace social. L'histoire de la bourse réaffirme ici la dimension proprement politique des marchés financiers.

L'ouvrage de Benjamin Lemoine *L'ordre de la dette. Enquête sur les infortunes de l'État et la prospérité du marché* analyse de son côté les mécanismes ayant imposé la dette comme la contrainte suprême qui justifie toutes les politiques d'austérité budgétaire et place les États sous surveillance des agences de notation. À rebours de ceux qui voient la dette comme une loi d'airain, Benjamin Lemoine montre comment, en France, l'« ordre de la dette » a été voulu, construit et organisé par des hommes politiques, des hauts fonctionnaires et des banquiers, de gauche comme de droite – parmi lesquels François Bloch-Lainé, Charles de Gaulle, Antoine Pinay, Valéry Giscard d'Estaing, Michel Pébereau, Laurent Fabius, Lionel Jospin, Dominique Strauss-Kahn... Autrement dit, il fut le fruit d'un choix politique.

François-Xavier Dudouet et Éric Grémont se posent quant à eux la question des caractéristiques des grands patrons en France dans *Les grands patrons en France : du capitalisme d'état à la financiarisation*. Ils explorent ainsi une mutation décisive du capitalisme français et des relations des élites économiques et politiques. En analysant les réseaux, les relations d'affaires, les origines sociales et les parcours des grands patrons français, les auteurs montrent que le capitalisme français a rompu avec le capitalisme d'État des Trente Glorieuses pour se financiariser en raison notamment de la conversion d'anciennes élites administratives aux vertus du libéralisme et du capitalisme financier.

CE QUE LA FINANCE FAIT À L'ÉCONOMIE : LA HIÉRARCHISATION DES ACTIVITÉS HUMAINES

Les chercheurs du pôle examinent par ailleurs la manière dont les acteurs financiers évaluent, transforment et s'échangent les entreprises et modèlent les manières de produire et de travailler.

Dans l'ouvrage *Valeur financière et vérité. Enquête d'anthropologie politique sur l'évaluation des entreprises cotées en bourse*, Horacio Ortiz analyse les pratiques de définition de la valeur financière des entreprises cotées en bourse à partir d'une enquête par observation participante auprès financiers à New York et Paris. Il montre que le rôle social des entreprises est aujourd'hui fortement influencé par la hiérarchisation de leur valeur financière légitimée par un imaginaire politique selon lequel des investisseurs libres se retrouvant dans des marchés efficients conduisent à une distribution optimale des ressources.

Parallèlement, Marlène Benquet étudie dans l'ouvrage *Encaisser. Enquête en immersion dans la grande distribution* les effets de la financiarisation actionnariale sur les manières de travailler au sein des entreprises. À partir de l'étude d'une entreprise de grande distribution par des méthodes qualitatives (ethnographie, entretiens, archives) et quantitatives (étude de l'évolution des indicateurs financiers de la firme), elle décrit l'évolution des moyens d'obtenir le travail des salariés au sein d'une firme rachetée par un fonds d'investissement. Elle montre ainsi comment se tissent une longue chaîne de liens causaux entre les évolutions actionnariales des firmes et les modalités locales de travail et d'emploi de leurs salariés.

Ces deux exemples rendent ainsi visibles des activités de la finance habituellement laissées dans l'ombre. Certes, celle-ci a pour fonction publique d'allouer le capital à des usages productifs, mais ce faisant, elle désigne aussi les activités humaines dignes d'être financées, elle définit les critères – économiques, financiers, sociaux, écologiques – d'évaluation des firmes, elle contrôle la gestion des entreprises, elle gère ou fait gérer des salariés et devient finalement un agent décisif de transformation du paysage productif international.

PROTÉGER L'EXISTENCE : DE LA RÉGULATION PAR L'ÉTAT SOCIAL À L'APPROPRIATION PAR LA FINANCE

La régulation macroéconomique établie par l'État, les employeurs et les syndicats de travailleurs, qui garantissait un revenu salarial hors emploi, est remise en cause par la financiarisation à partir des années 1980. Dans le livre *Les fonds de pension, entre protection sociale et spéculation financière*, Sabine Montagne montre que la responsabilité fiduciaire anglo-américaine des administrateurs de ces fonds, non seulement ne protège pas les salariés des aléas des marchés financiers, mais interdit tout accès salarial au pilotage des politiques d'investissement financier menées par ces fonds. Fonctionnant sur le modèle de la gestion sous curatelle, ces dispositifs subordonnent les salariés aux intermédiaires financiers et manifestent ainsi un net repli de la représentation salariale qui était aux fondations mêmes des institutions publiques, étatiques et bureaucratiques, de protection sociale.

Dominique Méda et Florence Jany Catrice, dans leur livre *Faut-il attendre la croissance ?* reviennent également sur les activités nécessaires à la reproduction sociale mais aussi les patrimoines critiques. Rompant avec le productivisme, leur comptabilisation faciliterait une transition écologique et sociale. Ces projets, nécessitant de lourds investissements publics, exigent le retour de l'État, notamment dans sa fonction anticipatrice, planificatrice et coordonnatrice. Une telle réorientation ne suppose en rien un affaiblissement de l'État social. L'amélioration des systèmes de protection sociale, condition de réduction des inégalités sociales, constitue au contraire un élément central de la sécurisation des transitions.



Samuel Bouron
Marie Carcassonne
Sabine Rozier
Élise Tenret

Dix ans de recherche en éducation

Ten Years of Research in Education

Educational research in IRISSO brings together members of IRISSO from various disciplines (language sciences, political science, sociology) which aim to explore, through ethnographic field surveys or statistical surveys, processes of socialization, education, training, from the most formal to the most informal. The research carried out within this team aims in particular at analysing the role of educational institutions (school and family) and training in the production of the social structure, in a context deeply transformed by changes in the labour market and by the greater role of the market. Over the years, the research carried out in the "education team" has focused on three complementary areas: (1) pedagogical support to schooling or parenting, (2) the changes in educational standards and the promotion of alternative forms of education, (3) social reproduction and transformations of the educational system.

↓ À l'IRISSO, un pôle de recherche « éducation » est créé en 2009, animé successivement par S. Garcia (MCF en sociologie) de 2009 à 2014, M. Carcassonne (MCF en sciences de l'éducation) et É. Tenret (MCF en sociologie) de 2014 à 2016 et S. Bouron (MCF en sociologie) et S. Rozier (MCF en sciences politiques) à partir de 2016. La création de ce pôle renoue avec la tradition de recherche sur l'éducation initiée dès les années 1970 à Dauphine, où les recherches sont alors structurées par deux pôles : d'une part le CRSU (Centre de Recherche sur Systèmes Universitaires) composée d'une équipe d'enseignants-chercheurs en sciences de l'éducation (B. Girod de l'Ain, J. Salzer, R. Simonet, R. Soudée) et dont les recherches visent principalement à mieux comprendre les trajectoires étudiantes tout en alimentant l'innovation pédagogique ; d'autre part un pôle « formation et pédagogie » (A. de Blighnières, G. Jobert, S. Lucas, B. Schwartz) structuré autour de la mission « formation continue » datant de 1972 (à l'origine du département formation continue). Des travaux sont conduits sur les compétences en situation de travail et sur le rôle des capacités transversales dans les processus de professionnalisation, ainsi que des recherches-actions (à partir des années 1980) sur la relation emploi-formation. Le CRSU fusionne au début des années 1990 avec le CERSO (Centre d'Études et de Recherches en sociologie des Organisations) ; au milieu des années 2000, les objets de recherche concernent par exemple l'enseignement-apprentissage de l'argumentation, de l'École à l'Université ; d'autres celui de la conduite en auto-école d'insertion. En 2009, le CERSO fusionne avec l'IRISES (où S. Garcia menait des recherches en sociologie de l'éducation) pour devenir l'actuel IRISSO.

Aujourd'hui intitulé « Éducation, formation, socialisation », ce pôle rassemble les membres de l'IRISSO issus de diverses disciplines (sciences du langage, sciences politiques, sociologie) qui ont pour objet d'explorer, par des enquêtes de terrain ethnographiques ou des enquêtes statistiques, les processus de socialisation, d'éducation et de formation. Les recherches visent à analyser le rôle des institutions éducatives (école et famille) et de formation dans la production de la structure sociale, dans un contexte transformé par les évolutions du marché de l'emploi et en intégrant un acteur souvent oublié dans les recherches sur l'éducation : le marché. Il s'agit d'interroger la manière dont le système scolaire devient un enjeu décisif pour toutes les catégories sociales et les conditions de la compétition entre ces dernières pour l'accès à la réussite scolaire. Au fil des années, les recherches se sont ainsi orientées autour de trois axes : (1) les dispositifs pédagogiques d'accompagnement ou de remédiation à la scolarité ou à la parentalité ; (2) les mutations des normes éducatives, la contestation de l'institution scolaire et la promotion de formes d'éducation alternatives ; (3) la reproduction sociale et les transformations du système éducatif. Ces recherches ont en commun de questionner les normes scolaires et extrascolaires (parentales et familiales, d'expertise pédagogique ou psychologique, professionnelles). Elles

166

167

étudient aussi bien les prescripteurs de ces normes, issus du public ou du privé (politiques sociales, politiques éducatives, enseignants, formateurs, consultants) que les manières dont les acteurs sociaux se les approprient (phénomènes de résistance, transformation, incorporation, appropriation) ainsi que leurs effets sur les inégalités sociales.

LES DISPOSITIFS PÉDAGOGIQUES D'ACCOMPAGNEMENT OU DE REMÉDIATION À LA SCOLARITÉ OU À LA PARENTALITÉ

Depuis le début des années 1980, ont été mis en place de nombreux dispositifs d'accompagnement à la scolarité ou de remédiation à la difficulté scolaire. Les travaux du pôle se sont intéressés à la manière dont les acteurs mettent en œuvre, en les retravaillant, les objectifs officiels d'amélioration des scolarités pour les rendre conformes à leur action et valider leurs propres interventions. La manière dont s'intensifie l'offre de médicalisation de l'échec scolaire et dont elle transforme les dispositifs publics a été explorée dans ce cadre, notamment dans une thèse soutenue. La délégation à des acteurs privés du travail pédagogique (orthophonistes, cours privés) et ses enjeux ont également été étudiés.

MUTATIONS DES NORMES ÉDUCATIVES, CONTESTATION DE L'INSTITUTION SCOLAIRE ET PROMOTION DE FORMES D'ÉDUCATION ALTERNATIVES

À la croisée de la sociologie de l'action publique, de la sociologie des problèmes sociaux et de la sociologie de l'éducation, des recherches sont actuellement menées sur les conditions de « mise en crise » du système scolaire public français. Elles visent à analyser la manière dont les normes éducatives et leurs prescripteurs sont aujourd'hui contestés par des acteurs proches des groupes sociaux dominants qui entendent promouvoir une autre vision des savoirs et des méthodes pédagogiques. Il s'agit d'appréhender la construction historique de cette problématique, par l'exploration des différentes représentations politiques qui ont accompagné la naissance de l'école républicaine. À l'étude de cette contestation historique d'un système d'enseignement public jugé excessivement « massifié » par ses critiques répondent des enquêtes sur le développement récent (ou le renouveau) de formes alternatives de scolarisation, paradoxalement encouragées par l'État. Ces luttes pour la construction d'une « autre école » se donnent à voir aussi bien en amont, dans la manière dont les milieux patronaux contribuent à transformer les conditions de production, de transmission et d'évaluation des savoirs économiques, qu'en aval, dans l'observation des différentes pédagogies (« classiques » et « alternatives », notamment Freinet) mobilisées dans l'enseignement du français, dans le cas de l'encadrement de l'instruction à domicile et des choix éducatifs des familles, ou encore dans l'essor des écoles privées hors contrat.

...

...

REPRODUCTION SOCIALE ET TRANSFORMATIONS DU SYSTÈME ÉDUCATIF

Les deux précédents axes s'inscrivent dans une réflexion plus générale portant sur la manière dont le système éducatif contribue à la légitimation des inégalités sociales et par là-même à la production du consentement dans nos sociétés démocratiques. Cette réflexion sur la contribution du système scolaire à la reproduction sociale s'intéresse à l'enseignement supérieur qui tout en se démocratisant, connaît aujourd'hui une différenciation de plus en plus marquée des parcours des étudiants, notamment sous l'effet de l'injonction à l'internationalisation, la professionnalisation des études (thèse en cours) et la mise en indicateurs des performances éducatives, en particulier dans le cas de l'utilisation ou non des résultats du projet PISA par les décideurs politiques français (thèse en cours).

Plusieurs recherches en cours alimentent cette réflexion sur les transformations de l'enseignement supérieur et les effets sur la reproduction sociale : l'une en collaboration avec une équipe de Sciences Po (financée par la DEPP et le SIES) sur la sélection et la démocratisation dans l'accès à l'enseignement supérieur ; une autre sur les spécificités de l'enseignement des SHS dans les filières en alternance à l'université, une autre, à la croisée de la sociologie de l'action collective patronale et de la sociologie de l'éducation, sur les controverses relatives à l'enseignement de l'économie dans la filière générale des lycées ; une autre, mobilisant la sociologie des pratiques philanthropiques, la sociologie des élites et la sociologie de l'institution scolaire, sur les conditions de financement des écoles privées hors contrat, enfin une autre analysant les processus favorisant la diversité à l'université (comparaison France-Espagne).



Catherine Achin
Céline Bessière
Alban Jacquemart
Gwenaëlle Mainsant

Émergence et essor des études de genre

The Rise and Development of Gender Studies

Gender Studies have a long history at Paris-Dauphine University, starting with pioneering research in the 1980s. Françoise Picq, who was an Associate Professor in Political Science, worked on the second wave of feminism in France. Dominique Fougeyrollas, who was a research fellow in the French National Center for Scientific Research (CNRS), worked on feminist theory, violence against women and the place of housework in capitalism. However, until the 2010s, gender studies were hardly highlighted in teaching programs or research projects, though scholars kept working on them. Building on this tradition, gender is nowadays a cross-disciplinary theme in IRISSO. A lot of fields are explored: justice, family, migrations, work, political action, gender mainstreaming policies... Gender is a useful category of analysis to understand the social processes through which differences and hierarchies between femininity and masculinity are produced. Gendered processes may also vary along intersections of race, class, and other global signifiers of identity and social location. In this paper we develop two main studies conducted at IRISSO: first, on gender and justice; second on the politics against gender discrimination.

↓ Les études féministes, devenues études de genre à partir des années 2000, ont une longue histoire à Dauphine, développées de manière précoce dans les années 1980 par les sociologues Françoise Picq et Dominique Fougeyrollas, qui ont également contribué à l'institutionnalisation des études sur le genre à l'université et au CNRS. Françoise Picq a travaillé sur le mouvement de libération des femmes en France, tandis que Dominique Fougeyrollas a mené des recherches sur les théories féministes, les violences à l'encontre des femmes, et les transformations du salariat et des relations de service. On lui doit ainsi des travaux précurseurs sur le « travail domestique » et sa place dans le capitalisme. Plus tard, Tania Angeloff, spécialiste du temps partiel en France, a introduit systématiquement la dimension des inégalités entre les hommes et les femmes dans ses cours. Sans être mis en avant à l'époque, ni dans les formations, ni dans les axes des laboratoires, les travaux sur le genre sont donc présents de façon continue à Dauphine.

Cette tradition d'analyse est prolongée aujourd'hui au sein de l'axe transversal Genre de l'IRISSO où une diversité d'objets sont explorés (justice, famille, migrations, travail, mobilisations, politiques d'égalité etc.). Ce qui rassemble ces différentes recherches, c'est une appréhension du genre comme concept permettant de comprendre la production sociale de la différence des sexes et de la hiérarchie entre hommes et femmes, entre masculin et féminin. Le genre est donc conçu comme un rapport social, mais qui s'imbrique dans d'autres rapports de pouvoir (de classe, de genre, de sexualité, de race, de génération, d'appartenance géographique et nationale, etc.). À titre d'exemple, nous développons ici deux perspectives de recherche menées par l'axe transversal genre de l'IRISSO.

GENRE ET JUSTICE

Des recherches sont menées depuis 2008 sur le genre dans les procédures judiciaires de séparation conjugale en France. Ces dernières se déroulent dans les chambres des Affaires familiales des Tribunaux de Grande Instance et opposent dans la grande majorité des cas un justiciable homme à une justiciable femme, sur des contentieux ayant trait à la division du travail parental et à l'économie domestique. Ces affaires sont traitées par des professionnel.le.s de la justice qui sont désormais majoritairement des femmes (juges aux affaires familiales, avocates et greffières), alimentant les discours des associations de défense des droits des pères dénonçant une justice familiale « rendue *par des femmes pour les femmes et contre les hommes* ». La recherche fondée sur l'observation de centaines d'audiences, l'examen de dossiers judiciaires et des entretiens avec les professionnel.le.s du droit montre que, malgré des différences de trajectoires et de rapport à la profession entre les hommes et les femmes juges, il règne une grande homogénéité des décisions, quel que soit le sexe du juge. Ainsi, les rapports sociaux de sexes dans les Affaires familiales s'inscrivent dans les rapports de domination des hommes sur les femmes qui caractérisent les sphères familiales et professionnelles, et ce notamment en s'articulant aux

170

50 ANS DE RECHERCHE : HIER, AUJOURD'HUI ET DEMAIN

171

rapports sociaux de classe. Les litiges induits par les séparations conjugales varient considérablement selon les positions sociales des justiciables : dans les couples fortunés se posent des questions épineuses de partage du patrimoine, dans les couples en situation économique précaire les questions de logement et de versement de pension alimentaire dominant, les couples aux ressources culturelles plus élevées se déchirent plus fréquemment que les autres sur la résidence des enfants, les questions d'autorisation de sortie du territoire des enfants ne se posent qu'aux immigrés, etc. Ainsi, les Affaires familiales nous incitent à observer et penser « ensemble », de façon imbriquée, différents rapports sociaux fondés notamment sur le genre et la classe sociale.

Depuis 2014, une recherche est engagée sur l'administration des victimes de la traite des êtres humains à des fins d'exploitation sexuelle en France et en Allemagne. Souvent assimilée à la prostitution de femmes étrangères par les discours médiatiques et politiques dominants, la traite est abordée dans cette recherche à partir des interactions entre prostituées migrantes et institutions chargées de leur contrôle et/ou de leur prise en charge (associations d'aide aux prostituées, police et justice pénale). L'observation des procès pour traite des êtres humains et proxénétisme dans plusieurs tribunaux de grande instance et les entretiens avec des professionnel.le.s du droit intervenant dans ces procès (procureur.e.s, juges du siège, avocat.e.s de la défense et des parties civiles) révèlent la centralité des processus de catégorisation genrés et racialisés dans l'arène judiciaire et leur poids dans la production des jugements. Ces processus de catégorisation amènent en effet les professionnel.le.s du droit à présumer implicitement de formes d'organisation du proxénétisme et de rôles des prévenu.e.s/victimes, les conduisant à faire en partie l'économie du contradictoire à l'audience : par exemple les quelques questions aux prévenu.e.s visent souvent à valider des types préexistants (le proxénétisme entrepreneurial chinois comme entraide entre femmes, le proxénétisme rom comme « familialisme amoral », les « mamas » nigérianes proxénètes, etc). Ainsi, tout en revendiquant le principe de l'égalité de traitement de leurs publics, les acteurs judiciaires fondent leur activité professionnelle quotidienne sur des assignations genrées et racialisées à l'encontre des justiciables qui en deviennent des principes de jugement.

POLITIQUES D'ÉGALITÉ

Des recherches sont menées sur les effets des lois dites sur la parité qui ont été adoptées depuis 2000 en France. Une série de lois est venue « favoriser l'égal accès des hommes et des femmes » d'abord aux mandats et fonctions politiques, puis aux responsabilités professionnelles et sociales dans les grandes entreprises et la fonction publique.

En ce qui concerne le champ politique, la progression de la représentation politique des femmes depuis 18 ans est remarquable. Les assemblées élues au mode de scrutin

...

PARIS-DAUPHINE

...

proportionnel et leurs exécutifs sont désormais paritaires, tout comme les conseils départementaux élus depuis 2015 au mode de scrutin binominal (une femme + un homme) majoritaire. De même, l'aggravation progressive des pénalités financières pour les partis politiques ne respectant pas la parité des candidatures a coïncidé avec une nette féminisation de l'Assemblée nationale (10% de femmes en 2000, 39 % en 2017). Enfin, depuis le quinquennat de François Hollande, la composition des gouvernements respecte la parité entre les sexes (sans obligation légale), témoignant du fait que la parité est devenue une norme du jeu politique. De fortes inégalités résistent néanmoins. D'abord, la présidence des assemblées reste un apanage masculin : il n'y a que 10% de femmes à la tête des départements, 16% parmi les maires, 17% à la présidence des régions, et aucune femme n'a jusqu'ici présidé le Sénat, l'Assemblée nationale ou l'État. Ensuite, si l'accès des femmes aux responsabilités est favorisé, leur taux de renouvellement est supérieur à celui de leurs homologues masculins : c'est aussi parce que les « femmes de la parité » ont souvent été choisies dans les forces vives de la « société civile », parmi des profanes, pour « réenchanter la politique ». Cette moindre dotation en ressources politiques constitue souvent un handicap lorsqu'il s'agit de prétendre à un poste de direction ou au renouvellement d'une investiture. La vision largement « différentialiste » qui accompagne les lois sur la parité a ainsi contribué à la reproduction d'un ordre du genre conservateur. Enfin, l'indéniable féminisation du personnel politique n'empêche pas d'autres discriminations : si l'Assemblée nationale élue en 2017 comporte pour la première fois 35 député.e.s « racisé.e.s » (perçu-es comme non blancs), elle est plus sélective socialement que jamais.

Concernant la fonction publique, la parité progressivement érigée en norme a produit une forte illégitimité de la persistance d'un fort « plafond de verre » dans les administrations. L'État a ainsi engagé une politique de féminisation des postes dirigeants à partir des années 2010, notamment en imposant un quota de 40% de femmes pour les plus hauts postes (loi Sauvadet de 2012, en application à partir de 2017). Ce dispositif promet une lente mais certaine féminisation des positions dirigeantes ; plus largement, ces politiques d'égalité sont un support de légitimité de la dénonciation des inégalités sexuées, notamment pour les femmes les plus dotées socialement, en particulier les énarques. Il n'en reste pas moins que cette politique de féminisation « par le haut » n'affecte que très marginalement les mécanismes de production des inégalités. L'ensemble des normes explicites et implicites que l'administration impose à ses agent.e.s pour « faire carrière » est ainsi maintenu, alors même que ce sont les biais de genre de ces normes qui génèrent les inégalités (les femmes ont plus de difficulté à répondre aux exigences de disponibilité, de mobilité géographique, d'engagement professionnel continu entre 30 et 40 ans, etc.). Plus largement, ces politiques laissent dans l'ombre les inégalités qui touchent les femmes de catégories C et B de la fonction publique qui, bien que majoritaires, se



voient offrir des perspectives de carrière bien plus limitées que celles de leurs homologues masculins.

POUR CONCLURE : RECHERCHES ET ENSEIGNEMENTS

La promotion des études de genre à l'Université Paris-Dauphine comme axe transversal d'un laboratoire pluridisciplinaire a constitué une entreprise collective, portée par plusieurs générations d'enseignantes-chercheuses. Depuis 2009, cette entreprise s'est étendue par l'inscription de cours « sur le genre » au sein des enseignements de sciences sociales en L3, M1 et M2, soutenue par le recrutement de nouveaux collègues spécialistes du genre. Dans un contexte de politisation accrue des enjeux de genre et de sexualité, qui témoigne bien souvent d'une profonde méconnaissance de la production scientifique (comme en atteste la polémique sur « la théorie du genre »), le renforcement des recherches comme des enseignements sur le genre se révèle être une priorité scientifique et pédagogique pour comprendre nos sociétés.



Politisations comparées et mobilisations : processus électoraux, mouvements contestataires et crises politiques

Comparative Politics and Mobilizations: Electoral Processes, Protest Movements and Political Crisis

Since 2000, political scientists at Paris-Dauphine are interested in ordinary political behavior of citizens. The IRISSE program "Comparative Politics and Mobilizations" brings together those whose purpose is to explore, through ethnographic fieldwork and / or statistical surveys, the processes of politicization of individuals and groups, along with the dynamics of collective mobilizations in various national contexts and spaces. The research initiated in this program is organized around two major sets of projects. The first are interested in electoral processes. The latter explore the modalities of participation in protest movements or processes of political crisis.

↓ Depuis les années 2000 plusieurs chercheurs (politistes et sociologues) Dauphinois s'intéressent aux comportements politiques ordinaires des citoyens. Le programme « Politisations comparées et Mobilisations » de l'IRISSE rassemble ainsi aujourd'hui celles et ceux qui ont pour objet d'explorer, par des enquêtes de terrain ethnographiques et/ou des enquêtes statistiques, les processus de politisation des individus et des groupes ainsi que la dynamique des mobilisations collectives dans des contextes et des espaces nationaux variés. Les recherches qui ont été engagées dans ce programme s'articulent autour de deux grands ensembles de projets. Les premiers s'intéressent aux processus électoraux. Les seconds explorent les modalités de la participation à des mouvements contestataires ou à des processus de crise politique.

Les travaux sur les élections, d'abord, ont été développés par des politistes et des sociologues membres de l'IRISSE (C. Achin, E. Agrikoliansky, S. Bouron, J. Heurtaux, K. Geay, B. Le Grignou, S. Rozier notamment). Dans un contexte d'épuisement des grands paradigmes explicatifs du vote (modèle des variables dites « lourdes » vs modèle de « l'électeur rationnel »), les recherches dans ce domaine se sont renouvelées à la fois par les théories et par les méthodes. D'un point de vue théorique, les travaux menés à Paris-Dauphine ont contribué à la diffusion en France des approches contextuelles du vote qui déplacent la focale d'analyse des individus électeurs vers les contextes et les environnements dans lesquels ils sont immergés : territoires, groupes primaires, espaces d'interactions entre proches (famille, voisins, etc.). En effet, contrairement à l'un des mythes démocratiques contemporains les mieux établis, le vote n'est pas un acte purement individuel, mais aussi, et peut-être surtout, un acte collectif engageant, au-delà de l'électeur lui-même, les groupes dans lesquels il est socialisé tout au long de sa vie. Cette approche, qui retrouve la veine fondatrice de la sociologie électorale anglo-saxonne initiée par P. Lazarsfeld et son équipe, contribue ainsi à relativiser fortement le modèle d'un électeur qui effectuerait un choix électoral uniquement dicté par un calcul coût-avantage. Elle conduit également à complexifier les analyses qui font de la socialisation primaire et de la position sociale le seul ressort des préférences électorales, en invitant à saisir comment ces incitations sociales s'inscrivent dans les environnements ordinaires des citoyens. Du point de vue méthodologique, les travaux menés dans le laboratoire ont contribué à diffuser de nouveaux outils de recherche. À la différence des travaux qui privilégient une approche exclusivement quantitative et atomistique des comportements électoraux, recourant à des sondages d'opinion réalisés sur des échantillons aléatoires, les recherches menées par les chercheurs de l'IRISSE mobilisent au contraire des analyses qualitatives (entretiens approfondis, observations de type ethnographique), centrées sur des territoires clairement identifiés (circonscriptions électorales, communes). Si les analyses quantitatives sont utilisées, elles sont opérationnalisées à propos de sources originales (listes d'émargement par exemple) ou dans le

cadre de sondages « sortie d'urnes » permettant d'identifier clairement les spécificités des territoires socio-politiques étudiés.

Plusieurs publications collectives illustrent les recherches produites depuis une décennie à Paris-Dauphine sur ce thème. La première, chronologiquement, était inscrite dans le cadre d'un projet financé de 2007 à 2010 par l'ANR (programme PAECE), visant justement à promouvoir les analyses contextuelles du vote. L'ouvrage *Paris en campagne*, rend compte d'une analyse comparée des élections municipales de 2008 dans deux arrondissements parisiens sociologiquement et politiquement contrastés (le 10^e et le 16^e arrondissement) et aborde principalement la dynamique des mobilisations électorales (comment mobilise-t-on dans des contextes socio-politiques hétérogènes ?). Cette recherche manifeste en outre l'intérêt spécifique de certains chercheurs pour le vote des classes supérieures et la politisation dans les « beaux quartiers ». Un second ouvrage, *Les sens du vote* (Collectif SPEL¹, paru en 2016 aux Presses universitaires de Rennes), restitue les résultats d'une enquête par entretiens approfondis et répétés menés entre 2011 et 2013 auprès d'un panel d'électeurs qui montre que c'est en étudiant au microscope les trajectoires et les votes qu'on peut rendre compte des logiques qui en sont au principe : poids de l'insertion dans des groupes sociaux prescripteurs de pratiques (voter ou s'abstenir ?) et de préférences (pour qui voter ?) ; mais aussi influence déterminante des trajectoires biographiques dont les logiques déteignent sur les préférences politiques et leurs évolutions. Plusieurs enseignants chercheurs de l'Université Paris-Dauphine ont également participé à un ouvrage collectif consacré aux rapports ordinaires au politique (ouvrage publié aux Presses universitaires du Septentrion en 2016 co-coordonné par Sabine Rozier). Depuis 2016 (et jusqu'en 2020), l'IRISSE pilote un projet financé par l'ANR (le projet ALCoV-Analyses localisées et comparatives du vote), qui rassemble plus de 30 doctorant.e.s et chercheur.e.s issu.e.s de 5 laboratoires français, qui ont exploré tout au long de l'année 2017, huit communes françaises en interrogeant des électeurs et en observant les campagnes électorales (de la présidentielle et des législatives). Cette recherche vise à approfondir l'analyse de l'encastrement social des rapports au vote, notamment du vote Front national, en mettant plus particulièrement la focale sur la manière dont les réseaux de sociabilité (amicaux, professionnels, de voisinage, etc.) façonnent l'appréhension du monde social et les rapports au politique.

Le second champ de recherche couvert par le programme « Politisations comparées et mobilisations » recouvre les travaux qui portent sur la reconfiguration de la participation politique en contexte démocratique, autoritaire ou de transition, à travers des cas nationaux variés et comparés. Depuis les années 2000, les chercheur.e.s de l'IRISSE ont ainsi développé des enquêtes de terrain sur ces processus, tant en France qu'au Moyen-Orient (Tunisie, Égypte, Turquie), en Russie

¹ Le collectif SPEL comprend 11 chercheur.e.s issu.e.s de 4 laboratoires de recherche français, dont 5 membres de l'IRISSE : E. Agrikoliansky, B. Le Grignou, K. Geay, J. Heurtaux et S. Rozier.

...

et aux États-Unis, qui renouvellent la façon dont sont pensés les changements de régime politique et le rôle de l'engagement individuel et des mobilisations collectives dans ces changements. La comparaison est ainsi mise au cœur de l'analyse politique.

Des chercheur.e.s ont exploré les façons dont les acteurs sociaux contribuent à définir ou à influencer les politiques publiques, via des canaux différents et dans des contextes nationaux variés et comparés. Ainsi, S. Vasilenko analyse dans le cadre de son doctorat les modalités de politisation et de dépolitisation des activités d'une ONG d'aide aux migrants dans le contexte russe contemporain, dans ses rapports aux institutions d'État. N. Poirel explore les conditions d'émergence des mouvements animalistes contemporains en France, tandis que S. Archat s'intéresse aux modalités de construction du harcèlement de rue en problème public dans la France contemporaine et en la comparant au cas étatsunien. Des recherches sont poursuivies sur la politisation du genre à travers l'engagement féministe et la mise en œuvre de politiques d'égalité des sexes en France et à l'étranger. Dans ce cadre, A. Jacquemart a notamment codirigé le numéro d'*Actes de la recherche en sciences sociales* intitulé « L'irrésistible institutionnalisation de la cause des femmes » (2018). R. Alsheltawy étudie dans son travail de thèse les conditions de la mobilisation de femmes de ménage revendiquant un statut professionnel en Égypte aujourd'hui. Elle identifie les logiques politiques, genrées et sociales, mais aussi locales, nationales et globales qui cadrent ces mobilisations apparues dans le sillage des printemps arabes.

Les mobilisations peuvent parfois prendre une tournure révolutionnaire ou bouleverser les régimes politiques. Plutôt que d'en rester à une analyse macrosociale et déterministe de l'histoire, des chercheur.e.s de l'IRISSO ont ainsi étudié les origines et les développements des processus révolutionnaires dans une perspective qui articule temps court et temps long, conjoncture et structure. Les modalités pratiques du changement de régime et la recomposition des élites politiques et économiques dans le monde arabe ont été au cœur des travaux de recherche (J. Heurtaux, C. Hmed, H. Ben Hamouda). C. Hmed a lancé, dans le cadre d'une recherche individuelle une enquête sur les genèses de la révolution tunisienne et sur les situations et issues révolutionnaires depuis 2011. Plusieurs publications ont été issues de cette recherche, dont le numéro 211-212 de la revue *Actes de la recherche en sciences sociales* consacré aux « Révolutions et crises politiques au Maghreb et au Machrek » (2016). Il a également animé une recherche collective et comparative sur l'analyse des mobilisations et des démobilisations en Tunisie et en Égypte depuis 2013, dans les mouvements de gauche en particulier (2014-2016). Les travaux de recherche du laboratoire ont été présentés dans le cadre d'un *workshop* international organisé au sein de PSL en avril 2017, portant sur les mouvements sociaux dans le monde arabe. D'autres chercheurs, comme B. Gourisse, ont consacré leurs recherches à la sociologie politique des régimes dits "hybrides" en analysant, dans



une perspective croisée, la constitution et la structuration des champs du pouvoir nationaux dans les pays de l'espace post-ottoman. Deux programmes de recherche collectifs de grande envergure ont été lancés, le premier sur "La production du politique dans l'Empire ottoman" (PROPOL), le second sur les "Espaces, réseaux et circulations. Les reconfigurations du politique en Turquie" (POLTUR). Les chercheur.e.s impliqué.e.s dans ce second programme analysent ainsi les reconfigurations des réseaux et des espaces politiques en Turquie (structuration des réseaux du pouvoir et de leur contestation, circulations transfrontalières, dynamiques internationales).



Policy Analytics : aide à la décision dans la conception, la mise en œuvre et l'évaluation des politiques publiques

Policy Analytics: Decision-Aiding for the Design, Implementation and Evolution of Innovative Public Policies

Policy Analytics is a new interdisciplinary field promoted in Dauphine University by LAMSADE. Building a bridge between computer science, nature and social sciences and philosophy, it aims at elaborating a theoretical and methodological frame to improve decision-aiding for innovative public policies. Like classical decision-aiding, the scientific inquiry is problem oriented and answers to an external demand. Unlike classical decision-aiding, the heterogeneity of concerned actors is important, in interest, ability to analyse data, readiness to accept compromises: legitimacy issues are central, and have to be solved thanks to transparent procedures where values, data and knowledge are openly discussed. The group has been working since 2013 and produced different projects on management of renewable resources, formal models of decision-aiding for public decision, identification of lacks in current procedures, and started to promote questions of social responsibility of algorithms.

↓ Le LAMSADE développe depuis 2013 un nouveau champ de recherche à l'interface entre l'informatique, les sciences sociales et de la nature et la philosophie : la *policy analytics* (qui se traduit en français comme dans le sous-titre). Ce travail correspond à la construction d'un champ contenant à la fois des cadrages théoriques et des outils formels, afin d'améliorer l'aide à la décision en politique publique. Le point de départ du questionnement est issu de recherches en aide à la décision, tant théoriques que méthodologiques, qui ont permis de rendre compte d'un vide conceptuel et pratique face à l'évolution de la demande sociale - qui se révèle de plus en plus forte - d'aide à la conception et à l'innovation dans le domaine des politiques publiques. Cette demande peut être expliquée par deux éléments de contexte. On peut constater que les crises multiples (environnement, sécurité, finance globale) qui agitent nos sociétés de plus en plus complexes créent une forme d'urgence, et augmentent les inquiétudes et la demande de soutien méthodologique de la part d'institutions qui ont des responsabilités publiques. En outre, cette grande complexité et l'accélération technologique semblent entrer en contradiction avec l'exigence que pour les décisions publiques, soient prises démocratiquement, dans la mesure où les asymétries épistémiques sont de plus en plus importantes, ce qui augmente fortement l'opacité. On note enfin la mise en cause du système représentatif par les citoyens qui, elle aussi, force à la construction de nouveaux outils dans les systèmes démocratiques.

Il s'agit dans ce courant de se démarquer des paradigmes de l'*evidence-based policy making*. Si cette approche permet de prendre en compte de grandes quantités de données dans l'arbitrage entre des politiques, elles se basent sur des hypothèses réductionnistes, et en particulier dans l'ignorance du fait que ce qui fonde une décision n'est pas l'information disponible mais l'ensemble des valeurs des décideurs. S'appuyant sur des corrélations brutes, l'EBPM n'interprète jamais les contenus, et ignore les systèmes de valeurs des acteurs concernés par les données mobilisées. Sur cette base, il devient impossible de prendre en compte l'émergence des valeurs en fonction des informations disponibles, de comprendre comment des acteurs hétérogènes convergent sur ces valeurs et peuvent donc décider en commun et donner du sens à leur choix. Cette ignorance a bien sûr un impact très négatif sur les réactions des concernés face à la politique établie et de façon générale ce que l'on appelle l'acceptabilité des politiques. En outre, l'EBPM n'offre guère de pistes positives pour concevoir les politiques elles-mêmes. En sus, trois éléments essentiels font que l'on ne peut appliquer directement les outils d'aide à la décision classique, déjà connus pour le *Business Analytics*. En premier lieu, les problèmes qui se posent dans le cadre d'institutions publiques sont rarement bien structurés. Ainsi, l'enjeu est d'abord situé dans la structuration du problème et la conception d'alternatives crédibles. En second lieu, les institutions publiques, qui interagissent nécessairement dans chaque mise en place de politique (entre niveaux de responsabilité par exemple), sont très hétérogènes en

traitement d'informations et de données, dont la circulation doit être pensée. Et enfin, les processus de décision publique sont soumis à d'importantes exigences de légitimité et de sens.

Le défi est ainsi de construire une démarche originale capable de proposer des outils efficaces (face à la quantité et qualité d'information disponible) mais aussi capable de répondre aux exigences de sens, de capacité opérationnelle et de construction de légitimité. En se basant sur une approche par problème, qui implique un fort ancrage multi-disciplinaire, l'approche produit une vision de l'aide globale, qui ne s'arrête pas à un maillon de la chaîne conceptuelle mais pense les travaux de recherche les uns par rapport aux autres. Ceci permet de construire de nouveaux objets de recherche, de nouvelles méthodes, mais surtout une nouvelle façon de considérer les recherches entreprises dans le contexte - tout comme l'aide à la décision classique permet d'utiliser, dans une logique de construction de savoir finalisée, des approches et résultats fortement hétérogènes, existants parfois dans d'autres champs (graphes, théorie des jeux) qui ne les utilisent pas forcément en produisant la même interprétation. Nous ne souhaitons pas construire une méta-théorie qui engloberait les différentes recherches formelles ou empiriques entreprises, mais un positionnement épistémologique d'usage des techniques, au sein d'un cycle collectif de recherche en vue d'applications pour la décision publique. C'est le terme « *Analytics* » qui rend compte de cette vision large qui concerne la conception d'outils intellectuels et pratiques pour rendre un pilotage plus « intelligent ».

Le projet *Policy Analytics*, encore dans sa phase de développement, a déjà produit un certain nombre de résultats. Deux thèses ont été soutenues sur la gestion concertée des ressources naturelles en eau, dont une qui a introduit la notion de menace sur les ressources qui sera ultérieurement développée, et quatre thèses sont en cours : l'une construit une analyse du système de financement de la recherche avec des données très originales incluant les projets rejetés ; une autre est une aide à la décision sur la gestion de crise d'un accident nucléaire dans la rade de Toulon ; une autre, en lien avec les hôpitaux lyonnais sur le déploiement et l'amélioration de certains outils à grande échelle ; enfin une thèse théorique décrit des cycles de prise de décision dans une population qui interagit dans des espaces d'argumentation. Deux post-doc ont déjà été financés : un abordant la question de la mesure de concepts liés à la résilience, la qualité de vie ou l'attractivité des villes, l'autre sur un test de la théorie C-K pour appliquer aux politiques publiques. Tous ces travaux ont été conçus comme des recherches opérationnelles, ou recherche-action, qui se construisent souvent en deux temps : une étape de participation et de co-construction avec des partis prenants, puis une phase d'analyse des situations, observations et conséquences, afin d'améliorer les outils et méthodes.

...

Plusieurs orientations fortes se dégagent dans les recherches du moment et dans les projets à venir. La légitimité des décisions publiques est étudiée, en particulier dans les processus de prise de décision environnementale, en contexte démocratique et face à de grandes incertitudes scientifiques - et nous produisons des analyses, des modèles et des normes de comportement pour les experts. Le rôle de l'argumentation et des arènes de discussion dans les problèmes environnementaux est apparu comme central, et comme un manque des procédures de mise en politique contemporaines. Proche de cette question a été organisée une école thématique sur l'e-democracy et les outils de délibération et de choix pour une communauté à distance. Une autre question centrale est celle de la responsabilité sociale des algorithmes, en particulier dans cette période où l'usage des données devient si omniprésent, et où de nombreuses situations d'arbitrages sont dorénavant confiées avant tout à des machines. Cet axe permet de se rapprocher de chercheurs de l'IRISSO qui organisent un séminaire sur «algorithme et droit(s)». Enfin, l'intégration dans cette vision analytique du rôle des méthodes participatives, et les cadres qui les rendent possibles, sera traité dans un projet de réunion de trois communautés pratiquant *Policy Analytics*, en collaboration avec des collègues spécialistes de gestion concertée à l'Irstea Montpellier et à l'Université de Camberra.



↓ Le laboratoire LAMSADE a réuni au cours des quinze dernières années une équipe multidisciplinaire qui compte, entre autres, des informaticiens, des mathématiciens, des philosophes et des économistes. La théorie des jeux ainsi que le choix social se trouvent à la croisée des chemins de ces disciplines. Il est donc sans surprise que ces deux axes de recherche ont trouvé leur place aussi bien au LAMSADE qu'à l'Université Paris-Dauphine, dont la spécialité est la science des organisations et des marchés.

La théorie des jeux s'intéresse aux interactions stratégiques. Le terme «jeux» peut induire en erreur car cette théorie est bien plus vaste qu'une aide à la décision pour des environnements récréatifs¹. Cette théorie s'intéresse aux situations où (i) plusieurs personnes (qu'on appellera joueurs) font face à une décision individuelle mais (ii) où les conséquences de chaque décision individuelle dépendent des choix faits par tous les joueurs. Il en résulte que le choix individuel est loin d'être évident. La définition de jeu étant donc assez vaste, un grand nombre d'institutions peuvent être analysés sous cette perspective. Si les marchés et enchères sont deux exemples phares, l'analyse des systèmes électoraux rentre également dans cette catégorie. Et c'est précisément l'analyse des systèmes électoraux qui se trouve au centre du choix social. Le choix social est, en grande partie, une discipline normative qui essaie de comprendre quelles sont les institutions qui satisfont certaines propriétés. La littérature classique en théorie du choix social est essentiellement le fait d'économistes. Dans la plupart de ces travaux on cherche des résultats «génériques», par exemple montrant qu'il est impossible de trouver une méthode d'agrégation respectant une conjonction de propriétés désirables ou donnant des conditions qu'une unique méthode d'agrégation est susceptible de satisfaire simultanément. On traite ainsi la décision collective de manière indépendante de l'objet de la décision, de la taille du groupe devant prendre la décision et de la nature des objets à évaluer.

Ces aspects sont néanmoins importants. D'une part, ils peuvent conditionner la nature des conditions que l'on souhaite imposer à une méthode d'agrégation (Conseil de Sécurité de l'ONU vs une élection nationale). D'autre part, travailler sur un problème de décision collective «générique» conduit souvent à ignorer la question du calcul effectif. Si la seule méthode raisonnable d'un point de vue théorique est extrêmement peu efficace d'un point de vue algorithmique, on peut douter de la portée véritable du résultat théorique. L'étude de ces questions est au cœur des recherches menées au LAMSADE, que l'on peut regrouper sous l'étiquette de choix social computationnel. Ce domaine, récent, apporte un nouvel angle d'analyse à des problèmes bien connus des économistes et des mathématiciens. À la base de son développement se trouve l'observation suivante : l'utilisation des algorithmes comme outils d'aide à la décision se généralise. Parmi les nombreux champs d'applications, nous en présentons ici trois² :

...

Théorie des jeux et choix social computationnel

Game Theory and Computational Social Choices

This article summarizes the main findings of the LAMSADE research unit dealing with game theory and social choice in the recent years. Among the different outputs, the department has clearly contributed to the international development of computational social choice.

¹ Le «game solving» ou la mise en place d'algorithmes qui jouent à des jeux comme le Go a également une place importante au LAMSADE et ne relève pas des outils de la théorie des jeux. Voir le chapitre *Jeu de Go, Shogi, Sudoku : les «champions du monde» de la recherche Monte-Carlo* par T. Cazenave dans cet ouvrage.

² Les trois champs présentés ici ne sont que des exemples : l'analyse des coalitions ainsi que l'agrégation des jugements font également partie des centres d'intérêt de notre centre de recherche.

...

l'allocation des ressources, les méthodes d'appariement et les règles de vote.

L'*allocation des ressources* fait partie des domaines traditionnels de la science économique. L'objectif est de comprendre comment attribuer des ressources entre plusieurs agents ayant des demandes différentes, comme c'est par exemple le cas dans les problèmes de faillite. Parmi les nombreux modèles, celui du partage de gâteau³ (*Cake division*) illustre bien une situation économique pour laquelle un algorithme peut fournir une solution claire et équitable. La problématique est la suivante : diviser un gâteau entre deux joueurs de manière équitable. Ceci suppose tout d'abord de définir la notion d'équité d'une allocation. On peut penser naïvement que la réponse à cette question est triviale car il suffit d'attribuer une moitié du gâteau à chacun des joueurs. Malheureusement, la question est loin de l'être car une allocation équitable doit dépendre des préférences des deux joueurs alors que celles-ci ne sont pas connues a priori. Par exemple, si le gâteau n'est pas homogène, pourquoi devrait-on attribuer la moitié du gâteau à chaque joueur ? La solution algorithmique à ce problème est à la fois élégante et pertinente. Le joueur n°1 divise le gâteau en deux morceaux. Son adversaire, le joueur n°2, choisit la part du gâteau qui lui convient le mieux, l'autre part revenant au joueur n°1. Cette solution a de nombreux avantages. En particulier, il est de l'intérêt du joueur n°1 de bien calibrer la division qu'il propose à son adversaire, et ceci mène à des allocations équitables.

Un deuxième domaine où l'algorithmique est particulièrement sollicitée de nos jours est celui de l'affectation des élèves aux établissements scolaires⁴. Les algorithmes sont souvent l'objet de critiques, comme illustré par exemple par la procédure d'admission post-bac (APB), l'algorithme en charge ces dernières années de l'affectation des élèves de terminale aux établissements du supérieur. Ces algorithmes sont dits d'*appariement* ; la première des contributions dans ce domaine date des années 60. Elle est due à D. Gale et L. Shapley qui ont proposé un algorithme de *stabilité des mariages*. Derrière ce nom surprenant se cache un modèle qui a été utilisé pour résoudre de nombreux problèmes concrets. Pour illustrer son fonctionnement, considérons une situation d'affectation élèves-établissements scolaires. L'algorithme demande aux étudiants leurs préférences sur les établissements et fait de même avec les établissements. En se basant sur ces informations, il détermine quel étudiant sera affecté à quelle formation. Les algorithmes utilisés garantissent que l'appariement obtenu soit stable en ce sens qu'il n'existe pas un élève e et un établissement E tels que e préfère E à l'élément qui lui est associé, et E préfère e à l'élément qui lui est associé. Les allocations des médecins et des résidences universitaires, entre autres, font également partie des applications possibles de ce type d'algorithmes.

Le troisième champ d'application qu'on se doit de souligner est *le vote*. Ainsi que cela a été mis en évidence, la manière de voter a une incidence directe

sur le résultat du vote. La méthode selon laquelle un groupe prend une décision n'est en effet pas neutre. Si l'on tente de définir une « volonté » du groupe, il faut se souvenir que le système de vote est le langage avec lequel il s'exprime : il n'est donc pas surprenant que le langage ait une importance. Que se passerait-il si, lors des prochaines élections présidentielles, on autorisait les électeurs à classer ou noter les différents candidats ? Qu'en serait-il s'ils pouvaient voter en même temps pour plusieurs candidats ? Les recherches sur ce sujet, autant théoriques qu'appliquées, tentent de prédire les comportements des électeurs et de concevoir de nouvelles approches. La problématique de la participation électorale dans les référendums est aussi abordée par nos chercheurs.

Témoigne du dynamisme du LAMSADE dans ces domaines (théorie des jeux et choix social), la médaille d'argent attribué à J. Lang sur ses recherches situées « à la croisée entre intelligence artificielle, informatique théorique et économie mathématique, où [il] fait figure de pionnier ». Le foisonnement lamsadien dans ces domaines explique sans doute les nombreux projets de recherché attribués à ses membres dans les dernières années sur ces sujets, comme ceux portés par D. Bouyssou (ANR COMSOC 2009-12), T. Cazenave (ANR EXPLO-RA 2009-13), L. Gourvès (ANR COCA 2009-13), J. Lang (ANR COCORICO 2014-18) et R. Sanver (PSL-MIFID 2017-19). L'organisation du colloque SING 2013 par S. Moretti dans les locaux de Dauphine et celle de *l'International Conference in Game Theory* à l'Université de Stony Brook (États-Unis) ainsi que le séminaire hebdomadaire de Théorie des Jeux organisé par R. Laraki sont également le signe du rayonnement de notre laboratoire au sein de la communauté scientifique.

Déterminer des méthodes de partage plus justes, déceler les algorithmes d'appariement les plus transparents ou trouver des méthodes de vote plus consensuelles font donc partie des sujets auxquels s'intéresse le LAMSADE. L'importance de ce domaine de recherche va de soi quand on observe l'intérêt sociétal grandissant sur les algorithmes, leurs conséquences, leurs avantages et leurs faiblesses, au fur et à mesure que leurs applications sont de plus en plus répandues. Le LAMSADE, dont la diversité des thématiques est son principal atout, semble donc bien préparé à jouer un rôle clé dans ces thématiques dans les années à venir.



³ Voir Moulin H., Foreword, *Computational Social Choice*, Cambridge University Press, 2016, avec Brandt F., Conitzer V., Endriss U., Lang J. et Procaccia A.

⁴ Voir Klaus B., Manlove D.F. et Rossi F., "Matching under Preferences", *Computational Social Choice*, Cambridge University Press, 2016, avec Brandt F., Conitzer V., Endriss U., Lang J. et Procaccia A.

Construction automatique d'applications Internet complexes

Automatic Development of Complex Internet Service-Based Applications

The Web Services research team of LAMSADE worked during the last few years at proposing techniques for developing Internet services-based applications, considering non-functional properties, such as transactional properties, execution time, and other quality of service properties. We have defined a model to formalize transactional properties of services. Based on this, we have proposed new approaches to optimize the quality of service of the transactional composite service. We have also tackled the service execution problem, and have defined a model to support self-healing (automatic failure detection and recovery) composite service executions while maintaining QoS requirements in presence of failures.

↓ Depuis 2006, nous nous sommes intéressées au problème de création automatique d'applications sur le Web de bonne qualité et fiables.

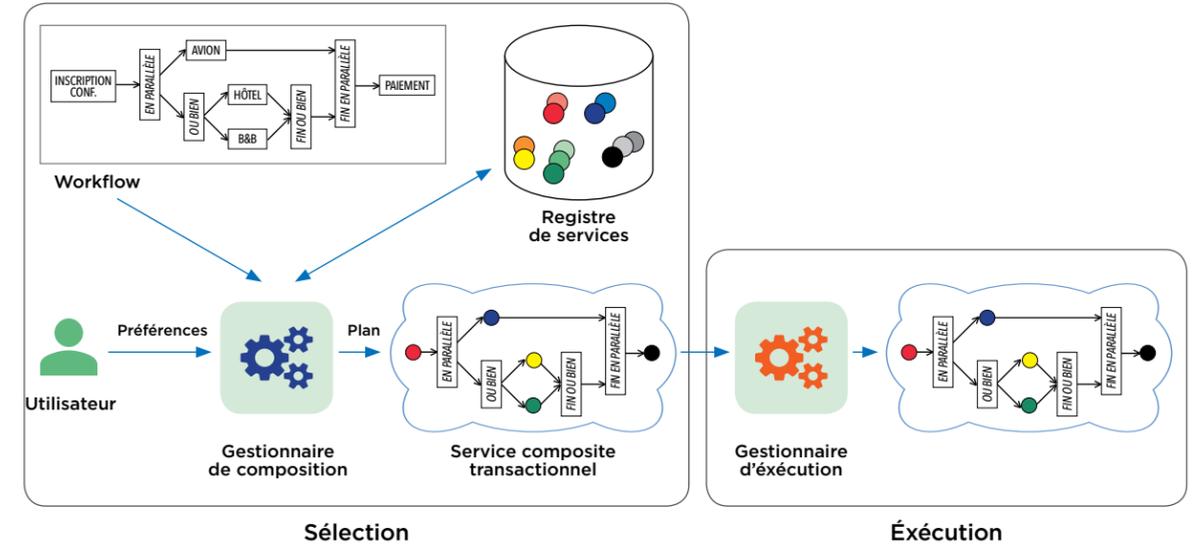
Supposons qu'une entreprise souhaite développer une application sur le Web permettant aux utilisateurs de planifier une mission en s'inscrivant à une conférence et en réservant le voyage et le logement associés. Développer ce type d'applications peut s'avérer très difficile, notamment à cause de la multiplication des combinaisons possibles des listes de conférences, des compagnies aériennes et des offres de logement disponibles sur le Web. En effet, plusieurs organisations publient sur le Web des services offrant diverses fonctionnalités. Par exemple, *flightaware* offre un service Internet permettant d'avoir des informations sur les vols de compagnie aériennes. Un service Internet peut donc être vu comme un logiciel autonome et indépendant pouvant dynamiquement être découvert et exécuté à travers le Web. Il peut offrir aussi bien une fonctionnalité simple telle que l'accès en lecture/écriture à des données, que des fonctionnalités plus complexes, telles que la planification d'une mission. Il arrive, très fréquemment, que plusieurs services Internet offrent les mêmes fonctionnalités. Pour réaliser la réservation d'un voyage, par exemple, un client peut choisir les services de plusieurs compagnies aériennes. Ces services se distinguent par des critères de *qualité de service*, comme par exemple le prix à payer pour utiliser le service ou le temps de réponse du service. Ils se distinguent également par leurs propriétés *transactionnelles*, de manière simplifiée la possibilité que les services offrent ou non l'annulation des effets de leur exécution, par exemple d'annuler l'achat d'un billet d'avion.

Le nombre de services disponibles augmente de jour en jour. Pour connaître la liste des services Internet disponibles, ces derniers sont décrits dans des annuaires, appelés *registres de services*. Par exemple, le registre *programmableWeb* offrait, en juin 2018, l'accès à plus de 19.000 services dont 147 rien que pour des réservations de billets d'avion, chacun développé par différentes organisations et offrant diverses valeurs de qualité de service.

Développer une application Internet basée sur des services crée donc de nombreux problèmes de recherche ouverts : quels services choisir pour quelles fonctionnalités et avec quelle qualité de service (découverte), comment s'assurer que ces services fonctionnent correctement ensemble (composition), et comment gérer les pannes des services durant l'exécution de l'application (exécution fiable) ?

La découverte correspond à l'identification des services capables d'atteindre un objectif donné. La composition de services permet de regrouper au sein d'un *tout* cohérent différents services afin de concevoir un service de plus haut-niveau offrant des fonctionnalités plus complexes. Un service composé de plusieurs services est dit composite. Une exécution de service (composite ou non) est fiable lorsqu'elle est tolérante aux pannes. Cela signifie que lorsqu'un service, composant d'un service

Figure 1
Les principales étapes de la création d'une application Web basée sur des services Internet.



composite, tombe en panne, ou lorsque la valeur de la qualité de service change (par exemple le temps d'exécution devient trop important), il faut choisir la meilleure stratégie de reprise après panne (par exemple ré-exécuter le service défaillant ou remplacer le service défaillant par un service similaire).

La création d'une application basée sur des services Internet peut être décomposée en 3 étapes (voir Figure 1) : la spécification du service composite souhaité, la sélection des services composants et finalement l'exécution du service composite résultat de la sélection.

Figure 1

Pendant l'étape de spécification, l'utilisateur décrit le service composite souhaité ainsi que ses propriétés (par exemple temps d'attente maximum et possibilité d'annulation), en utilisant généralement un modèle, appelé *workflow*, qui décrit les fonctionnalités souhaitées pour le service composite. Dans la Figure 1, le *workflow* (situé en haut à gauche) indique que l'utilisateur souhaite planifier une mission avec quatre services : l'inscription à une conférence, l'achat d'un billet d'avion, la réservation d'une chambre dans un hôtel ou *Bed & Breakfast* et le paiement. Il précise par ailleurs son temps d'attente maximal et son souhait de pouvoir tout annuler. Dans nos travaux¹ de recherche, nous avons proposé un modèle formel pour décrire les services et leurs propriétés transactionnelles.

Pour l'étape de sélection, il faut un algorithme, appelé gestionnaire de composition, qui permet de choisir automatiquement, parmi tous les services publiés dans un registre, ceux qui remplissent les souhaits de

1 J. El Haddad, M. Manouvrier, M. Rukoz (2010), TQoS : Transactional and QoS-Aware Selection Algorithm for Automatic Web Service Composition, IEE TSC : 3(1).

...

l'utilisateur, s'il y en a. Par exemple, dans la Figure 1 ; les services sont regroupés dans le registre par fonctionnalité : une couleur représente une fonctionnalité et les différentes nuances d'une même couleur correspondent aux différentes propriétés transactionnelles et de qualité de service. Le gestionnaire sélectionne un service pour chaque fonctionnalité du *workflow*, de telle sorte que le service composite résultant satisfasse au mieux les souhaits de l'utilisateur. Dans nos travaux de recherche, nous avons proposé des approches originales pour la sélection automatique des services Internet basée à la fois sur les propriétés de qualité de service et les propriétés transactionnelles. Nos approches permettent de créer un service composite transactionnel qui optimise la qualité de service afin de satisfaire au mieux les préférences de l'utilisateur.

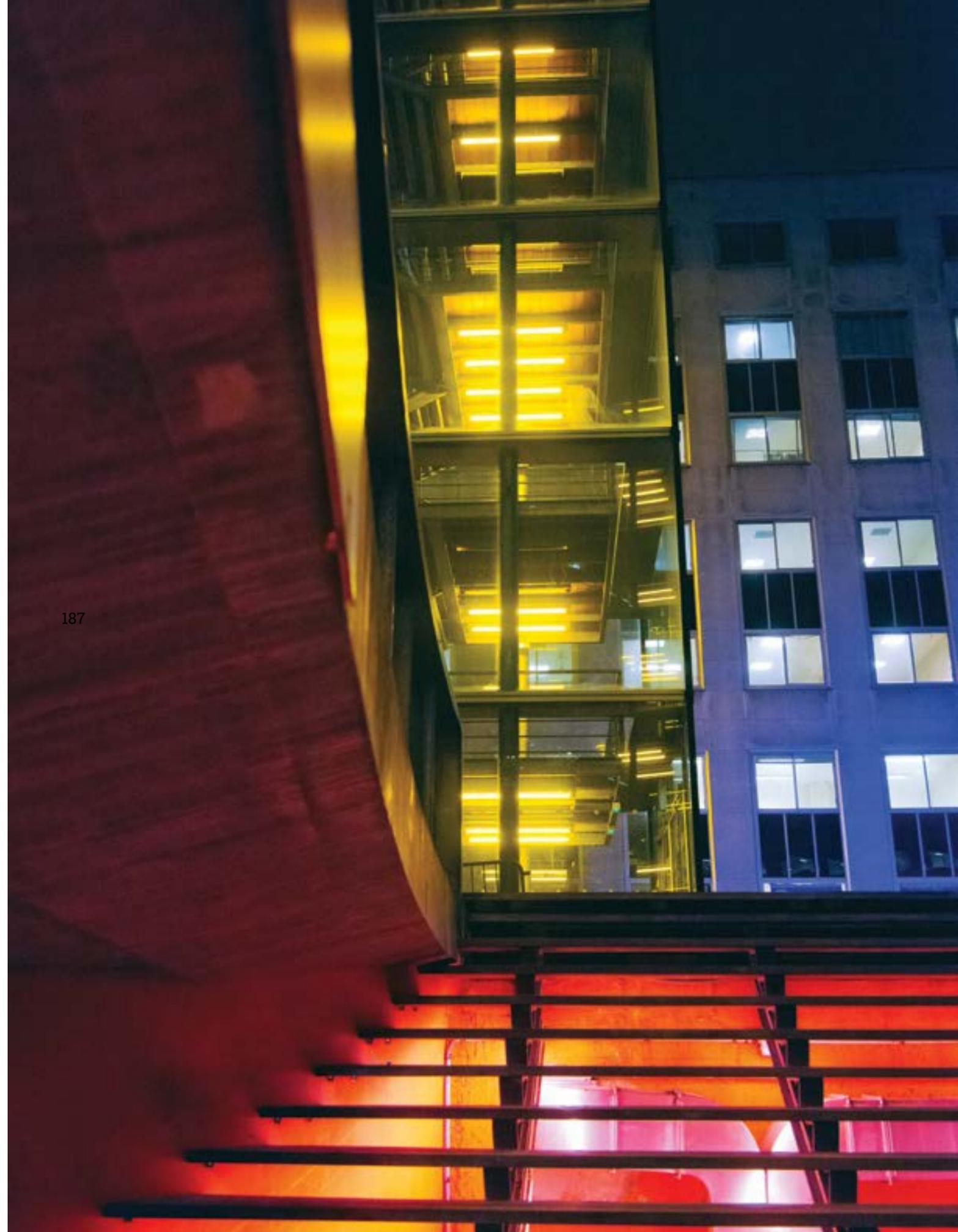
Finalement, lors de la dernière étape, un gestionnaire d'exécution lance le service composite obtenu à l'étape de sélection. Ce gestionnaire doit garantir les propriétés transactionnelles et de qualité de service souhaitées par l'utilisateur, ainsi qu'assurer une exécution fiable du service. Dans le cadre d'une coopération internationale avec l'Université Simon Bolivar au Venezuela, nous² avons proposé différents mécanismes de reprise après panne lors de l'exécution d'un service Internet composite transactionnel. Nous avons construit des mécanismes permettant d'analyser le contexte d'exécution pour décider dynamiquement de la meilleure stratégie à suivre en cas de panne.

Nos travaux offrent des solutions intelligentes et robustes pour l'exécution des services composites Internet afin d'éviter les impacts indésirables en cas de dégradation des performances de qualité de service ou des défaillances des composants. Sur la base des premiers résultats³ que nous avons obtenus dans le domaine des objets connectés, il est possible d'adapter nos approches à des contextes spécifiques tels que celui des bâtiments intelligents par exemple, où des milliers de capteurs, reliés à des services Internet, sont connectés pour collecter et analyser les données afin de prendre des décisions en temps réel. En raison de la nature peu fiable et dynamique des capteurs et de leur environnement, leur qualité de service peut en effet changer avec le temps, des pannes peuvent apparaître, nécessitant par conséquent des mécanismes de contrôle d'exécution tels que ceux que nous avons proposés dans nos travaux.



² Y. Cardinale, J. El Haddad, M. Manouvrier, M. Rukoz (2019), *Fuzzy ACID Properties for Self-adaptive Composite Cloud Services Execution*, Concurrency and Comp. : Practice and Exp. : 31(2).

³ R. Angarita, M. Manouvrier, M. Rukoz (2016), *An Agent Architecture to Enable Self-healing and Context-aware Web of Things Applications*, IoTBD Conf.



La quête du Graal en informatique théorique et le chemin tortueux de la complexité paramétrée y menant

The Holy Grail of Theoretical Computer Science and a Winding Trail toward it

Algorithms are an integral part of modern technology. An algorithm is a procedure which solves a problem. Ideally, we want an algorithm that computes an optimal solution efficiently. However, most realistic computational problems are “hard” in the sense that an algorithm achieving both optimality and efficiency is “unlikely” to exist. It is one of the major open questions in mathematics: do these problems allow for such an ideal algorithm “for sure”. For those problems, computer scientists have developed ways to cope with this hardness by relaxing the two requirements. By approximation algorithms, we do not expect to compute an optimal solution but a solution close to optimality, in a satisfactory way. Parameterized complexity relaxes the efficiency criteria, and aims for efficiency with respect to “fine-grained” analysis. Members of LAMSADE have been active contributors in both areas, this article focuses on the second one.

↓ LES ALGORITHMES SONT OMNIPRÉSENTS ET FONDAMENTAUX

Un algorithme est une séquence d'instructions indiquant comment résoudre un problème. La méthode d'Euclide permettant de trouver le plus grand diviseur commun entre deux entiers est un algorithme. Une recette peut être considérée comme un algorithme : il s'agit d'une série d'instructions appliquée à des ingrédients (l'entrée de l'algorithme) permettant de produire des spaghettis à la bolognaise (la sortie de l'algorithme). La manière dont votre fil d'actualité Facebook est constitué est le fruit de leurs algorithmes mystérieux. De l'ordonnement de chaînes de production/d'avions/de trains à la création de microprocesseurs, du séquençage du génome à de nouvelles médecines, ce sont des algorithmes qui sont au cœur des avancées technologiques.

LE GRAAL : FAIRE D'UNE PIERRE DEUX COUPS (OU SON IMPOSSIBILITÉ)

Mais, qu'est-ce qu'un bon algorithme ? Existe-t-il des critères permettant de déterminer la qualité d'un algorithme ? Premièrement, un bon algorithme doit produire une solution optimale, ou une solution proche de l'optimale (on veut faire des spaghettis à la bolognaise les meilleurs possible). Deuxièmement, un bon algorithme doit être rapide à exécuter (on ne veut pas faire mijoter la sauce tomate pendant 12 heures). Comme on peut l'imaginer, ces deux aspects sont parfois incompatibles et un compromis doit parfois être réalisé (certains italiens pensent que la « vraie sauce tomate doit être mijotée pendant très très longtemps », un temps que la plupart des non-italiens ne sont pas prêts à attendre).

Un thème central de l'informatique théorique consiste à explorer les limites dans lesquelles la qualité de la solution et l'efficacité de l'algorithme peuvent être atteints simultanément (faire d'une pierre deux coups). D'un autre côté, une longue liste de problèmes existe pour lesquels des centaines d'informaticiens ont échoué depuis des dizaines d'années à atteindre ces deux objectifs simultanément. Ces problèmes sont dits NP-difficiles. Les informaticiens ont découvert qu'un seul algorithme rapide et optimal pour un de ces problèmes NP-difficile aurait un effet domino : ces centaines de problèmes auraient tous immédiatement un algorithme idéal. Peu d'experts pensent que cela arrivera mais pour autant personne n'a réussi à prouver que cela est impossible. Y répondre serait répondre à la question dite *P vs NP*. Elle fait partie des 7 problèmes du millénaire listés par le *Clay Mathematics Institute* avec une récompense de un million de dollars à la clé.

DES ALGORITHMES DÉSIRABLES

Malheureusement, la plupart des problèmes importants sont NP-difficiles. Que faire si on vous demande de concevoir un algorithme pour un tel problème alors que les plus grands experts en informatique théorique ont échoué ? Peut-être qu'au lieu d'un algorithme idéal vous pourriez proposer un algorithme *désirable* ?

Prenons un exemple. Au sein d'un laboratoire d'une contrée lointaine, son directeur cherche à organiser une réunion. Il sait que certaines personnes ont développé des inimitiés et que leur présence simultanée à une réunion empêcherait toute décision. Par conséquent, le directeur du laboratoire cherche à faire venir le maximum de personnes sous la condition qu'aucune personne présente n'ait une incompatibilité avec une autre personne présente dans la salle. Le directeur étant à son poste depuis de nombreuses années, il dispose d'une connaissance sur les inimitiés entre chaque paire de personnes et peut construire un graphe des incompatibilités (comme sur la Figure 1). Dans ce graphe, chaque membre du laboratoire est représenté par un sommet (un cercle). Une arête relie deux sommets s'il y a une incompatibilité entre les deux personnes associées.

Malheureusement, le problème que cherche à résoudre ce directeur est un problème NP-difficile, impliquant l'impossibilité de le résoudre de manière exacte et efficace. Sachant qu'il y a 250 membres dans ce laboratoire, si le directeur cherche à tester toutes les possibilités de compositions de cette réunion pour choisir celle permettant de faire intervenir le plus de personnes, il devra tester $2^{250} \approx 10^{75}$ possibilités (c'est-à-dire un 1 avec 75 zéros ensuite). Le nombre d'opérations est tellement grand qu'il nécessiterait plus de temps que celui écoulé depuis le *Big Bang*.

Alors, le directeur doit-il se résigner à faire une réunion qui se passera mal ? Heureusement, le directeur sait que la réunion n'aura pas de légitimité si plus de 10 personnes n'y participent pas. Il pourrait choisir de repérer les membres perturbateurs de son laboratoire devant être exclus dans tous les cas. Par exemple, une personne en conflit avec 11 personnes ou plus devra être refusée. En effet, si elle n'est pas refusée, il faudrait refuser ses 11 ennemis, ce qui est impossible (dans la Figure 1, c'est le cas d'Eunjung si on ne peut pas refuser plus de 3 personnes dans cette réunion). Lorsque plus aucune personne ne peut être refusée de cette manière, on sait que chaque personne est maintenant en conflit avec au plus 10 personnes. Avec quelques étapes de raisonnements simples supplémentaires, on peut diminuer le nombre d'opérations à $100^{10} = 10^{20}$, un nombre plus raisonnable mais encore un peu trop élevé pour que le directeur puisse utiliser son ordinateur portable et avoir une réponse dans la journée.

Une observation cruciale est que pour chaque conflit entre deux personnes, le directeur devra forcément refuser une des deux personnes impliquées, et ceci tant qu'il reste des conflits (cf Figure 2). En testant pour chaque conflit s'il enlève l'un ou l'autre, le nombre d'opérations est maintenant de l'ordre de $2^{10} \cdot 10\ 000 \approx 11\ 000\ 000$, ce qui est un calcul réalisable en moins d'une seconde, même avec un smartphone.

Nous sommes donc passés d'un algorithme inutilisable en pratique à quelque chose de parfaitement exploitable

...
 grâce à quelques raisonnements simples. Le point critique aura été d'isoler un paramètre que l'on sait être petit en pratique (le nombre de personnes à refuser), et de faire en sorte que la partie exponentielle du nombre d'opérations dépende uniquement de ce paramètre, et non du nombre total de personnes. C'est le principe fondateur de la complexité paramétrée, initiée dans les 90 par Downey et Fellows, et dont l'essor a été rapide (cinq livres sur le sujet, des centaines d'articles, une conférence dédiée, etc.) voir <http://fpt.wikidot.com>. Cet engouement vient du fait que, dans beaucoup de domaines d'application, les problèmes possèdent des paramètres petits et intéressants (Intelligence Artificielle, choix social, bio-informatique,...). Le LAMSADE participe activement à ce domaine de recherche depuis de nombreuses années.

DES PROBLÈMES TRÈS, TRÈS DIFFICILES

Parfois, même un algorithme désirable est impossible à obtenir. Dans l'exemple précédent, supposons que le directeur souhaite que chacun des 250 membres du laboratoire puisse s'exprimer sans que la réunion dégénère à cause d'ennemis présents en même temps. Comme organiser une seule réunion est impossible, il décide d'organiser plusieurs réunions (mais le moins possible) auxquelles tout le monde pourra participer. Comment peut-il savoir si un certain nombre k de réunions est suffisant ? Ce problème est également NP-difficile, et même pour k=3, car cela revient à faire de la coloration de graphe ! Eh oui, organiser des réunions évitant tout conflit est une tâche presque impossible, comme nous l'avons appris d'expérience...

EXPLOITER DES PROPRIÉTÉS DES INSTANCES

Mais alors, que faire ? D'autres angles d'attaque sont envisageables. Supposons qu'il existe dans le laboratoire seulement un petit nombre de personnes, disons trois, étant la source de tout conflit, c'est-à-dire que tous les conflits du laboratoire impliquent une de ces trois personnes (dans la Figure 1, Alexis, Benjamin et Eunjung sont de telles personnes). Alors, on peut essayer toutes les possibilités d'affectation de ces personnes à des réunions, ce qui est un nombre beaucoup plus petit que le nombre total d'affectation pour les 250 membres du laboratoire. Dans ce cas, on dit que le graphe ressemble à une étoile : les membres perturbateurs sont au centre de cette étoile, et tous les autres membres sont les pointes de l'étoile, accrochés à un des centres. Si le graphe est de ce type, alors on peut répondre facilement au problème. La même idée peut être utilisée si le graphe ressemble à un arbre (c'est-à-dire qu'il n'y a pas de cycle de conflits). Plus généralement, lorsque l'instance (tel que le graphe ici) possède de bonnes propriétés sur sa structure, celles-ci peuvent être

exploitées pour concevoir des algorithmes plus efficaces. C'est également une orientation de recherche activement suivie par le LAMSADE.

ÊTRE MOINS EXIGEANT

Récemment, la notion de complexité paramétrée a été liée à celle de l'approximation, une approche permettant d'obtenir rapidement un résultat non exact mais proche de l'optimal. L'alliance de ces deux mondes permet d'obtenir des résultats encore plus proches de l'optimal, au prix d'un nombre d'opérations un peu plus important, ou des résultats positifs pour des problèmes où l'approche exacte échoue et où il n'est pas possible d'obtenir rapidement un résultat, même non exact. Cette approche novatrice et prometteuse est activement suivie par le LAMSADE.

Figure 1
 Exemple fictif des membres d'un laboratoire avec leur relation d'inimitié (arêtes entre leur nom). Dans cet exemple, il faut retirer 3 personnes (ici en gris) pour que la réunion se passe bien.

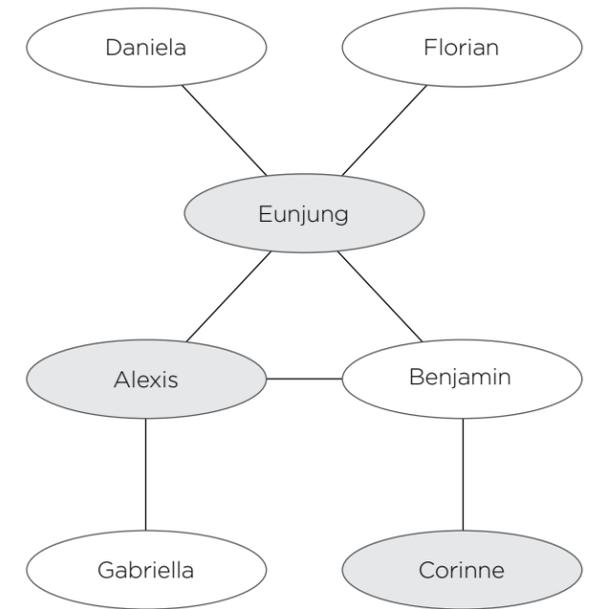
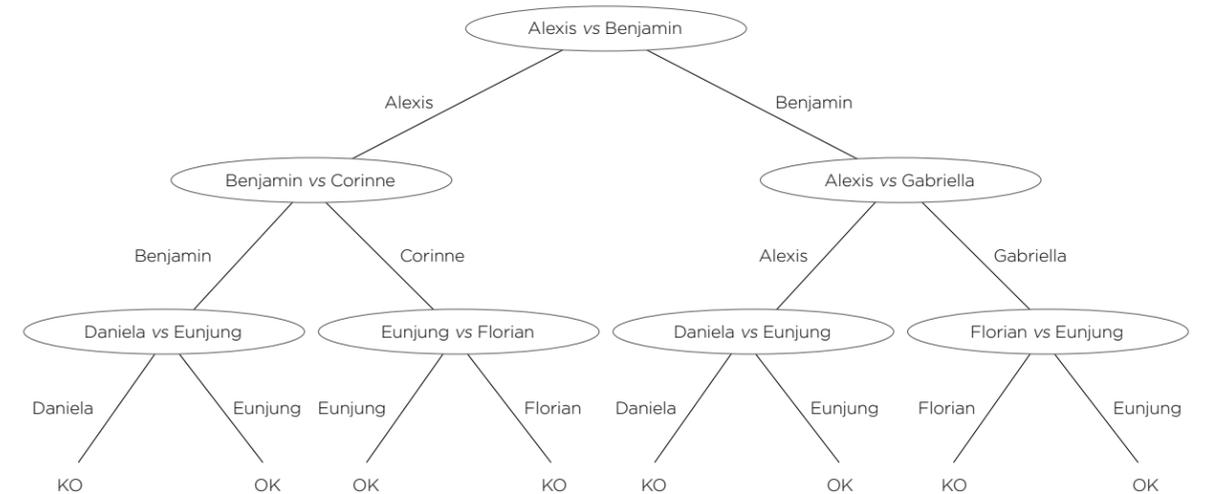


Figure 2
 Arbre de recherche pour déterminer les personnes à exclure de la réunion, sachant que l'on ne peut exclure qu'au plus 3 personnes. Chaque cercle correspond à un conflit restant dans le graphe original, le nom de la personne sur l'arête dans cet arbre de recherche est la personne exclue de la réunion. Après trois étapes, s'il reste des conflits, c'est un échec (indiqué par KO) ; s'il n'y a plus de conflit, c'est un succès (indiqué par OK). Par exemple, après avoir retiré Alexis, Benjamin et Daniela, il reste encore un conflit entre Eunjung et Florian : KO. Cependant, après avoir retiré Alexis, Benjamin et Eunjung il n'y a plus de conflit.



Jeu de Go, Shogi, Sudoku : les «champions du monde» de la recherche Monte-Carlo

Game of Go, Shogi, Sudoku: the “Champions of the World” of Monte Carlo Search

Monte Carlo Search is a fashionable method for games and optimization. For example, Alpha Zero taught itself to play the games of Go, Chess and Shogi from scratch using a combination of Monte-Carlo Search and Deep Learning. Monte-Carlo Search is a general method that can be applied to many games and problems. Each year, Stanford organizes a General Game Playing competition where programs play each other at games they have not seen before. Since 2007, all the winners of the competition use Monte-Carlo Search. Besides games, many optimization problems have been addressed using Monte-Carlo Search. In transportation, the Traveling Salesman with Time windows, bus regulation and vehicles routing problems have been addressed. In bioinformatics, multiple sequence alignment (for DNA, RNA and proteins) and the RNA inverse folding problem are solved by Monte-Carlo Search. In software engineering, applications are automatic test generation and heuristic model checking. In optimization packing, objects of different sizes in a container has been addressed. In program generation, it can discover mathematical expressions in various domains, for example to generate an expression that approximates the implicit volatility in finance. For puzzles application, domains have been Sudoku, SameGame, Morpion Solitaire, Kakuro and generation of crosswords.

↓ La recherche Monte-Carlo est une méthode très en vogue pour les jeux et l'optimisation. L'illustration la plus parlante est le logiciel Alpha Zéro de Google DeepMind qui a permis de dépasser le niveau des meilleurs joueurs professionnels au jeu de Go mais qui a aussi été appliqué avec succès aux échecs et au Shogi (les échecs japonais), battant les meilleurs programmes de ces jeux en combinant recherche Monte-Carlo et apprentissage profond. Alpha Zéro utilise des réseaux de neurones résiduels (Tristan Cazenave, 2017). Une autre application ayant trait aux jeux est le GGP (General Game Playing). L'université de Stanford organise tous les ans une compétition de GGP réunissant de nombreux programmes généraux de jeu. Le principe de la compétition est de faire jouer des intelligences artificielles entre elles à des jeux qu'elles ne connaissent pas à l'avance. Tous les gagnants de la compétition depuis 2007 utilisent la recherche Monte-Carlo. Le LAMSADE est depuis longtemps à la pointe de ce domaine. Jean Méhat et Tristan Cazenave ont été champions du monde de GGP en 2009 et 2010. La recherche Monte-Carlo est une méthode très générale qui donne de bons résultats même si on a peu de connaissances sur le problème à résoudre.

La recherche Monte-Carlo ne se limite cependant pas aux jeux. De nombreux problèmes d'optimisation ont été abordés en suivant cette méthode. Les premières applications ont été sur des puzzles comme le Sudoku ou le Morpion Solitaire (pour ce dernier les méthodes de Monte-Carlo ont permis de battre largement le record du monde humain en 2011, un record qui datait de plus de 30 ans quand Pierre Berloquin avait organisé un concours de résolution dans la rubrique jeux du magazine Science et Vie dans les années 70). La recherche Monte-Carlo a battu des records du monde pour d'autres problèmes comme par exemple la recherche de 'serpents' dans des hypercubes. Le but de cette recherche est de trouver un chemin dans un hypercube dont tous les sommets ont au plus deux voisins dans ce chemin. Ce problème a des applications en théorie des codes, en réseaux et en électricité. Pour un cube de dimension trois ou quatre le chemin optimal se trouve très rapidement, toutefois pour des hypercubes de dimension douze ou treize, on ne connaît pas les solutions optimales car il y a trop de possibilités. La recherche Monte-Carlo qui donne de bonnes solutions sans toutefois en garantir l'optimalité est alors appropriée.

Il existe plusieurs algorithmes de recherche Monte-Carlo. Les plus adaptés pour les jeux sont les algorithmes dérivés d'UCT (pour *Upper Confidence bounds applied to Trees*). Chaque état visité par l'algorithme est mémorisé ainsi que le nombre de fois qu'il a été visité et le nombre de parties aléatoires qui ont été gagnées en partant de cet état. Le principe de base de la recherche Monte-Carlo est de faire des statistiques sur les parties aléatoires (d'où le terme Monte-Carlo évoquant le célèbre casino). Chaque état visité maintient pour chaque coup possible le score moyen des parties aléatoires commençant par ce coup. Le principe d'UCT est de balancer exploration et

exploitation lors du choix du prochain coup à simuler. L'exploitation consiste à favoriser les coups ayant les meilleurs scores moyens alors que l'exploration consiste à essayer les coups ayant de moins bonnes moyennes mais ayant été peu explorés. Pour résoudre le dilemme exploration/exploitation UCT ajoute un terme de regret au score moyen qui est une formule dénommée UCB ayant de bonnes propriétés théoriques et appelée une formule de bandit (d'après les machines à sous appelées bandits manchots en anglais).

Une heuristique qui améliore nettement le niveau des programmes de jeux qui utilisent UCT est l'heuristique RAVE (*Rapid Action Value Estimation*). Le principe est de faire non seulement pour chaque état visité des statistiques sur les parties aléatoires qui commencent par un coup, mais aussi des statistiques sur les parties aléatoires qui contiennent un coup, même si ce coup est très éloigné de l'état pour lequel on tient à jour les statistiques. RAVE commence par suivre les statistiques sur les parties qui contiennent un coup lorsqu'il y a très peu de parties aléatoires passant par l'état. Puis elle passe graduellement aux statistiques sur les coups commençant les parties aléatoires lorsque le nombre de parties aléatoires comptabilisées pour l'état augmente. Une optimisation très simple qui donne de meilleurs résultats pour de nombreux jeux est GRAVE (pour *Generalized RAVE*) telle que développée au LAMSADE (Tristan Cazenave, 2015). Le principe de GRAVE est de retenir comme statistiques pour un état peu visité les statistiques du dernier état de la partie aléatoire contenant plus qu'un nombre fixé de parties aléatoires déjà comptabilisées.

Il est aussi possible de résoudre des jeux en utilisant la recherche Monte-Carlo. Le principe est de noter les états dont tout le sous-arbre a été exploré et de mémoriser le score optimal résultant de l'exploration de ce sous-arbre. Une amélioration de la rapidité de résolution est possible en effectuant des coupes dans l'arbre de recherche lorsque le nombre de scores possibles d'un jeu est plus grand que deux (les jeux comme le Go qui ne peuvent être que gagnés ou perdus ont deux scores possibles alors que les jeux comme les échecs ont trois scores possibles : gagné, perdu et nulle). L'utilisation de coupes pour améliorer la résolution de jeux a été publiée en 2010 par Abdallah Saffidine et Tristan Cazenave.

Un algorithme de recherche Monte-Carlo plus adapté qu'UCT aux jeux à un joueur et aux problèmes d'optimisation est la recherche Monte-Carlo imbriquée (Tristan Cazenave, 2009). C'est cet algorithme qui a établi des records du monde aux 'serpents' dans des hypercubes. Au lieu de maintenir un score moyen pour chaque action possible, la recherche Monte-Carlo imbriquée fait une partie aléatoire par coup possible et retient le coup qui est suivi de la partie aléatoire ayant obtenu le meilleur score. La recherche est imbriquée car il existe plusieurs niveaux de recherche : chaque niveau de recherche utilisant le niveau inférieur pour faire des parties aléatoires. Il est important pour cet algorithme

...

de mémoriser la meilleure partie aléatoire à chaque niveau et de la suivre tant qu'une partie aléatoire encore meilleure n'a pas été trouvée. Cela balance l'exploration, qui consiste à faire des parties aléatoires, et l'exploitation, qui consiste à suivre la meilleure partie aléatoire du niveau.

Une autre méthode de Monte-Carlo imbriquée est NRPA (*Nested Rollout Policy Adaptation*). Le principe est d'apprendre une politique de partie aléatoire de façon à améliorer la qualité des parties aléatoires. À chaque action possible on associe un poids. Dans une partie aléatoire on choisit une action possible avec une probabilité proportionnelle à l'exponentielle de son poids. À chaque niveau de la recherche imbriquée, la meilleure partie aléatoire est mémorisée. L'apprentissage de la politique consiste à augmenter les poids des actions de la meilleure partie aléatoire de un, et à diminuer les poids des actions qui n'ont pas été choisies de leur probabilité d'être choisies. De cette manière la somme des poids reste constante au cours de la recherche.

Les applications de la recherche Monte-Carlo imbriquée ont été nombreuses. Dans le domaine des transports, on peut citer le voyageur de commerce avec fenêtres de temps (Arpad Rimmel, Fabien Teytaud et Tristan Cazenave, 2011), la régulation de lignes de bus (Tristan Cazenave, Flavien Balbo et Suzanne Pinson, 2009), ainsi que la planification logistique d'une flotte de véhicules. En bio-informatique, on peut citer l'alignement de séquences biologiques (ADN, ARN, protéines) ainsi que le problème du pliage inverse de l'ARN. En Génie Logiciel, on peut citer la génération automatique de tests ainsi que la vérification de modèles. En optimisation, on peut citer le remplissage d'un container avec des objets de formes variées. En génération de programme, on peut citer la découverte d'expressions mathématiques dans des domaines variés (Tristan Cazenave, 2010 et 2013), par exemple pour calculer la volatilité implicite d'un sous-jacent financier (Tristan Cazenave et Sana Ben Hamida, 2015). Pour la résolution de puzzles, on peut citer le Sudoku (Tristan Cazenave, 2009), SameGame (Tristan Cazenave, 2009 et 2016, Benjamin Negrevergne et Tristan Cazenave en 2017 pour la parallélisation), le Morpion Solitaire (Tristan Cazenave, 2009), le Kakuro (Tristan Cazenave, 2009), et la conception de mots croisés.

Le principe de l'apprentissage d'une politique de parties aléatoires a été réutilisé pour les jeux. Toutefois la notion de meilleure séquence est mal définie pour les jeux. Au lieu d'apprendre les coups d'une meilleure séquence, PPA (*Playout Policy Adaptation*) apprend à renforcer les coups du gagnant d'une partie aléatoire (Tristan Cazenave, 2015). Les performances de l'algorithme augmentent nettement lorsque, au lieu de mettre à jour les poids des coups, on met à jour les poids des coups associés à leur environnement direct dans la partie aléatoire (Tristan Cazenave, 2016). Il est aussi bénéfique de mémoriser la politique d'une recherche pour la réutiliser lors de la recherche suivante (Tristan Cazenave et Eustache Diemert, 2017). Au final une recherche

Monte-Carlo PPA avec environnement des coups et mémorisation de la politique gagne entre 80 % et 100 % de ses parties contre un UCT standard pour de nombreux jeux, à savoir : *Breakthrough*, *Misere Breakthrough*, *Knightthrough*, *Misere Knighthrough*, *Domineering*, *Misere Domineering*, *Atarigo* et *Nogo*. Les gains atteignent 100 % pour *Misere Breakthrough* et *Misere Knighthrough*. Ce sont des jeux « misère », c'est-à-dire que la condition de gain est l'opposée de celle du jeu normal. Par exemple, dans *Breakthrough* le but est de placer un pion sur la ligne opposée du damier. Le but à *Misere Breakthrough* est de ne pas placer un pion sur la ligne opposée. Dans les jeux « misère » comme *Misere Breakthrough* et *Misere Knighthrough*, il y a de nombreux coups qui font perdre la partie. PPA apprend à éviter ce genre de coups et rend de ce fait les parties aléatoires beaucoup plus significatives.

Enfin, comme je l'évoquais au début de cet article les méthodes de recherche Monte-Carlo se marient très bien avec l'apprentissage de réseaux de neurones profonds. Un programme peut apprendre à partir de rien à jouer mieux que n'importe quel être humain à un jeu. Pour cela, il entraîne un réseau politique et un réseau évaluateur. Le réseau politique apprend à reproduire la répartition de probabilités sur les coups donnée par la recherche Monte-Carlo alors que le réseau évaluateur apprend à trouver le résultat de la partie. Il est probable que cette manière d'apprendre permettra de résoudre de nombreux problèmes difficiles à l'avenir.





50 ANS DE RECHERCHE - HIER, AUJOURD'HUI ET DEMAIN

95 197

PARIS-DAUPHINE

Intelligence Artificielle

Artificial Intelligence

Translating a text, diagnosing a disease, driving a car, playing go, these are tasks that we delegate or are in the process of delegating to machines or algorithms. Behind these tasks lies a clearly identified scientific field: that of Machine Learning. At the origin of the renewal of artificial intelligence, this field at the crossroads of computing and mathematics aims to develop and study the properties of algorithms capable of performing tasks without them being explicitly programmed for it. Depending on the task, human supervision is necessary or not. At the University Paris-Dauphine, research in this field is conducted both from the point of view of computer science, at LAMSADE, and mathematics, at CEREMADE: this the field straddles these two disciplines.

↓ Traduire un texte, diagnostiquer une maladie, conduire une voiture, jouer au go, ce sont là des tâches que nous déléguons ou sommes en passe de déléguer à des machines ou algorithmes. Derrière ces tâches, se cache un champ scientifique bien identifié : celui de l'apprentissage automatique (*Machine Learning* en anglais). À l'origine du renouveau de l'intelligence artificielle, ce domaine à la croisée de l'informatique et des mathématiques a pour objectif de développer et d'étudier les propriétés d'algorithmes capables d'accomplir des tâches, sans qu'ils ne soient explicitement programmés pour cela. Selon la tâche, une supervision par l'humain est nécessaire ou non.

Prenant l'exemple de la détection d'une maladie. L'humain prend le rôle du tuteur, et fournit à l'algorithme une base d'exemples décrivant des patients ainsi que leur état de santé (malade ou sain). L'algorithme apprend à partir de cette base d'exemples une fonction de décision permettant, à partir de la description d'un patient, de prédire son état de santé. Le challenge consiste à éviter que l'algorithme n'apprenne pas *par cœur*, mais qu'il soit au contraire apte à concevoir des règles généralisables à des exemples non rencontrés lors de la phase d'entraînement. On parle alors d'*apprentissage supervisé*, dont les figures de proue sont la régression logistique, les arbres de décision et les réseaux de neurones.

Lorsqu'il n'y a pas d'intervention de l'humain, c'est-à-dire que celle-ci se limite à la définition du but, on parle d'*apprentissage non supervisé*. L'algorithme recherche des similarités, invariances ou régularités dans les données. C'est une tâche beaucoup plus ardue que l'apprentissage supervisé. D'ailleurs, la question de la validation des résultats ainsi obtenus n'a pas trouvé encore de réponse satisfaisante. Restons sur notre exemple d'inspiration médicale. Supposons que cette fois-ci les étiquettes des patients ne sont pas connues. L'une des tâches serait alors de regrouper les patients selon leurs caractéristiques. Ce regroupement (on parle aussi de *segmentation* ou *clustering*) peut servir de support à des études cliniques sur des populations de patients permettant de mieux comprendre les facteurs de risque. Une approche classique pour aboutir à ce regroupement consiste à estimer la densité de probabilité régissant l'ensemble des observations vu alors comme un échantillon.

Il existe un autre type d'apprentissage dans lequel l'algorithme ne fait pas que recevoir passivement des données d'un tuteur. Au contraire l'algorithme interagit avec son environnement, prend des décisions, et reçoit éventuellement des récompenses si sa stratégie a donné de bons résultats. Guidé par ces récompenses, l'algorithme doit alors adapter sa stratégie dans le but d'en collecter davantage. L'objectif de l'algorithme est de parvenir à la stratégie optimale, qui, à chaque observation de la situation courante, prendra l'action qui lui assure le meilleur gain à long terme. Ce type d'apprentissage par *essais-erreurs*, nommé *Apprentissage par Renforcement*, a de nombreuses applications dans les jeux, la robotique, ou encore dans le domaine des agents conversationnels. À l'aide d'un

tel algorithme, il est par exemple possible d'apprendre à marcher à un robot.

Au vu de la richesse, de l'actualité et du potentiel applicatif du domaine, d'autres paradigmes d'apprentissage ont émergé : l'apprentissage *semi-supervisé* où l'on dispose à la fois de données étiquetées et non-étiquetées, le *transfert d'apprentissage* dont le rôle est d'adapter un modèle appris sur une tâche pour l'appliquer à une autre tâche, l'*apprentissage par imitation*, *adversarial*, etc.

À l'Université Paris-Dauphine, les recherches dans ce domaine sont menées à la fois du point de vue de l'informatique, au LAMSADE, et des mathématiques, au CEREMADE, si tant est que cette séparation fasse encore sens tellement le domaine est à cheval entre ces deux disciplines.

LA RÉVOLUTION DE L'APPRENTISSAGE PROFOND

Depuis une dizaine d'années, des algorithmes d'apprentissages basés sur des réseaux de neurones artificiels ont atteint des performances impressionnantes, quasiment égales ou supérieures à l'humain dans de nombreux domaines, comme par exemple celui de la reconnaissance d'images, le traitement et la traduction de textes, ou encore la reconnaissance de la parole. Ce que l'on nomme réseau de neurones artificiel est en réalité un modèle doté d'un grand nombre de paramètres, dont le fonctionnement est très librement inspiré de celui des neurones biologiques. Pour comprendre comment fonctionne un réseau de neurones artificiel, prenons le problème de la classification d'images. Pour une image donnée, représentée comme un ensemble de pixels, le réseau doit déterminer ce que cette image contient (un chat, un humain, une voiture, ...). Comme pour tout algorithme d'apprentissage supervisé, le réseau est entraîné sur un grand nombre d'images dont le contenu a été étiqueté manuellement. Le réseau est composé d'une succession de couches, qui transforment progressivement l'image (en entrée de la première couche) en prédiction (la sortie de la dernière couche).

Au LAMSADE, nous développons des réseaux de neurones profonds pour des applications spécifiques, et nous travaillons aussi à la conception et à l'analyse théorique des algorithmes d'apprentissage associés.

À titre d'exemple, nous nous sommes intéressés à la question de la reconnaissance de styles artistiques à partir d'images de peintures et de musiques. L'identification automatique d'une œuvre permet de faciliter l'indexation et la recherche dans de grandes bases de données artistiques, comme celle du Met Museum rendue publique en 2008. La caractérisation d'un style (mouvement artistique, genre musical, etc.) se fait traditionnellement au moyen de critères fixés au préalable par des experts du domaine. Mais ces critères sont insuffisants pour permettre aux ordinateurs de

...

reconnaître un style à partir de la représentation numérique d'une œuvre (photo ou flux audio). Contrairement à ces approches, l'utilisation de réseaux de neurones profonds permet d'identifier le style d'une œuvre sans avoir recours à des critères fixés au préalable. Au lieu de cela, les réseaux de neurones s'appuient sur une base d'exemples œuvre-style donnée. Les travaux menés dans ce domaine ont permis de développer un logiciel capable d'identifier le style d'une œuvre avec une très bonne précision. Toujours dans le domaine de l'imagerie, nous nous intéressons, en collaboration avec le CEREMADE et la société Smith Detection, à la détection d'armes à partir d'imagerie en rayon X.

Au-delà des tâches de reconnaissance en matière d'images et de sons, les réseaux de neurones peuvent être utilisés dans des domaines très différents. Ainsi, nous travaillons sur l'apprentissage d'heuristique pour l'optimisation combinatoire, ou pour la résolution de jeux. Enfin, les réseaux de neurones comportent fréquemment des millions de paramètres. Nous cherchons à alléger ces réseaux sans perte d'efficacité, en exploitant entre autres des techniques provenant des projections aléatoires.

APPRENTISSAGE À LARGE ÉCHELLE ET EN GRANDE DIMENSION

Apprendre à partir de données massives, et éventuellement sous forme de flux, décrites par des caractéristiques atteignant parfois plusieurs millions de composante est l'un des verrous majeurs en apprentissage automatique. Notre société produit ce type de données complexes continûment (images, signaux, données d'instrumentation, de santé, omiques, etc.). Cependant, il est souvent nécessaire de disposer d'une base d'exemples de taille exponentielle en la dimension. Cette dépendance exponentielle est appelée *malédiction de la dimensionnalité*.

Il existe différentes approches pour pallier ce problème. L'une d'elles consiste à le contourner en projetant les données observées sur des espaces de dimension inférieure.

Cette réduction de la dimensionnalité peut être apprise à partir des données, c'est-à-dire en prenant en compte la nature de celles-ci, *eg.* en utilisant l'*Analyse par Composantes Principales*, ou au contraire produite indépendamment de ces dernières, *eg.* par des projections aléatoires. Des travaux au LAMSADE s'intéressent notamment à la définition d'algorithmes de réduction de dimensionnalité dans le cadre de flux de données, et en particulier quand ces dernières sont structurées sous forme de graphes.

Une autre voie développée au LAMSADE consiste à incorporer des contraintes de parcimonie dans les modèles d'apprentissage. Ces contraintes permettent, au cours du processus d'optimisation, de ne sélectionner que quelques caractéristiques pertinentes. Si l'on impose

en outre que les poids des caractéristiques sélectionnées sont des entiers de petite valeur, on diminue l'effet de la malédiction de la dimensionnalité, et on améliore donc la capacité prédictive du modèle. De surcroît, les utilisateurs finaux de ces modèles, lorsqu'ils ne sont pas des spécialistes de sciences des données (par exemple des médecins), les préfèrent aux modèles linéaires classiques, en raison de leur compacité et de leur simplicité.

APPRENTISSAGE ET ENJEUX DE SOCIÉTÉ

Les techniques d'apprentissage transforment nos sociétés, et leur exploitation posent des questions d'éthique relatives à la protection de la vie privée, la manipulation des données et l'explicabilité des modèles et résultats. Nous consacrons un effort considérable, effort appelé à s'intensifier :

1. pour développer des algorithmes d'apprentissage automatique préservant la vie privée, en particulier en exploitant la théorie de la confidentialité différentielle ;
2. pour étudier la robustesse des algorithmes d'apprentissage automatique, en particulier dans un contexte *adversarial*, où un *attaquant* cherche à tromper l'algorithme ;
3. pour contribuer au domaine émergent de l'IA explicable (*eXplainable AI*, XAI), dont l'objet est d'améliorer l'interprétabilité des modèles neuronaux et d'expliquer leurs décisions : les modèles neuronaux fonctionnent aujourd'hui comme des boîtes noires, ce qui en limite l'utilisation dans nombre de domaines sensibles.



La justice prédictive

Predictive Justice

The digital revolution, with its spearhead, artificial intelligence and its trail of algorithms, is generating a new trend in the legal system: the creation of a predictive justice, based on legal analytics and developing process enabling the parties and their lawyers, as well as the judges, to foresee chances of success and the content of a judgement. The Dauphine legal research is committed to study this new phenomenon, boosted by the open data of judgments, its identification and its regulation, all the more necessary in a Rule of Law. Adopting an obviously legitimate transdisciplinary approach, the research will noticeably address the predictable content of this algorithmic judicial trend and its implication on access to courts and on their proper role, in the frame of the right for a fair trial, and its regulation, especially of its actors (noticeably the Legal Techs) by hard or soft law. The research will also propose ways of avoiding a nefarious robotization of justice, while exploring adequate and cautious ways of augmenting the efficiency of justice through a duly regulated use of predictive algorithms.

↓ La Révolution numérique, puisqu'il faut l'appeler par son nom, avec son fer de lance, l'intelligence artificielle, ses moteurs, les algorithmes prédictifs, et son caractère supposé disruptif, passe et passera par le droit dans une République qui se veut aussi numérique. Notamment, la justice se voit saisie par les algorithmes pour s'augmenter en « *justice prédictive* », alors que va être mis en œuvre l'*open data* des décisions juridictionnelles qui permettra un fructueux *Data mining* dans cette subdivision foisonnante du *Big Data*.

Il est possible, à ce stade de développement du phénomène considéré, de le définir comme un ensemble de techniques d'intelligence artificielle, donc de simulation de l'intelligence humaine, par des procédés informatiques porteurs d'algorithmes s'auto-améliorant (*Machine Learning* et, mieux encore, *Deep Learning*), permettant l'assistance à la décision des acteurs de la justice, en fournissant, par recours aux calculs statistiques et probabilistes, des prévisions du sens de certains dispositifs des décisions de justice, une hiérarchisation des moyens de fait et de droit invocables en demande et en défense, et des intervalles de montant, lorsque ces dispositifs statuent sur l'octroi de divers types d'indemnités. À terme, on prévoit la possibilité de production de jugements dument motivés. Il s'agit donc d'une justice prévisible, à ce stade essentiellement quantitative, plutôt que prédictive.

Les performances actuelles de ces procédés font l'objet d'appréciations nuancées, au regard du taux de satisfaction des prévisions, (aujourd'hui entre 70 à 80%, mais sur des domaines très ciblés). Elles n'en sont pas moins devenues l'un des *items* des réflexions et propositions d'institutions publiques et privées qui foisonnent en matière de numérisation de la justice.

La recherche juridique dauphinoise ne pouvait se désintéresser de ce phénomène en devenir, mi-virtuel mi-réel, ne serait-ce que du fait de la forte présence à l'Université Paris-Dauphine de la recherche mathématique, statistique et informatique, et du choix de notre université de promouvoir les investigations transdisciplinaires, en matière de sciences de la décision, qui sont au cœur des missions statutaires de la recherche dauphinoise.

Le bicentenaire de l'Ordre des avocats au Conseil d'État et à la Cour de cassation, que cette institution a organisé avec le Centre de Recherche Droit Dauphine (CR2D), a été ainsi consacré, sur l'initiative des juristes dauphinois, à la justice prédictive.

Ce fécond colloque, qui vient de faire l'objet d'une publication aux éditions Dalloz, aura été comme le coup d'envoi d'une recherche qui est l'un des trois axes choisis par le CR2D pour les cinq ans à venir.

Cette recherche sera binaire, portant, d'une part, sur l'évaluation prévisionnelle de la justice prédictive, et, d'autre part, sur sa régulation, lesquelles feront l'objet d'un traitement par les juristes, en liaison avec des scientifiques, des économistes et des sociologues dauphinois.

Nombreux sont, en premier lieu, les *items*, organiques, processuels et matériels, d'évaluation de la justice prédictive. Ils tiennent d'abord à son fonctionnement concret, tant au stade de la création que de la mise en œuvre des algorithmes, et à la configuration des relations entre les *data scientists* et les juristes. Il s'agit aussi d'en mesurer les performances réelles. On s'interrogera également sur les domaines d'élection de la justice prédictive. D'ores et déjà, il semble qu'elle ait vocation à se déployer dans le contentieux de masse ou de certains secteurs (consommation, travail, assurances, contentieux administratif des décisions à forme préfixe).

Surgit alors un thème central et même crucial : quel impact aura-t-elle sur l'accès au juge et sur l'office du juge ? Tout aussi logiquement que chronologiquement, c'est d'abord, en amont, l'accès au juge qui est concerné : dans quelle mesure les programmes prédictifs peuvent-ils licitement le conditionner ? Ensuite, en aval, en cours de procès, comment l'office du juge assurera-t-il l'équité procédurale, au vu de la stratégie prédictive des parties ou des outils de prédiction qu'il pourrait lui-même utiliser ? Se dresse alors la figure héroïque du droit à un procès équitable, et notamment ses exigences d'indépendance et d'impartialité du juge ainsi que d'égalité entre les parties, qui devront canaliser l'usage des algorithmes prédictifs. Comment se reconfigureront, dans ces conditions, les relations entre les acteurs du système juridique (justiciables, professionnels privés du droit, et spécialement les avocats, ces nouveaux venus que sont les *Legal Techs*, *start up* activistes dédiées à la promotion de la justice prédictive et, naturellement, les magistrats) ? Assistera-t-on à une à une « *réontologisation* » de la justice, c'est-à-dire à un remodelage intense du système de justice et de ses composantes ?

La thématique de la régulation de la justice prédictive n'est, en second lieu, pas en reste d'interrogations diverses et plurielles. Parce qu'elle aura un impact sensible, voire important, sur l'exercice de la justice, le droit ne saurait évidemment se désintéresser de l'encadrement de la justice prédictive. Mais de cette constatation, aussi banale qu'incontestable, naissent divers itinéraires possibles de régulation, entre lesquels les autorités compétentes devront arbitrer ou choisir de les combiner. Quelle forme de régulation envisager alors : une autorégulation par les *Legal Techs* ? La création d'une autorité administrative indépendante de certification et de contrôle ? La définition de frontières entre la prestation juridique réglementée (consultation notamment) et la prestation algorithmique prédictive ? Une co-régulation des *Legal Techs* et des professions réglementées du droit (Auto- et co-régulation appelleront l'usage du droit souple : chartes éthiques et autres) ? La définition d'un statut des *Legal Techs* ? La création d'un secteur public en la matière, avec des possibilités de mise en place d'un service public de la justice prédictive ? Devra être décidée aussi quelle portée matérielle pourrait avoir la justice prédictive, et

...

notamment les contentieux dans lesquels elle pourrait être purement et simplement prohibée (on pense ici au contentieux pénal, contrairement à l'option retenue aux États-Unis).

Par ailleurs, la dimension comparative, européenne et internationale de cette recherche s'impose d'elle-même : la justice prédictive est née aux États-Unis, où elle est donc utilisée même en matière pénale, et son régime confronte les caractères distincts de la *Common law* et du droit continental, tant il est vrai que la nature du système juridique où se déploie cette nouvelle technologie juridique commande *ex ante* son contenu. Et le Conseil de l'Europe s'intéresse d'ores et déjà de près à ses virtualités.

De surcroît, cette recherche participera du choix stratégique de l'Université Paris-Dauphine de s'investir dans la recherche transdisciplinaire sur les usages techniques, économiques, sociaux et institutionnels de l'intelligence artificielle.

Bel exemple d'impact transformateur possible du numérique, qui a le vent en poupe, sur le droit, mais aussi de *feedback* du droit sur le numérique, ne serait-ce qu'au nom de la prééminence, à préserver absolument, des droits fondamentaux, la justice prédictive, risquons-nous à le... prédire, sera une source féconde de recherches pour l'équipe des juristes dauphinois. Et comme la dogmatique juridique n'est jamais loin, en France du moins, de la théorie juridique, cette recherche ne s'interdira pas de proposer des voies pour prévenir la robotisation de la justice, tout en favorisant son « augmentation », raisonnable, proportionnée et prudente, par le numérique. Force est d'invoquer ici le principe de précaution, qui ne s'oppose pas en soi à un développement technologique donné, fût-il disruptif, mais qui requiert qu'on tente d'en mesurer préalablement la balance des risques et des progrès qu'il peut provoquer. Il est permis enfin de penser que notre recherche aidera à dessiner la figure du « *Legal data scientist* », hybride efficient du juriste et du mathématicien...



↓ Le droit français est l'un des plus avancés au monde pour introduire la *blockchain* dans des normes. Le premier texte date de 2016, mais le phénomène s'est précipité depuis la fin de l'année 2017. Tous les textes publiés jusqu'à présent s'inscrivent dans le domaine financier afin de pouvoir utiliser cette technologie non seulement pour créer des bons de caisse, mais également pour transmettre et représenter des titres financiers. Ces différents sujets, de plus en plus nombreux, soulèvent des interrogations tant de droit public que privé. Ils nécessitent une approche pluridisciplinaire principalement dans les domaines où l'Université Paris-Dauphine est présente (informatique, finance, gestion, sociologie, mathématiques et droit) dans une dimension internationale, ce qui justifie de retenir la *blockchain* comme un des thèmes centraux des études futures du Centre de Recherche Droit Dauphine (CR2D).

Pas une semaine ne passe sans que la presse se fasse l'écho de nouvelles utilisations de la *blockchain* : essentiellement dans le domaine financier que ce soit pour transmettre des titres, pour recenser les opérations sur les marchés de dérivés, pour permettre des paiements en temps réel à faible coût ou pour faciliter la gestion d'actifs, le crédit documentaire et le prêt de titres, mais également dans le monde de l'énergie, ou bien pour échanger et piloter des systèmes décentralisés dans les échanges internationaux, ou encore pour faciliter le commerce en proposant des garanties de paiement, etc. Face à cette effervescence qui se traduit par une multiplication de *start-up* rattachées au domaine des *Legal techs*, la réactivité du droit français a été remarquable. L'ordonnance du 28 avril 2016 a introduit les bons de caisse ou « minibons » dont l'émission peut être inscrite dans un dispositif *blockchain*. Par la suite, la loi Sapin 2 du 9 décembre 2016 a autorisé le Gouvernement à prendre par voie d'ordonnance, dans un délai de 12 mois à compter de la date de promulgation de la loi, les mesures nécessaires pour « 1° Adapter le droit applicable aux titres financiers et aux valeurs mobilières afin de permettre la représentation et la transmission, au moyen d'un dispositif d'enregistrement électronique partagé, des titres financiers qui ne sont pas admis aux opérations d'un depositaire central ni livrés dans un système de règlement et de livraison d'instruments financiers ; 2° Aménager et modifier toutes dispositions de nature législative favorisant la mise en œuvre et tirant les conséquences des modifications apportées en application du 1° ».

La *blockchain* a ainsi reçu une définition légale et un programme d'intégration dans le droit financier français. Pour les juristes, loin d'une conclusion des débats sur ce sujet, il est apparu qu'il s'agissait plutôt de l'introduction de nombreuses questions totalement inédites et donc bien sûr non résolues. Sont créées des monnaies virtuelles sans qu'il soit établi qu'il s'agisse de réelles monnaies et des *smart contracts* qui n'ont rien d'intelligents. Sont supprimés des intermédiaires, mais on ignore si sont toujours offertes suffisamment de

...

Les juristes dauphinois et la *blockchain*

The Lawyers of Dauphine and the Blockchain

French law is one of the most advanced in the world to introduce blockchain in standards. The first text dates from 2016, but the phenomenon has accelerated since the end of 2017. All the texts published so far are part of the financial field. They focus on the use of this technology not only to create savings bonds, but also to transmit and describe financial securities. These various subjects, more and more numerous, raise questions of both public and private law. They require a multidisciplinary approach mainly in the fields in which the Université Paris-Dauphine is strong (IT, finance, management, sociology, mathematics and law) in an international dimension, which justifies retaining the blockchain as one of the central themes of future studies for the Centre de Recherche Droit Dauphine (CR2D).

...

garanties de confiance et de sécurité. Appréhender ces nouveautés impose de comprendre la technique mobilisée. C'est pourquoi, le Master 214 parcours Droit des affaires de l'Université Paris-Dauphine a décidé de consacrer sa conférence annuelle en juin 2017 à ce thème et de débiter par un exposé réalisé par un chercheur en informatique, afin d'expliquer à des néophytes cette technologie particulièrement complexe (« Pourquoi les problèmes d'une armée byzantine nous aident-ils à faire des transactions sécurisées ? » par Alexis Tsoukiàs, alors directeur du LAMSADE). Les différentes chaînes sont aujourd'hui soit publiques, c'est-à-dire ouvertes gratuitement à tous, soit privées, à accès réservé, ou hybrides. La gouvernance varie mais s'impose toujours une obligation de régulation qui n'est à ce jour pas déterminée. Il a donc été choisi de s'interroger sur les rapports entre les activités utilisant la technique de la *blockchain* en droit des affaires et la fonction de réguler (« *Blockchain et régulation* » par Guy Canivet) puis de se demander s'il s'agit d'un objet à réguler ou d'un outil pour la régulation (« *Blockchain : objet à réguler ou outil de régulation ?* » par Pierre-Jean Benghozi). Après ces réflexions générales, la parole a été donnée à des praticiens, particulièrement familiers de ce nouvel outil, qui ont échangé autour d'une table ronde sur quelques utilisations actuelles en droit des affaires, que ce soient les monnaies virtuelles, la transmission des instruments de paiement, les outils de financement ou les *smart contracts*.

En application de l'habilitation de la loi Sapin 2, le 8 décembre 2017 a été publiée une ordonnance permettant aux titres financiers d'être représentés et transmis par une *blockchain*. Il s'agit d'une solution inédite sur le plan international et qui ouvre de très nombreuses conséquences dans le domaine financier. Dans la continuité de la démarche pluridisciplinaire qui avait été adoptée lors de la première conférence consacrée à ce sujet, les chercheurs de l'Université Paris-Dauphine souhaitent continuer leurs études sur l'impact de cette nouvelle technologie. En mars 2018, a été conclu un partenariat entre le Centre de Recherche Droit Dauphine et le Haut Comité Juridique de la place financière de Paris. Pourront être donc sollicités, outre des chercheurs de haut niveau dans les différents domaines concernés, des praticiens particulièrement éminents sur ces sujets. Les recherches futures s'intéresseront principalement aux conséquences de la *blockchain* sur le droit financier, que ce soient pour la transmission et la représentation des titres lorsqu'aura été publié en juillet 2018 le décret complétant l'ordonnance, mais également pour les ICO (*Initial Coin Offerings*), levées de fonds en crypto monnaies. Sur ce point également, la régulation française est particulièrement innovante. L'AMF a publié début 2018 ses positions à la suite d'une consultation de place. L'essentiel devrait être repris par la loi PACTE qui devrait être publiée avant la fin de l'année 2019. Le système envisagé, qui propose un agrément volontaire, est original et justifie une étude approfondie. Le régime fiscal est également en cours d'élaboration et a été étudié par des chercheurs de notre université spécialisés dans ce domaine. La *blockchain* ne devrait pas connaître à l'avenir



que des applications dans le domaine financier. Des chercheurs du Centre de Recherche Droit Dauphine, en liaison avec le monde notarial, envisagent également l'utilisation de cette technologie pour la sécurisation des transactions des actes en remplacement des procédures actuelles.

Tous ces sujets, de plus en plus nombreux soulèvent donc une foultitude de questions tant, par nature, de droit privé que de droit public (régulation, fiscalité notamment). Ils nécessitent une approche pluridisciplinaire principalement dans les domaines où l'Université Paris-Dauphine est présente (informatique, finance, gestion, sociologie, mathématiques et droit), dans une dimension internationale, ce qui justifie, décidément, de retenir la *blockchain* comme un des thèmes centraux des études futures de notre centre de recherche.





La régulation économique sectorielle, à la croisée des disciplines

Sectorial Economic Regulation, at the Crossroads of the Academic Fields

Regulation, as addressed by Legal Research in the Legal Dauphine Research Centre, happens to be Sectorial Economic Regulation, that is to say a function of public authority which deals with monitoring an efficient equilibrium in competitive sectorial markets that have been, by ways of statutes, opened to competition, while they were formerly monopolized (network industries, public utilities), or susceptible to systemic risk markets (bank, insurance, financial markets). It noticeably aims at reconciling competitive public order, or more widely economic public order, with the economic freedom of market operators. More precisely, Legal “Dauphinoise” research in that matter aims at developing and affirming a standard regulatory law which overlooks all the special regulatory norms or soft law of the different regulated sectors. This research is at the crossroads of economics, management, finance, public governance and technology, and, thus is typical of the transdisciplinary character of the research at Dauphine, the statutory missions of which being indeed to develop research and teaching in the field of the science of organization and decision.

↓ La régulation dont il sera question ici est la régulation économique sectorielle. Il s'agit d'une fonction de la puissance publique destinée à équilibrer des marchés sectoriels, soit en combinant l'ordre public concurrentiel, après l'avoir construit dans des secteurs jusque-là monopolistiques (industries de réseaux), avec d'autres objectifs d'intérêt général (pluralisme, environnement, développement durable), soit en assurant la protection des clients et consommateurs, ainsi que la prévention et la résolution des risques systémiques propres à certains marchés (secteur bancaire et assurantiel, marchés financiers).

La recherche des juristes dauphinois sur cette notion de régulation économique sectorielle, porte sur la construction et l'affirmation d'un droit commun de la régulation économique, qui rassemble des notions, des méthodes, des institutions, des principes et des règles communs à toutes les formes de régulation sectorielle, sans préjudice, censément, des règles spéciales propres à certains secteurs.

Cette recherche entretient un lien génétique avec les thématiques de recherche de l'Université Paris-Dauphine, pour plusieurs raisons.

D'abord, c'est le professeur Marie-Anne Frison-Roche, alors directrice du Centre de Recherche Droit Dauphine, qui est l'un des auteurs à l'origine de la promotion doctrinale d'une nouvelle branche du droit, le droit de la régulation, dont la portée a été brièvement décrite plus haut.

Ensuite, statutairement, l'Université Paris-Dauphine a pour mission de développer la recherche et l'enseignement en matière de science des organisations et de la décision. Or, la régulation économique sectorielle s'appuie sur, ou implique, des formes nouvelles de gouvernance publique (on pense ici spécialement aux autorités de régulation indépendantes de marché), de normativité (à côté du droit dur, la régulation est un des champs de développement du droit souple ou *soft law*), et d'agencement nouveau des processus décisionnels, avec un développement du dialogisme, et une participation croissante des régulés à la régulation, ainsi que des démarches d'«*advocacy*», par lesquelles les autorités de régulation développent une culture de la régulation, et influencent, voire modèlent, les comportements des opérateurs régulés, en vue d'un équilibre optimal du marché, en un mot, de son efficience.

Enfin, l'une des spécificités de la recherche à Dauphine, comme de l'enseignement qui y est prodigué, est sa pluridisciplinarité et même sa transdisciplinarité. Dauphine, aux termes mêmes de son statut, rassemble des mathématiciens, des informaticiens, des économistes, des gestionnaires, des sociologues et des politologues, ainsi que des juristes, autour de la science de l'organisation et de la décision, qu'elle soit publique ou privée. Peut-on rappeler que le Prix Nobel d'économie, Jean Tirole, éminent spécialiste de la régulation, est titulaire d'un doctorat de troisième cycle de Dauphine ?

La recherche juridique portant sur la régulation s'appuie donc sur des coopérations fortes avec les chercheurs des autres disciplines concernées par le phénomène. En témoignent concrètement les Rencontres dauphinoises de la régulation, fruit d'une coopération interne de Dauphine, puisqu'elle est portée par le Centre de Recherche Droit Dauphine et le Laboratoire d'économie de Dauphine LEDa, et externe, car elle repose sur un partenariat avec le Conseil d'État. Ces rencontres annuelles rassemblent des théoriciens, juristes et économistes, des représentants des autorités de régulation, des praticiens de la régulation et des représentants des entreprises régulées, ainsi que des consommateurs. Elles permettent d'aborder des sujets aussi divers et importants que le droit souple en matière de régulation, les sanctions de régulation, l'entreprise régulée ou, dernièrement, la régulation par les données et, prochainement, la régulation et le contrat. Ces rencontres sont soutenues par la Chaire interdisciplinaire Gouvernance et Régulation, à laquelle les juristes apportent une importante contribution.

Sur l'initiative du professeur Claudie Boiteau, a été aussi créé un Master 2 de droit et régulation des marchés, qui organise aussi des colloques, comme récemment, sur les régulateurs européens.

La régulation est, à dire le vrai, un des trois grands axes de recherche du Centre de Recherche Droit Dauphine.

Dans le passé récent, par exemple, ont été ainsi organisés des séminaires de recherche, en coopération avec le Conseil d'État et la Cour d'appel de Paris, et avec un fort élément de droit comparé, sur le règlement des différends par les autorités de régulation économique, qui a conduit à un important colloque et qui a fait l'objet d'une publication dans la Revue française de droit administratif.

Pour l'avenir, l'axe de recherche sera consacré plus spécifiquement à l'entreprise régulée, à la fois acteur de la régulation et objet de cette dernière. Il sera conduit, comme à l'accoutumée, de façon interdisciplinaire, en liaison avec le Conseil d'État et les juridictions judiciaires, ainsi qu'avec les institutions de régulation. L'approche de droit comparé, notamment par la participation de plusieurs professeurs invités spécialisés en la matière, demeurera intense, ainsi que les références à la dimension européenne, qui monte de plus en plus en puissance, non seulement, classiquement, du fait de la foudroyante de normes européennes de régulation, mais parce que se développent désormais des régulateurs européens de plein exercice. Cela pose la question de l'articulation de leurs compétences avec celles des autorités nationales de régulation et de la marge de manœuvre laissée à ces dernières, selon les secteurs, qui sont plus ou moins intégrés. La dimension internationale est également prise en compte.

Les fruits de la recherche tendent en tout cas à conforter l'existence avérée d'un droit commun de la régulation

...

sectorielle économique, qui ne se distingue pas par l'usage d'outils que l'on ne retrouverait pas dans d'autres branches du droit économique, mais plutôt par une pondération spécifique de l'usage respectif de ces outils et des méthodes de raisonnement qui lui sont propres.

Ainsi, le droit de la régulation économique est, comme d'autres branches du droit économique, marqué par les interactions réciproques entre l'analyse juridique et l'analyse économique. Il fait tout autant appel à l'analyse économique du droit qu'à l'analyse juridique de l'économie. Mais, sans doute avec le droit de la concurrence, est-il de toutes les branches du droit économique, celui où les influences réciproques entre le droit et l'économie sont les plus intenses, ce qui justifie de plus fort la nécessité d'une recherche interdisciplinaire.

De la même façon, on trouve dans d'autres domaines du droit des autorités administratives indépendantes, mais l'autorité de régulation indépendante de marché joue un rôle particulièrement central en droit de la régulation, de telle sorte qu'elle devient un élément organique inéluctable de sa définition, et se voit attribuer un mixte de missions d'influence, de réglementation, de contrôle, de police et de sanction qui trouve une saveur particulière, différente de celle que l'on peut goûter dans d'autres domaines du droit et de l'économie.

Une même remarque peut être faite pour ce qui est de la normativité régulatrice sectorielle. Aux normes décisionnelles classiques, aux contrats, se mêlent des instruments juridiques d'orientation, non directement normatifs, qui sont les actes de droit souple. On peut encore relever que, dans le contentieux de la régulation, le juge administratif, mais aussi judiciaire, se fait régulateur.

À cet égard, le droit de la régulation se joue de la distinction, si présente en France, mais aussi dans plusieurs États européens de droit romano-germanique ou influencés par ce droit, entre droit public et droit privé. Ce franchissement permanent de frontière est en parfaite harmonie avec la démarche des chercheurs juristes dauphinois, le Centre de recherche Droit Dauphine étant le lieu d'une collaboration permanente entre privatistes et publicistes, assez inédite, pour ne pas écrire rare, en France.

Enfin, la régulation est un point nodal et critique des relations entre technique et droit : son droit est un droit d'objets matériels ou immatériels (réseaux, communications électroniques, audiovisuel, transports, énergie, produits financiers), dont la ductilité et la mutabilité congénitales imposent la nécessité d'une réactivité juridique maximale, que les progrès de l'intelligence artificielle au sein du *Big Data* amplifient, avec la double problématique de la régulation des données et de la régulation par les données.

La régulation est, au total, une politique économique polymorphe saisie par un droit, carrefour de notions,



d'institutions et de règles purement juridiques, notamment les droits fondamentaux qui, à la fois, légitiment et limitent le pouvoir des régulateurs, et de normes ou para-normes, dont la matrice est essentiellement économique. Un beau et inépuisable sujet de recherches juridiques, en somme, avec en vue l'affirmation d'une école dauphinoise du droit de la régulation...



La recherche dauphinoise en droit patrimonial : l'exemple de la protection internationale de la réserve héréditaire française

Legal Research in Patrimonial Law at Paris-Dauphine: the Example of the Protection of French "réserve héréditaire" in the International Arena

The legal research at Paris-Dauphine University is divided in two main subjects: Business Law and Patrimonial Law. As for the second subject, the legal scholars of Dauphine Research Centre in Law focus mainly on the phenomenon of internationalization of legal aspects of wealth management. The question whether the "réserve héréditaire" under French succession Law, mandatory within the French legal system, may keep on being protected in an international arena is a perfect illustration of the researches that are developed by the Dauphine Research Centre in Law. Indeed, unlike English and US Law, French Law does not allow a deceased person to decide to whom his estate will be transferred *mortis causa*. Part of the estate has to be transferred to the deceased's heirs. Under French Law, as well as in most European countries, this part of the estate is called « réserve héréditaire ». What then if, in an international context, a French national's succession is governed by a foreign Law, say English Law? Can this French national decide to give away his goods? This is the question that is discussed in this article in the light of recent cases of the French Cour de cassation, as well as the very mediatic succession of the famous French singer Johnny Halliday.

↓ La recherche juridique à l'Université Paris-Dauphine s'organise, de longue date, autour de deux pôles : le droit des affaires d'une part, et de droit patrimonial d'autre part.

Le pôle *patrimonial* s'intéresse plus particulièrement aux aspects juridiques de la gestion de patrimoine, dans un contexte tant français qu'international – aspects juridiques au soutien desquels sont mobilisés plusieurs compartiments du droit privé : droit des sociétés, droit immobilier, droit fiscal, droit patrimonial de la famille ou droit international privé. Cette recherche patrimoniale s'appuie sur des coopérations fortes avec les chercheurs des autres disciplines concernées, en particulier l'Institut de gestion de patrimoine de Dauphine (IGP), et avec les professionnels du droit impliqués : notaires, banquiers, assureurs, gestionnaires de patrimoine. Elle se concrétise en particulier par la tenue, tous les ans à Dauphine, des *Journées notariales du patrimoine* (JNP) organisées en partenariat avec le Conseil supérieur du Notariat.

Parmi les axes de recherches patrimoniaux privilégiés par le Centre de Droit Dauphine figure *l'internationalisation* de la gestion de patrimoine. Cette préoccupation internationale est motivée par un constat : les acteurs économiques comme les particuliers sont de plus en plus mobiles, et les patrimoines de plus en plus composés d'actifs localisés à l'étranger. Cette orientation internationale s'est concrétisée par de nombreuses conférences organisées par le Master 2 « droit des assurances » dirigé par Jérôme Kullmann et Vincent Heuzé, le Master 2 « droit notarial » dirigé par Louis Perreau-Saussine et Anne Karm et le Master 2 « droit du patrimoine professionnel » dirigé par Sophie Schiller et portant, notamment, sur le financement des opérations immobilières internationales, l'organisation patrimoniale de l'expatrié, ou l'entrée en vigueur d'un nouvel instrument de droit européen en matière de successions internationales.

La question de la protection, dans un contexte international, de la réserve héréditaire française constitue un point d'application particulièrement frappant de l'internationalisation de la gestion de patrimoine et illustre les orientations retenues par la recherche dauphinoise en droit du patrimoine.

De quoi s'agit-il au juste ? En droit français, comme dans vingt-cinq des États membres de l'Union européenne, la réserve héréditaire est la part minimale d'héritage à laquelle ont impérativement droit les héritiers dits *réservataires*, au nombre desquels figurent les enfants du défunt. Si elle varie dans son intensité en fonction du nombre d'enfants du défunt, elle a la particularité d'être une disposition d'ordre public : on ne peut donc, sauf de rares exceptions, s'y soustraire. Elle fait donc obstacle à l'exhérédation totale des enfants, et remplit une triple fonction : assurer une égalité minimum entre les enfants, refléter la solidarité familiale et garantir la liberté individuelle de l'héritier contre l'arbitraire du *de cuius*. Tant que la succession est purement française, l'impérativité de la réserve héréditaire est garantie. Mais que se passe-t-il lorsque la succession est *internationale* ? Peut-on encore garantir l'impérativité de la réserve héréditaire française ?

Quid lorsque le défunt est, par exemple, un français établi à l'étranger : peut-il déshériter ses enfants au mépris de ce que prescrit le droit français ?

La succession de Johnny Hallyday, ouverte en décembre 2017, illustre un phénomène qui tend à se développer : des Français, souvent fortunés, établis à l'étranger profitent du libéralisme du droit local – notamment californien – pour déshériter leurs enfants. Avant Johnny Hallyday, d'autres artistes français de renom, établis eux aussi depuis plus ou moins longtemps aux États-Unis, avaient adopté le même comportement : Maurice Jarre en 2004 et Michel Colombier en 2009, tous deux paroliers et auteurs de musique de films à succès. En 1985, c'était Leslie Caron, l'actrice française *d'Un Américain à Paris*, déjà, qui avait été victime d'une tentative d'exhérédation de la part de son père, laquelle a donné lieu à une affaire judiciaire retentissante soumise à la Cour de cassation française. Ils suivent, en cela, une cohorte d'acteurs hollywoodiens qui, par le passé, ont tous déshérité leurs enfants : Tony Curtis ou Joan Crawford par exemple. Sauf que... contrairement à la loi californienne, le droit français prohibe précisément une telle exhérédation !

La question qui se pose est donc de savoir par quels moyens l'ordre juridique français peut assurer la protection de la réserve héréditaire, impérative pour lui, dans un contexte international, c'est-à-dire plus précisément lorsque la succession de l'intéressé est, par le jeu des règles de droit international privé applicables, soumise à un droit étranger qui, soit ignore la réserve héréditaire, soit en connaît des modalités qui sont bien moins protectrices des héritiers que la loi française. Comment éviter en somme qu'un Français résident en Californie ne puisse se soustraire à l'emprise de la loi française sur ce point ? Concrètement, sur la base de quelles règles de droit français et/ou européen, les deux enfants adultes de Johnny Hallyday peuvent-ils espérer obtenir gain de cause contre leur belle-mère ? Disposons-nous d'armes suffisamment efficaces ?

La question est d'une brûlante actualité. Longtemps muette sur ce point, la Cour de cassation française s'est en effet prononcée pour la première fois sur cette question en termes solennels, dans deux décisions du 27 septembre 2017 appelées à la plus grande publicité. Elle affirme désormais : « Une loi étrangère désignée par la règle de conflit qui ignore la réserve héréditaire n'est pas en soi contraire à l'ordre public international français et ne peut être écartée que si son application concrète, au cas d'espèce, conduit à une situation incompatible avec les principes du droit français considérés comme essentiels ». Ainsi décide-t-elle d'appliquer à une succession internationale la loi californienne du dernier domicile, établi de longue date, d'un *de cuius* français qui laissait des biens mobiliers et/ou immobiliers aux États-Unis et des biens mobiliers en France, et ce, alors même que cette loi successorale autorisait, par un habile montage juridique impliquant un *trust*, l'exhérédation de ses enfants français issus d'un premier lit.

...

Pour la Cour de cassation, le respect de l'intégrité de la loi successorale étrangère prime sur la protection des impératifs que sous-tendent la réserve héréditaire. Le mécanisme de l'ordre public international - qui a vocation à titre principal à protéger l'ordre juridique français contre l'intrusion de normes étrangères incompatibles avec nos valeurs fondamentales - ne reçoit pas, à titre principal, pour mission de protéger la réserve héréditaire : la réserve héréditaire n'est donc pas digne d'être comptée au nombre des principes essentiels du droit français objet d'une protection inflexible. À première vue, ces deux décisions paraissent très défavorables à la protection de la réserve héréditaire, puisqu'en principe, la loi successorale étrangère peut servir à déshériter ces enfants sans que l'ordre juridique français n'ait rien à y redire. Mais une porte demeure ouverte en fonction des circonstances concrètes de l'espèce. La Cour de cassation, dans ses arrêts du 27 septembre 2017, envisage l'hypothèse où les héritiers réservataires - en particulier mineurs - selon la loi française seraient laissés dans une situation de « précarité économique ou de besoin » par l'application de la loi successorale étrangère ignorant la réserve héréditaire : même si ce motif laisse perplexe dans la mesure où en droit français, la réserve héréditaire n'a pas de caractère alimentaire, cette situation justifierait néanmoins d'écarter la loi successorale étrangère au profit de la loi française et de faire bénéficier ces enfants dans le besoin de la réserve héréditaire prévue par le droit français.

Pour l'avenir, le sort de la réserve héréditaire dans un contexte international est des plus incertains. Les deux décisions de la Cour de cassation du 27 septembre 2017 précitées ont en effet la particularité d'avoir été rendue avant l'entrée en vigueur d'un texte nouveau, qui a vocation désormais à régir les successions internationales dans l'Union européenne : règlement européen n°650/2012 « successions internationales » du 4 juillet 2012, applicable aux successions ouvertes à compter du 17 août 2015. Or, on n'a beau chercher, aucune des dispositions de ce nouveau règlement européen ne vient soutenir, sans contestation possible ou interprétation nécessaire, la protection de la réserve héréditaire dans un contexte international. On ne trouve rien de précis dans le corps même du texte. Tout au plus trouve-t-on des éléments de protection possible de la réserve héréditaire dans le préambule du règlement, quoiqu'il s'agisse à la vérité, d'éléments éparés et qui ne prévoient qu'une protection *a minima* de la réserve héréditaire. Tout laisse donc à penser que, dans la continuité des décisions rendues par la Cour de cassation le 27 septembre 2017, le temps n'est plus, avec l'entrée en vigueur du règlement européen sur les successions internationales, à la protection de la réserve héréditaire. Le modèle anglo-américain, privilégiant la liberté du disposant et qui permet à une personne de faire ce que bon lui semble de son patrimoine, semble donc avoir le vent en poupe et menacer le modèle continental arc-bouté sur les solidarités familiales impératives.



Les juristes dauphinois et le droit international

The Lawyers of Dauphine and the International Law

The Dauphine Law Research Center (CR2D) has developed its activities in the past few years beyond the traditional field of domestic commercial law to take into account increasingly the European and international law and litigation. Three specific topics spanning both public and private law have been the focus of scholarly activity. First, the theme of Third Party Funding, which is an increasingly important facet of funding big-ticket litigation, particularly international litigation and arbitration. Second, the theme of investment arbitration, which is a form of dispute resolution concerning investment disputes between foreign investors and host states. This is a particularly appropriate area of study for Dauphine given that it is an international topic which is on the crossroads of public international law & international commercial law, as well as public and private law. Third, there has been a focus on the theme of mandatory legal rules in an international sphere, an increasingly important phenomenon. All these three topics have given rise to a range of scholarly activities such as research work and publications, as well as high-profile international conferences held at Dauphine along with institutions such as the French Cour de cassation, or international partners such as Stanford University.

↓ Principalement axée sur le droit des affaires, la recherche menée par l'équipe des juristes de l'Université Paris-Dauphine a acquis ces dernières années une dimension internationale résolument tournée vers le contentieux européen et international. Dans cette logique, le droit commercial international en général et l'arbitrage international en particulier occupent une place centrale parmi les axes de recherche du CR2D. Plusieurs thèmes très novateurs mobilisent l'équipe des juristes en donnant lieu à des recherches collectives, qui sont ensuite intégrées dans les enseignements de Master de droit et se situent au cœur de plusieurs thèses de doctorat.

Trois questions majeures, situées aux confins du droit public et privé des affaires européennes et internationales, illustrent cette dynamique qui associe des chercheurs du monde entier aux travaux de notre Université.

LE « THIRD PARTY FUNDING »

Il s'agit du financement de procédures contentieuses par des tiers financeurs. Depuis quelques années, pareils financements, encore inconnus en Europe au xx^e siècle, connaissent un développement important, s'agissant notamment de contentieux internationaux fort onéreux. Plutôt que de renoncer à agir parce qu'elles ne peuvent en assumer les frais, les parties se tournent vers des financeurs privés. En effet, depuis une dizaine d'années, les organismes spécialisés dans le financement de procès judiciaires et arbitraux se multiplient, et il existe même des sociétés de courtage permettant d'orienter les justiciables vers le financeur le plus adapté à leur litige. Concrètement, le financeur prend en charge tout ou partie des frais de procédure (frais d'avocats, expertise, ...), et obtiendra en retour un pourcentage de l'indemnité obtenue par son client au terme de la procédure.

Or, si une telle pratique pose des questions inédites (obligation de révélation du recours à un tiers financeur devant le tribunal saisi, conflits d'intérêts potentiels entre les avocats, les tiers financeurs et les parties au litige, ...), elle est encore très faiblement réglementée. Seuls certains guides pratiques et codes éthiques élaborés dans un cadre institutionnel mais non-contraignant s'y réfèrent. Faut-il aller plus loin dans la réglementation du phénomène ? Quel type d'encadrement paraîtrait le plus pertinent ? Quels sont les dangers liés au *Third Party Funding* ? Quelles sont les différentes approches du phénomène à travers le monde ?

C'est pour répondre à ces questions, que l'Université Paris-Dauphine s'est engagée dans une réflexion sur ce thème en collaboration avec des chercheurs étrangers d'origines diverses (*University of Tilburg*, ...). Plusieurs séminaires ont été organisés et un colloque sur le « *Third Party Funding in US and Europe* » s'est tenu à l'Université Paris-Dauphine en Septembre 2017. Il associait ces chercheurs à des professionnels — tiers financeurs et avocats — afin de dresser une cartographie claire des enjeux et des règles envisageables pour l'encadrement de cette nouvelle activité.

Il s'agit en effet d'un thème particulièrement intéressant du point de vue du droit comparé, car la pratique s'est d'abord développée dans les pays de *common law*, et notamment en Australie à la fin du xx^e siècle, puis aux États-Unis, au Royaume-Uni et en Allemagne. En France, son apparition est plus tardive. On a d'abord recouru aux tiers financeurs dans le cadre d'arbitrages internationaux, et le phénomène s'est progressivement étendu aux contentieux soumis aux tribunaux étatiques.

L'ARBITRAGE D'INVESTISSEMENT

Mal connu du grand public, qui l'assimile quasi automatiquement aux dérives de l'affaire *Tapie contre Crédit Lyonnais*, l'arbitrage international, lequel consiste dans la saisine de juges privés en lieu et place des tribunaux étatiques, est néanmoins le mode le plus courant de règlement des litiges commerciaux au niveau international. Plusieurs motifs expliquent son succès : la confidentialité d'une procédure privée qui préserve l'image des parties au litige auprès du public, la liberté de choisir ses juges puisque les arbitres sont librement désignés par les parties, et, surtout, la neutralité présumée de juges privés qui n'agissent pas au nom d'un État et sont libres d'appliquer les règles choisies par les parties. Aussi, aucun juriste d'envergure internationale ne saurait ignorer cette pratique qui est enseignée dès la première année de Master de droit à l'Université Paris-Dauphine.

En outre, en marge de l'arbitrage commercial international classique, s'est développée depuis deux décennies une déclinaison de cet outil courant du droit commercial : il s'agit de l'arbitrage d'investissement qui oppose un État à un (ou plusieurs) investisseur(s) privé(s) étranger(s), spécialement adapté pour remédier aux litiges nés des crises économiques et financières des dernières décennies (crise argentine de 2001, crise européenne de 2008), et qui se situe à la frontière du droit international public (qui régit en principe les relations interétatiques) et du droit des affaires internationales (qui régit en principe les rapports entre sociétés et/ou personnes physiques d'origines différentes).

Actuellement, la plupart de ces procédures d'arbitrage d'investissement sont prévues par des traités internationaux de protection des investissements conclus entre deux États (par exemple, la France avec un partenaire étranger), afin de rassurer les investisseurs potentiels de l'autre État partie en leur garantissant un bon traitement de leur investissement. Pour exemple, la France a signé une centaine de traités bilatéraux de protection des investissements dans lesquels elle s'engage notamment à ne pas exproprier les biens étrangers à moins d'une juste compensation financière préalable, et à ne pas décevoir les attentes légitimes des investisseurs en modifiant trop brutalement sa législation.

Comment s'assurer que de telles garanties seront respectées ? Compte tenu de la défiance qui existe à l'égard des tribunaux étatiques de l'État hôte (ayant prétendument violé ses engagements à l'égard des

...

investisseurs), dont l'impartialité n'est pas toujours garantie quand les intérêts étatiques sont en cause, les traités susmentionnés autorisent les investisseurs à s'adresser à un tribunal arbitral, lequel mènera un arbitrage « d'investissement » pour s'assurer que les garanties prévues par les traités ont été respectées. À défaut, l'État concerné est condamné à indemniser l'investisseur.

Pareille pratique contentieuse se développe sérieusement depuis à peine vingt ans, puisqu'elle est réellement née avec la crise économique et financière argentine et les réclamations adressées à l'État argentin par tous les investisseurs étrangers attirés dans les années 90 par la privatisation des services publics argentins. Il s'agit, en outre, d'un contentieux qui pose des questions inédites situées à la frontière du droit public et du droit privé et qui répondent donc à une logique tout à fait singulière.

Au niveau européen, cette pratique a été récemment critiquée et mise en cause par certaines ONG à l'occasion de la signature par l'Union européenne de l'Accord de libre échange avec le Canada, autrement dit le CETA. Que reproche-t-on à l'arbitrage d'investissement ? En pratique, ses opposants soulignent un net déséquilibre des procédures en faveur des seuls investisseurs et ce, au détriment de l'intérêt général qu'incarne l'État hôte de l'investissement. Au sein de l'Union européenne, la Cour de justice de Luxembourg a d'ailleurs clairement condamné le phénomène dans un arrêt rendu le 6 mars 2018 dans l'affaire *Achmea contre République de Slovaquie* en déclarant que de tels arbitrages étaient contraires au droit européen, ce qui soulève de nombreuses interrogations sur l'avenir des contentieux en cause.

Parce que le droit international des investissements est une discipline en pleine construction et en permanente évolution depuis vingt ans, il s'agit d'une discipline particulièrement propice à la recherche. L'Université Paris-Dauphine y participe activement, notamment à travers les thèses de doctorat consacrées ces dernières années aux sujets sensibles de la matière : « Les contributions de la pratique de l'arbitrage d'investissement en Amérique latine au développement de l'arbitrage international » par Hilmer Vasquez-Faucheux (thèse soutenue en 2015), « Le droit des investissements face à l'Union européenne » par Guillaume André-Jean (thèse soutenue en 2016) et « Interactions entre droit des investissements et droits humains » par Martin Sintès (thèse en cours de préparation). Et la matière est désormais enseignée dans différents Master 2 de l'Université Paris-Dauphine (notamment le Master 2 Droit européen et international des affaires et le Master 2 Affaires internationales).

L'IMPÉRATIVITÉ INTERNATIONALE

Enfin, le troisième thème de recherche est l'*impérativité internationale*, qui – dans le cadre du partenariat conclu entre l'Université Paris-Dauphine et la Cour de cassation en juin 2016 – a fait l'objet d'un colloque organisé conjointement en février 2018 à la Cour de cassation, durant lequel sont intervenus des magistrats et des

universitaires français et étrangers pour dialoguer sur cette question fondamentale.

En effet, ces dernières années, en droit international des affaires, l'impérativité internationale s'est considérablement renforcée à travers l'influence grandissante des lois de police (au nombre desquelles figure notamment la majeure partie du droit européen de la concurrence), lesquelles sont incontournables, quel que soit le droit étatique applicable à un litige donné. Or, la multiplication des textes européens qui s'y réfèrent (Règlement européen Rome I de 2008, Règlement Rome II de 2007...) donne lieu à des questions, sinon nouvelles, qui – en tout état de cause – peinent à trouver leurs réponses. C'est à ces questions qu'a été dédiée la journée de travaux précédemment mentionnée.

Dans un premier temps, en partant des problématiques générales de l'impérativité en droit international (identification des lois de police ; distinction avec les concepts concurrents : ordre public, loi d'application immédiate, nécessaire, territoriale ; distinction des lois de police du for et étrangères, d'origine européenne, d'origine d'États tiers...), les intervenants ont pu cheminer vers les questions d'actualité que sont : l'impact des lois de police étrangères (v. dernièrement, l'arrêt rendu par la Cour de justice de l'Union européenne, le 18 oct. 2016, dans l'affaire *Republik Griechenland c/M. Nikiforidis*, aff. C-135/15), les stratégies de contournement de l'impérativité par l'intermédiaire des clauses attributives de juridiction et des conventions d'arbitrage et leurs éventuelles sanctions.

Dans un second temps, parce que la spécialisation du droit international débouche sur des problématiques spécifiques à chaque branche du droit et que les lois de police n'échappent pas à cette tendance, il convenait d'aborder les questions posées dans les principaux domaines du droit des affaires (du droit de la concurrence au droit de la propriété intellectuelle), afin de répondre sous un angle théorique (rapports universitaires) et pratique (réaction de magistrats) à certains problèmes cruciaux des opérateurs du commerce international et de leurs conseils.

Cette journée a fait l'objet d'une publication collective placée sous l'égide de l'Université Paris-Dauphine (*L'impérativité internationale*, éd. Société de législation comparée, 2019).

Les recherches sur les migrations au sein de l'équipe DIAL

Ongoing Research on Migration at DIAL

The links between migration and development represent a major axis in the research agenda of the DIAL team of LEDa. In particular, past and current research has characterized diverse channels through which migration affects economic development and human capital among the left-behind communities, stressing the role of financial remittances. Ongoing projects go further in this direction, notably by studying the impact of migration on inequalities, which depends on local institutions and networks. They also investigate the role that migration can play on the evolution of social norms and political equilibria. The consequences of migration ultimately depend on who migrates and in which conditions, and a global assessment of the migration - development nexus also requires identifying the determinants of departure. Recent projects undertaken at DIAL take this challenge, by characterizing the emergence of new migration aspirations and by questioning the role of information, networks, and climate on individuals' migration decisions.

↓ La migration peut-elle être un facteur de développement dans les pays de départ, et quels sont les mécanismes en jeu dans le lien entre migration et développement ? Cette question fait l'objet d'une part importante des recherches au sein de l'équipe DIAL, dédiée à l'économie internationale et au développement au sein du LEDa. Les migrations, qu'elles soient internes (par exemple, l'exode rural) ou internationales, temporaires ou permanentes, sont en effet souvent une part constitutive du processus de développement. Leur analyse est complexe, car les mécanismes en jeu sont multiples : la migration peut avoir un impact sur les communautés d'origine à court et à long terme ; notamment *via* le départ, les transferts de fonds, ou le retour des migrants.

L'approche économique part de l'hypothèse que la décision de migrer se fonde sur une évaluation des bénéfices attendus du projet migratoire, supérieure à ses coûts. Reste à comprendre si cette décision est individuelle, ou bien prise au niveau d'un ménage ou d'une communauté ; et à identifier la nature des bénéfices attendus et leur répartition. Dans cette perspective, les travaux de S. Mesplé-Somps et A. Al-Mouksit étudient si les transferts des migrants servent à remédier aux chocs transitoires intra-annuels en mobilisant des données collectées au Mali permettant d'apprécier à la fois les effets assurantiels des migrations internes et à l'international. Alors que l'impact de la migration sur la scolarisation des enfants restés au pays fait débat, une autre étude sera menée sur le Mali où le phénomène migratoire est multiple et où les compositions familiales sont complexes en tentant d'identifier des effets différenciés de la migration selon le lien du migrant avec les enfants (S. Mesplé-Somps, F. Arestoff et A. Sougane).

La mise en évidence des bénéfices des migrations pour les communautés d'origine amène à poser la question de la distribution de ces gains parmi la population du pays d'origine. La migration tend-elle à diminuer ou à exacerber les inégalités ? Cette question a fait l'objet de développements théoriques et empiriques dans la littérature récente, qui montrent que l'impact de la migration sur les inégalités dépend à la fois des déterminants de la migration - quels sont les individus qui ont la capacité de partir - et des choix des migrants en matière de transferts et de retour. Cet impact peut aussi évoluer au cours du processus historique de la migration : dans le cas d'un pays d'émigration récente, les migrants font généralement partie des franges relativement aisées de la population, ce qui conduit à un impact plutôt inégalitaire de la migration. La poursuite des migrations tend néanmoins à abaisser le coût individuel du départ, du fait du rôle joué par les anciens migrants et par les réseaux de migrants à destination qui fournissent notamment des informations, par exemple sur les opportunités d'emploi à destination. Ceci peut faciliter le départ d'individus moins aisés, et ainsi affaiblir l'impact inégalitaire de la migration.

L'effet de la migration sur les inégalités dépend donc fortement de la structure et du fonctionnement des

réseaux interpersonnels, qui déterminent l'accès aux informations ; de plus, ces réseaux conditionnent souvent les transferts et obligations vis-à-vis des communautés d'origine. Plusieurs travaux en cours à DIAL étudient ces aspects. E.M. Mouhoud analyse, dans le cas algérien, dans quelle mesure l'effet des transferts de fonds sur la pauvreté dépend des institutions (comités de villages) et, donc, de l'historique de la migration. Il étudie aussi le rôle de la durée de la migration dans ce mécanisme. Dans le cas libanais, et en collaboration avec des chercheurs de l'École d'Économie de Paris et de l'Université Paris Nord, il mène des recherches visant à comprendre l'impact des migrations sur les inégalités selon les caractéristiques migratoires (en particulier, la destination des migrants) mais aussi locales (la composition ethnique et religieuse de la localité d'origine et les circonstances du départ en migration). Dans le cadre d'un programme de recherche portant sur les liens entre réseaux interpersonnels et reproduction des inégalités en Inde, C. Nordman analyse les migrations internes en collaboration avec des socio-économistes et sociologues de l'IRD, de l'Institut Français de Pondichéry et de l'Institut d'études en développement de Madras. Ces migrations de travail sont souvent un moyen d'émancipation, notamment en zone rurale ; mais elles sont, là encore, fortement conditionnées par les liens personnels, communautaires ou extra-communautaires.

Au-delà des impacts financiers des migrations, liés aux gains monétaires des migrants et aux transferts de fonds, des recherches récentes s'intéressent aux transformations socio-politiques que les migrations peuvent également générer, et qui interagissent elles-mêmes avec le développement économique dans les pays d'origine des migrants. Plusieurs projets se développent dans cette direction au sein de DIAL, autour de deux principales dimensions complémentaires l'une de l'autre : celle des impacts sociaux et politiques de la migration, et celle des transferts immatériels. En plus de transférer des fonds, les migrants internationaux et les migrants de retour sont en effet des vecteurs potentiels de transferts d'informations, d'idées et de normes susceptibles d'affecter les dynamiques socio-politiques locales. Ces transferts, et la façon dont ils dépendent des pays de destination, feront l'objet de travaux, en particulier autour de la question des normes de genre, de la pratique de l'excision et de la violence conjugale au Mali, menés par L. Chauvet, F. Gubert, S. Mesplé-Somps et A.-S. Robilliard. Les mécanismes au travers desquels la migration peut affecter les équilibres politiques locaux seront également étudiés sous divers angles, mobilisant des collectes de données originales. Par exemple, une enquête menée par une équipe de DIAL en partenariat avec l'Institut National de la Statistique du Mali renseigne sur le parcours migratoire des membres des conseils communaux maliens. Les données qui en sont issues permettront d'étudier comment l'expérience migratoire affecte l'émergence et la composition des élites locales. Elles seront également utilisées pour interroger les éventuelles spécificités des

...

élus ayant vécu en migration eu égard aux politiques publiques qu'ils mettent en place, et qui affectent le développement local (projets développés par L. Chauvet, F. Gubert, M. Mercier, S. Mesplé-Somps et J.-N. Senne de l'Université Paris-Sud). Le rôle de la diaspora malgache dans la trajectoire politico-économique de long terme de Madagascar, notamment par le biais de ses interactions avec les élites locales, fera également l'objet d'une analyse basée sur des enquêtes en cours auprès de la diaspora malgache et de son tissu associatif en France (projets menés par M. Razafindrakoto, N. Razakamanana et F. Roubaud). Enfin, un projet questionnant le rôle joué par les migrants dans les dynamiques socio-politiques locales, visera à identifier les mécanismes par lesquels les migrants et les réfugiés internationaux peuvent affecter l'évolution de la violence civile dans leur pays d'origine, dans une perspective à la fois théorique et empirique (projet mené par M. Mercier).

La question des impacts de la migration apparaît indissociable de celle des déterminants de la migration : qui part ? La réponse à cette question est complexe, puisque la migration résulte à la fois d'une aspiration à partir, et des moyens (financiers, sociaux, informationnels) pour le faire. Elle dépend aussi du processus historique de la migration, qui modifie les conditions des nouveaux départs, et peut s'intégrer dans un programme collectif de décision. À cela s'ajoutent, enfin, des facteurs externes, notamment politiques et environnementaux, qui doivent être pris en compte pour comprendre l'émergence de nouveaux phénomènes migratoires. Plusieurs travaux en cours à DIAL portent sur ces questions. S. Mesplé-Somps et B. Nilsson, en collaboration avec des géographes, sociologues et anthropologues de l'IRD, du CNRS et des universités Paris Diderot et de Picardie, s'attacheront notamment à identifier l'émergence de nouveaux types d'aspirations à migrer des jeunes dans une région du Mali, Kayes, qui est à la fois un foyer historique de migration, et le lieu d'émergence de nouvelles formes de mobilité, en menant notamment une expérience aléatoire contrôlée. Un autre projet mené par E. M. Mouhoud, en collaboration avec des économistes, sociologues et démographes des universités de Princeton et de New York, visera à expliquer les déterminants de l'émigration des qualifiés dans les pays à régime autoritaire, ainsi que son impact spécifique sur les pays de départ, en développant une approche comparative contrastant les phénomènes de fuite des talents dans les pays arabes et latino-américains. Le rôle de l'accès à l'information dans la décision de migrer, en particulier illégalement, sera par ailleurs étudié dans le cas de la Gambie au travers d'une expérience aléatoire contrôlée menée par F. Gubert, T. M'Bah et des chercheurs de la Banque mondiale et du centre de recherche Novafrica. Le protocole expérimental cherchera à identifier l'impact de l'accès à une information fiable concernant les risques et bénéfices potentiels de l'émigration illégale sur les choix migratoires des jeunes gambiens. Le lien entre changement climatique et migrations fait de plus en

plus question, et appelle à des méthodologies originales de collecte et d'analyse de données. Plusieurs chercheurs de DIAL ont entamé un travail dans ce sens, en établissant une collaboration avec des spécialistes du climat et de l'imagerie de l'environnement (équipe Espace-Dev, Montpellier). Il s'agit de mettre en relation des données d'images satellitaires fines sur l'Afrique de l'Ouest avec des données socio-économiques afin d'estimer le lien entre évolution climatique locale et propension à émigrer (projet mené par F. Gubert).

Enfin, l'importance de la question de l'intégration des migrants sur les marchés du travail dans les pays de destination est appelée à s'amplifier. Plusieurs études ont montré que le processus « d'assimilation économique » est long, coûteux, et très inégal en fonction des caractéristiques individuelles des immigrants et des régimes migratoires. Or, il est dans l'intérêt économique des pays d'accueil de réduire ces coûts, qui ne sont pas supportés uniquement par l'immigrant lui-même mais aussi par la société qui l'accueille. Dans un contexte d'augmentation à moyen terme des flux d'immigration, il est nécessaire d'informer la décision politique par la recherche, en particulier pour améliorer les procédures d'accueil et d'accompagnement. Dans cette perspective, un projet d'enquête auprès de réfugiés récents en France est en cours d'élaboration, porté par E. M. Mouhoud et J. Jarreau, en partenariat avec l'OFPRA, l'organisme en charge de l'asile en France. Les réfugiés sont en effet la catégorie pour laquelle l'assimilation économique est la plus difficile et longue. L'enquête vise à étudier cette question de manière plus précise que ce que les statistiques existantes en France ne permettent de faire.





50 ANS DE RECHERCHE : HIER, AUJOURD'HUI ET DEMAIN

226

227

PARIS-DAUPHINE

L'Économie et la Gestion de la santé à Dauphine

Health Economics and Management at Dauphine

Created in 1973 by Professor Emile Levy, LEGOS (Department of Economics and Management of Health Organisations) joined the Department of Economics of Dauphine (LEDa) when it was created in 2008. LEGOS has been successively directed by Professors Emile Levy, Marie-Ève Joël, Jérôme Wittwer and Brigitte Dormont (since 2012). LEGOS is now the team on Health and Aging Economics of the LEDa (UMR CNRS and IRD n° 8007). Its research aims to better understand how the health system behaves and measures the impact of public policies.

↓ Créé en 1973 par le professeur Emile Levy, le LEGOS (Laboratoire d'Économie et de Gestion des Organisations de Santé) a rejoint le Laboratoire d'Économie de Dauphine (LEDa) lors de sa création en 2008. Le LEGOS a été successivement dirigé par les professeurs Emile Levy, Marie-Ève Joël, Jérôme Wittwer et Brigitte Dormont (depuis 2012). À l'occasion de la transformation des équipes du LEDa en axes, le LEGOS est devenu l'axe Santé et Vieillesse du LEDa.

LE DÉPLOIEMENT DES RECHERCHES EN SANTÉ

Nos recherches ont d'abord porté sur des études macroéconomiques du système de soins et des analyses socioéconomiques. Par la suite ont été abordées les questions d'évaluation médico-économique et d'analyse de l'industrie pharmaceutique avec Claude Le Pen et, sous l'inspiration de Marie-Ève Joël qui a repéré très tôt l'importance du sujet, sur le vieillissement.

L'analyse économétrique de données microéconomiques a été entamée avec l'arrivée d'Agnès Gramain, puis celle de Brigitte Dormont en 2005. Celle-ci a développé un programme de recherche sur la régulation du système de soins, qu'il s'agisse de l'hôpital, de la médecine de ville ou de l'assurance maladie. Avec Jérôme Wittwer et l'arrivée de Florence Jusot s'est aussi déployé un important programme sur les questions d'équité et d'inégalités sociales de santé. Enfin l'arrivée d'Eve Caroli en 2011 a impulsé les recherches sur les interactions entre les trajectoires de santé des individus et leurs trajectoires sur le marché du travail.

QUESTIONS ABORDÉES

Les recherches en économie de la santé visent à analyser le fonctionnement du système de santé et à mesurer l'impact des politiques publiques. Les méthodes économétriques intègrent l'exigence d'un haut niveau de preuve pour la mise en évidence d'un impact causal. Les nouvelles pratiques en micro-économétrie sont exigeantes : si les expérimentations sociales randomisées sont coûteuses et souvent non praticables, l'évaluation des politiques publiques utilise maintenant des méthodes basées sur des expériences naturelles qui permettent de construire un contrefactuel qui peut être utilisé comme un échantillon de contrôle. Voici quelques recherches récentes à titre d'illustration.

Les inégalités sociales de santé et la prévention des comportements à risque

En matière de prévention, les politiques de santé publique mettent souvent l'accent sur le rôle des comportements individuels, dits comportements à risque. Derrière cet accent mis sur les décisions individuelles, il y a un présumé de responsabilité personnelle dans les problèmes de santé, avec le projet chez certains assureurs privés d'introduire un système de bonus/malus pour encourager les comportements vertueux. De tels raisonnements rendent nécessaire une évaluation de l'importance relative des efforts individuels et des circonstances dans l'explication des inégalités sociales de santé. Les travaux menés dans l'équipe ont montré que le

rôle de l'effort individuel est minime et n'explique pas plus de 6,1 % à 8,1 % des inégalités sociales de santé.

Assurance maladie et accès aux soins

Nous avons examiné l'impact causal de couvertures complémentaires très généreuses sur le développement des dépassements d'honoraires, et l'impact du chèque santé sur l'accès à une complémentaire. Les résultats montrent qu'une meilleure couverture complémentaire augmente significativement le montant moyen des dépassements et que les dépassements d'honoraires créent des problèmes d'accès aux soins de spécialistes. Par ailleurs, les évaluations obtenues grâce à une expérimentation sociale randomisée montrent qu'une majoration du « chèque santé » aurait un effet faible mais significatif sur le recours à l'Aide à la Complémentaire Santé.

Régulation de l'offre de soins et accès aux soins

En France la fermeture en 1990 de l'accès des généralistes au secteur 2 (où les dépassements d'honoraires sont autorisés) visait à améliorer l'accès aux soins en fixant les tarifs au niveau conventionnel. L'évaluation économétrique de cette réforme a montré que les médecins impactés (contraints à respecter les tarifs conventionnels) se sont mis à pratiquer plus d'actes, à rencontrer plus de patients, et à assumer plus de gardes et d'astreintes, ce qui a contribué à améliorer l'accessibilité des soins.

Les interactions santé-travail

L'analyse des interactions santé travail est en lien avec les questions politiques sur les effets croisés des réformes des systèmes de retraite et d'assurance maladie. Les économies visées par nombre de pays européens sur la partie retraite des dépenses de protection sociale peuvent-elles dégrader la santé des individus ? Pareillement, les réformes visant à flexibiliser le marché du travail peuvent-elles créer de la précarité délétère pour la santé ? En examinant l'impact causal du sentiment d'insécurité de l'emploi sur la santé dans 22 pays européens nous trouvons que l'impact délétère de l'insécurité de l'emploi sur la santé n'est confirmé que pour un sous-groupe d'indicateurs de santé.

SHARE

L'enquête européenne SHARE (*Survey on Health, Ageing and Retirement in Europe*) est une enquête longitudinale concernant plus de 80 000 européens âgés de 50 ans et plus. L'enquête est réalisée tous les deux ans depuis 2004 et se déroule dans vingt-sept pays. Les données recueillies portent sur la santé des répondants et de leurs proches et sur leur situation sociale et économique.

Depuis 2012, nous assumons la partie française de l'enquête SHARE. Cette responsabilité portée par Dauphine permet d'animer les recherches sur le vieillissement en France et d'être membre fondateur du GIS « Institut de la Longévité, des vieillesse et du vieillissement » créé en 2018.

...

LA SANTÉ ET LE LABORATOIRE D'ÉCONOMIE DE DAUPHINE

De nombreux collègues en économie du développement ou spécialistes d'assurance abordent des sujets de santé et les questions de risques climatiques qui sont traitées au LEDa touchent à des enjeux de santé publique. Par ailleurs, les économistes théoriciens collaborent à des projets où il s'agit d'améliorer les règles internationales de négociation du prix des médicaments, ou de revoir le processus de choix et d'affectation des postes d'internat en France

Le LEDa dispose d'un écosystème favorable pour ses recherches en santé, avec un Master « Économie et Gestion de la santé », doté de six parcours au choix en M2, en formation initiale ou continue, la Chaire Santé Dauphine qui offre des financements depuis 2007, la présence *in situ* de l'équipe de l'enquête SHARE. Il faut aussi souligner l'appartenance du LEDa à PSL, qui regroupe l'institut Curie, l'institut Pasteur, et plusieurs institutions dont des chercheurs en SHS travaillent sur la Santé.

NOS PROJETS

Nos centres d'intérêt s'inscrivent dans les préoccupations des politiques de santé publique : inégalités sociales de santé, prévention, régulation de l'assurance maladie et de l'offre de soins, compréhension des facteurs de vieillissement cognitif, normes d'équité dans l'évaluation médico économique, rôle du travail et des réformes des retraites sur les chocs de santé. L'enquête SHARE nourrit nombre de travaux, mais beaucoup de projets utilisent aussi d'autres sources de données microéconomiques.

Sur le vieillissement et les soins de long terme, un projet vise à étudier l'effet de la longévité attendue du conjoint sur la prise d'assurance-dépendance. Un autre projet s'intéressera à l'impact des normes familiales sur la santé des personnes âgées.

L'assurance dépendance est considérée comme trop peu développée en France, comme dans les autres pays, par rapport aux besoins anticipés. L'explication généralement avancée invoque l'importance de l'anti-sélection dans la demande d'assurance dépendance. Nous allons examiner les impacts combinés de l'antisélection, mais aussi de la sélection dans la faible couverture de la population.

Sur la régulation et le financement du système de santé, il est projeté d'étudier l'efficacité de diverses politiques de régulation de l'offre de soins : le lien entre pratique des dépassements et qualité des soins des médecins et la pertinence du *numerus clausus* comme outil de maîtrise de l'offre de soins sur le territoire. Un autre projet vise à améliorer l'affectation des étudiants de médecine aux postes d'internes en France.

Plusieurs projets portent sur les assurances complémentaires dans le cadre de la Chaire Santé, notamment un sur les réseaux de soins en optique et un autre sur le repérage des mécanismes de sélection liés à l'aléa moral en assurance maladie. Un autre projet vise à

évaluer l'impact des réformes d'éducation sur l'accès aux soins, la santé et les comportements à risque dans les pays en développement. Enfin, il est prévu d'examiner comment définir un protocole plus efficace des négociations internationales sur le prix du médicament.

Dans le cadre du programme de recherche sur les *inégalités des chances en santé*, en collaboration avec l'INCA une analyse randomisée en milieu hospitalier sera menée afin de tester l'impact de la mise en place d'incitations financières sur la probabilité des femmes enceintes à arrêter de fumer. Par ailleurs, un projet « Santé et Accès aux soins des migrants en Europe » est engagé avec des chercheurs de l'Université de Leeds.

Sur le thème de la *Valeur de la santé*, une équipe internationale est formée depuis 2009 pour exploiter les données issues d'une enquête d'évaluation contingente réalisée par l'équipe grâce à un financement de la Chaire Santé. En se référant au concept de revenu équivalent santé proposé par Marc Fleurbaey (*Princeton University*), cette enquête, réalisée auprès d'un échantillon de 3 000 individus représentatifs de la population française, vise à saisir la valeur conférée à la santé par les individus, afin d'utiliser les préférences santé/revenu ainsi mesurées pour guider les politiques de santé. Ce programme a conduit à la publication de plusieurs articles, qui montrent comment il est possible d'introduire des critères d'équité dans l'évaluation médico-économique.

Sur les *interactions santé-travail*, une recherche s'intéressera à l'impact du passage à la retraite sur la consommation de soins. Une autre cherchera à comprendre la part des différences de santé perçues entre hommes et femmes imputables à des différences dans les problèmes de santé « objectifs » ou aux biais de déclaration. D'autres recherches examineront les effets de la réforme des retraites de 1993 sur la santé. Un article antérieur a déjà montré que la réforme de 1993 a eu un effet négatif sur la santé des personnes concernées, porté par les individus n'ayant pas le baccalauréat. L'idée est ici de chercher à déterminer l'effet d'un décalage de l'âge de départ à la retraite dû à la réforme de 93 sur la probabilité de décès.

LE PROJET HUME, PSL - DAUPHINE - CURIE

Le projet d'une structure de recherche et d'aide à la décision en évaluation médico-économique a obtenu le soutien de la présidence de PSL. La structure, appelée « HUME », (*Health Unit in Medical Evaluation*) est en cours de mise en place.

Il s'agit de mutualiser les compétences disciplinaires qui existent dans les composantes de PSL afin de développer des compétences académiques en évaluation économique. HUME a vocation à répondre aux appels à projets en matière d'évaluation des technologies innovantes et aux demandes émanant d'acteurs publics, tout en poursuivant le programme de recherche fondamentale « Valeur de la santé » centré sur la prise en compte de principes d'équité dans l'évaluation.



Interactions entre joueurs : l'invention des jeux à champs moyen

Interactions between Players: the Invention of Mean Field Games

Discovered in the middle of the 2000 by two members of the Ceremade, J.-M. Lasry et P.-L. Lions, Mean Field Games (MFG) have known an impressive development, becoming in a few years one of the main research topics in Applied Mathematics. MFG theory is a mathematical framework for large classes of games with continua of players in continuous time or continuous state. The applications are numerous, ranging from complex socio-economical modelling (heterogenous agent models), mathematical finance, crowd modelling, epidemiology, ... Many economic models, appearing as specific classes of MFG, are outside the scope of the usual analytical tools used by economists: They need the MFG framework, tools and methods, to be formally written, mathematically analyzed, solved and simulated. This is for instance the case of heterogeneous agents models with common noises: They have to be written in terms of the main equation appearing in MFG, the "Master Equation".

↓ Introduits dans le milieu des années 2000 par deux membres du Ceremade, J.-M. Lasry et P.-L. Lions, les *jeux à champs moyen* ont connu ces dernières années un succès remarquable, devenant un des axes de recherche les plus dynamiques en mathématiques appliquées. Pour donner une idée de cet engouement, on peut dire que les articles fondateurs ont été cités plus d'un millier de fois ; les cours, en français, de P.-L. Lions au Collège de France portant sur le sujet sont très souvent visionnés, même par un public non francophone ; au Ceremade même, une quinzaine de chercheurs permanents travaillent régulièrement sur le sujet. Les notes qui suivent cherchent à expliquer un peu le contexte et les enjeux de cette théorie.

Les jeux à champs moyens (on abrègera par MFG, pour *Mean Field Game*) cherchent à modéliser des comportements dynamiques collectifs à partir des comportements individuels. Par exemple, il s'agit de formaliser le mouvement d'une foule à travers les objectifs individuels des piétons ; ou bien décrire l'évolution de quantités macro-économiques à partir du comportement supposé rationnel des consommateurs ou des producteurs.

L'analyse mathématique des interactions entre individus est l'objet de la théorie des jeux, créée par Von Neumann-Morgenstern dans les années 1940. Lorsque ces jeux sont dynamiques, c'est-à-dire que les actions et les états des joueurs évoluent au cours du temps (comme pour les piétons) et lorsque l'état et/ou le temps est continu, on parle de jeux différentiels. Les modèles dynamiques fournis par la théorie des jeux, s'ils sont bien compris d'un point de vue mathématique, sont malheureusement peu souples en pratique. Hormis des cas très simples, il est presque impossible de trouver des solutions explicites ou numériques dès que le jeu dépasse deux ou trois individus. De plus, le comportement qualitatif des solutions est souvent très difficile à appréhender.

L'idée centrale des jeux à champs moyen est que les problèmes complexes de théorie des jeux à plusieurs joueurs se simplifient drastiquement lorsque le nombre d'agents devient très grand et que ceux-ci sont indistinguables. Par indistinguishable, on veut dire que les agents, même s'ils ont des dotations ou des états différents, ont des préférences identiques. L'expression « grand nombre » est utilisée pour signifier que l'impact d'un individu sur le système est (presque) négligeable. L'idée d'étudier des jeux avec un grand nombre de joueurs indistinguables avait été exploitée avec succès par Aumann, mathématicien et prix Nobel d'économie en 2005, dans les années 1960 pour les jeux classiques (sans composante dynamique).

L'extension de ces idées aux jeux dynamiques – qui est précisément l'objet des jeux à champs moyen – n'a pas été immédiate. De fait, cette généralisation requérait un formalisme (équations aux dérivées partielles ou équations différentielles stochastiques) alors absent de la théorie des jeux. L'idée centrale est venue de l'analogie avec les systèmes de particules en physique (domaine par ailleurs largement étudié au Ceremade), pour lesquels il est

commun de considérer qu'une particule typique interagit avec son environnement uniquement à travers la densité de répartition des autres particules, le « champs moyen ». C'est donc en croisant des idées de théorie des jeux (différentiels) et des idées issues de la physique que les modèles à champs moyen sont nés. La grande différence entre les modèles MFG et les modèles issus de la physique mathématique tient au fait que, dans les modèles MFG, les agents, supposés rationnels, anticipent le futur et donc agissent de manière stratégique. En particulier, ils cherchent à deviner l'action future des autres agents, et donc le comportement global de la population.

La théorie des jeux à champs moyen a été présentée à travers une série d'articles par J.-M. Lasry et P.-L. Lions au milieu des années 2000, puis par P.-L. Lions à travers ses cours au Collège de France. Des idées proches apparaissent à la même période dans des contextes différents. En ingénierie, le système MFG couplé (dont il sera question plus loin) est introduit par des chercheurs canadiens, P. Caines, M. Huang et R. Malhamé. En économie également, des modèles similaires sont discutés dès le milieu des années 1990 dans un cadre sensiblement différent (dynamiques discrètes en temps notamment) : S. Aiyagari, puis T. Bewley, M. Huggett et P. Krussel et A. Smith introduisent les modèles d'agents hétérogènes dans lesquels, au lieu d'un agent représentatif, on considère des agents possédant des caractéristiques différentes, comme des revenus ou des niveaux de richesses différents. Le cadre est celui des anticipations rationnelles. Si ces modèles sont très largement répandus en économie, l'accent y est souvent mis sur les équilibres stationnaires ou bien sur l'analyse de ces modèles via des simulations numériques. L'introduction de la théorie des jeux à champs moyens et leur étude mathématique a permis de donner un cadre mathématique général pour formuler ces modèles. Par exemple, le travail de Krussel-Smith, n'est pas une modélisation formelle faute des concepts et des outils mathématiques nécessaires pour écrire les équations du modèle. Cette incapacité à formaliser le modèle laissait ouverte la réponse à la question centrale soulevée par les auteurs. C'est la lecture du travail de Krussel-Smith à l'instigation de R. Lucas qui a conduit J.-M. Lasry et P.-L. Lions à inventer la « *Master Equation* » (cf. plus loin) et à en faire la clef de voute des MFG dans le cas général où les agents sont soumis à la fois à des aléas communs et à des risques idiosyncratiques. Ce cadre général permet de donner certaines réponses générales aux questions d'existence de solutions, d'unicité éventuelle de la solution, d'étude de la stabilité, de méthodes d'analyse numérique...

Depuis leur introduction au milieu des années 2000, la théorie des MFG a connu un succès impressionnant et apparait sous différentes formes dans de nombreux domaines. Pour ne citer que quelques exemples : les modèles socio-économiques complexes d'agents hétérogènes (dont il a été question plus haut), la finance mathématique, la modélisation des mouvements de foule, l'épidémiologie, la cybersécurité, les modèles de long terme pour les industries minières ou encore la modélisation des foules de robots (développé par

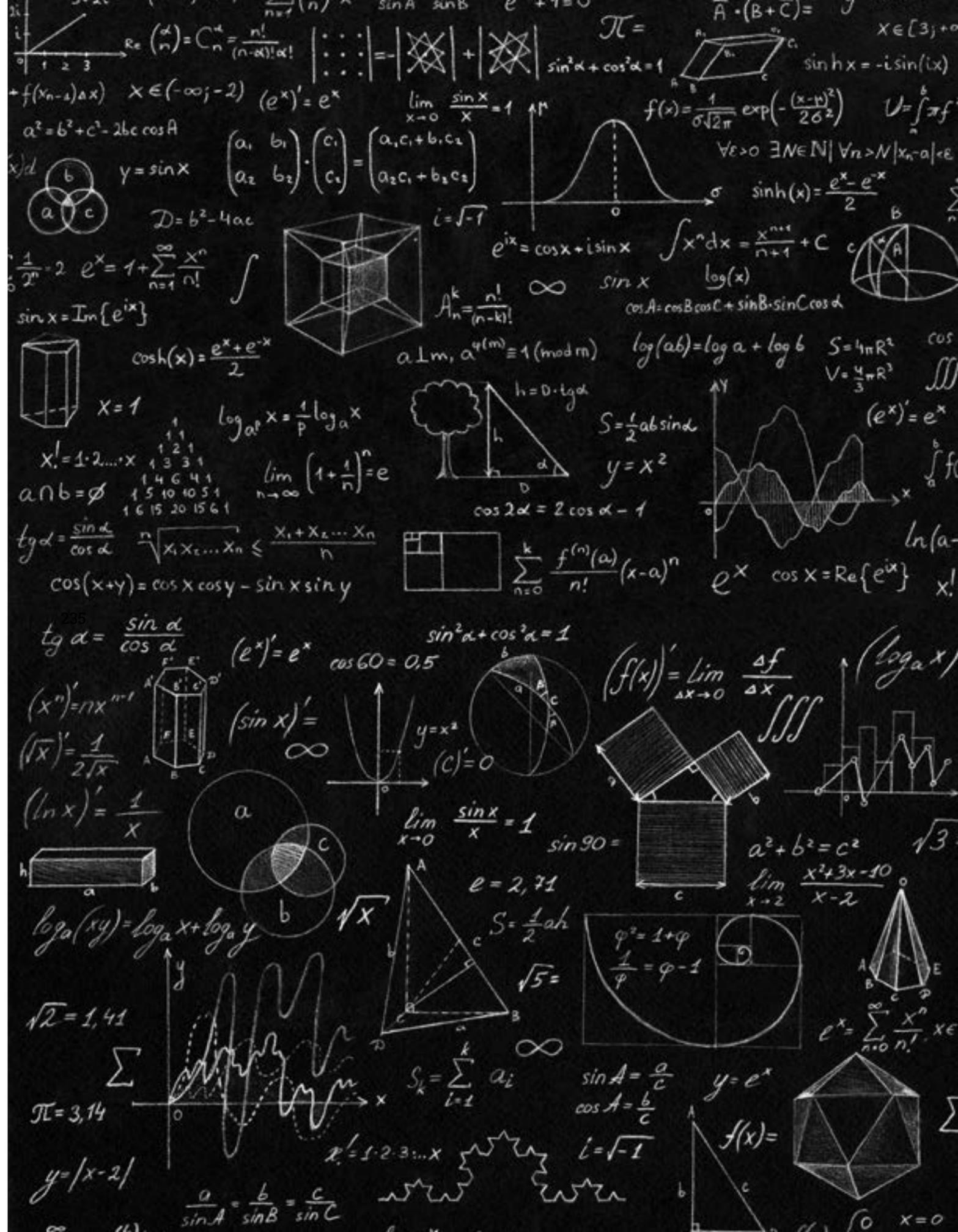
...

J.-M. Lasry et P.-L. Lions pour Huawei). Dès le départ, la théorie a été construite en vue des applications, et plusieurs d'entre elles ont été développées par J.M. Lasry, P.-L. Lions et leur équipe dans la start-up « MGF Labs », qui appartient maintenant à Havas Media.

D'un point de vue plus théorique, les jeux à champs moyen se situent à l'intersection de la théorie des jeux (plusieurs agents interagissent), de la théorie des processus et du contrôle stochastique (ces agents optimisent un problème de contrôle stochastique), des équations aux dérivées partielles (pour décrire la valeur d'un agent ainsi que l'évolution de la population) et de la théorie des champs moyen (pour faire le lien entre le modèle microscopique à un nombre fini d'agents aux modèles MFG à un nombre infini d'agents).

Le modèle le plus répandu de MFG utilise un système couplé de deux équations : une équation de Hamilton-Jacobi décrivant la fonction valeur d'un joueur (c'est-à-dire son coût minimal), et dans laquelle la distribution des autres joueurs intervient en tant que paramètre ; et une équation de Fokker-Planck décrivant l'évolution de la distribution des joueurs, et dans laquelle le comportement des petits joueurs influe sur les termes de dérive et de diffusion. Cependant, ce système MFG couplé s'est avéré assez vite insuffisant dans de nombreuses situations : par exemple il ne rend pas bien compte du bruit commun (type Krussel-Smith), ni n'explique la limite de champs moyen. À la fin des années 2000, J.-M. Lasry et P.-L. Lions développèrent une théorie plus générale, où le système MFG couplé intervient, dans les cas simples, comme système de caractéristiques d'une équation appelée la « master equation ». Cette « master equation » est une équation aux dérivées partielles assez originale : elle est posée sur l'espace des mesures de probabilités ; elle est également non-locale, non linéaire et « sans principe de comparaison », ce qui rend son étude particulièrement ardue. Pour donner un sens à cette équation J.-M. Lasry et P.-L. Lions ont été amenés à développer un calcul différentiel original dans l'espace des mesures, en résonance avec des idées parallèles venant de la théorie du transport optimal. Soulignons enfin que, dans le cas d'un nombre d'états finis, la « master equation » prend la forme un système hyperbolique d'un type nouveau.

La « master equation » s'impose maintenant comme l'équation type pour étudier les MFG. Elle est l'équation naturelle pour comprendre les MFG avec « bruit commun ». C'est elle qui permet l'analyse de la limite de jeux dynamiques lorsque le nombre d'agents tend vers l'infini. Cependant l'analyse de cette équation en est probablement à ses débuts : on sait qu'elle est bien posée dans des cas assez simples (sous une condition de « monotonie » par exemple), cas où la solution est assez régulière. Cependant, on sait qu'elle ne peut pas être toujours régulière et que des discontinuités apparaissent en général en temps fini. Décrire la solution après l'apparition des discontinuités est d'ailleurs le problème ouvert le plus important de la théorie.



La théorie du transport optimal

The Optimal Transportation Theory

After a brief account of the history of optimal transportation since the seminal work of Monge at the end of the XVIIIth century, this article aims at emphasizing the numerous contributions of the CEREMADE to this very active stream of research.

↓ L'histoire du transport optimal remonte à la fin du XVIII^e siècle, 1781 plus précisément, avec le «Mémoire sur la théorie des remblais et des déblais» de Gaspard Monge. Étant donnés deux domaines de même volume, A et B, imaginons que A représente un tas de sable et B un trou dans lequel on cherche à déblayer le sable, le géomètre français se demande quelle est la meilleure manière de remplir B avec le sable contenu dans A. Le critère d'optimalité sous-entendu dans l'expression «meilleure manière» est assez naturel et intuitif, il s'agit du coût de transport total, c'est-à-dire l'intégrale sur A du coût de transport (la distance dans le cas considéré par Monge) entre la position initiale et terminale de chaque grain de sable. En revanche, la difficulté du problème réside dans le fait que l'application de transport T qui prescrit la destination T(x) (dans B) d'un grain de sable situé en x (dans A) doit conserver le volume, ce qui constitue une contrainte terriblement non-linéaire.

Il faut attendre les travaux de Léonid Kantorovich dans les années 1940 pour que des progrès véritablement significatifs soient réalisés sur le problème de transport posé par Monge. Alors que Monge cherchait une application de transport, c'est-à-dire imposait de manière rigide que tous les grains de sable situés au même endroit aient la même destination, Kantorovich relâche cette contrainte en autorisant que la masse située en un point soit éventuellement distribuée. Ce faisant, il obtient une relaxation linéaire dont il est évident qu'elle admet des solutions et surtout il introduit un problème dual qui lui permet de caractériser les solutions via un principe de décentralisation par les prix. On imagine aisément que les idées novatrices de Kantorovich furent accueillies un peu fraîchement dans l'URSS des années 1940, elles finiront néanmoins par être reconnues à leur juste valeur, Kantorovich fut en effet récompensé en 1975 par le prix Nobel d'économie. En raison de sa souplesse et de la puissance des arguments de dualité, la formulation relaxée par Kantorovich du problème de Monge est aujourd'hui celle qui est la plus utilisée et est connue sous le nom de problème de Monge-Kantorovich.

L'étape décisive suivante fut franchie grâce aux travaux du mathématicien français, Yann Brenier qui à la fin des années 80, résolut le problème de Monge avec coût quadratique (c'est à dire la distance au carré alors que Monge considérait le cas de la distance). Yann Brenier démontra que sous des hypothèses très générales, ce problème de transport optimal a une solution unique et que cette solution est caractérisée par le fait qu'elle est le gradient d'une fonction convexe. Les gradients de fonctions convexes étant une généralisation multi-dimensionnelle assez naturelle des applications monotones, le transport optimal de Brenier apparaît donc comme une extension de la notion bien connue de réarrangement monotone. D'autre part, le résultat de Brenier fait un pont tout à fait naturel entre le transport optimal et la théorie de l'équation de Monge-Ampère qui justement exprime la conservation de la mesure via un changement de variables qui dérive d'un potentiel convexe. Il est à noter que la médaille Fields d'Alessia

Figalli récompense - entre autres - ses contributions remarquables à la théorie de la régularité pour l'équation de Monge-Ampère.

Si Monge et Kantorovich n'ont (à ma connaissance en tout cas) pas de lien avec Dauphine, Yann Brenier en revanche a effectué sa thèse sous la direction de Guy Chavent au CEREMADE. Avec Jean-David Benamou (un ancien étudiant de Dauphine !), Yann Brenier a découvert que le problème de transport quadratique a une version dynamique consistant à minimiser l'énergie cinétique parmi les solutions de l'équation de continuité reliant les mesures source et cible. Cette formule dynamique de Benamou-Brenier, inspirée de la mécanique des fluides, a eu un impact considérable, une des raisons de ce succès peut s'expliquer par l'interprétation Riemannienne formelle qui en découle et qui permet d'avoir une vision beaucoup plus géométrique et intrinsèque sur l'espace des mesures de probabilités muni de la distance (dite, improprement, de Wasserstein) héritée du transport optimal. Ce point de vue particulièrement fécond fut développé notamment par Félix Otto qui a en particulier mis en évidence une structure de flot gradient pour la distance de Wasserstein derrière de très nombreuses équations d'évolution comme l'équation de la chaleur et celle des milieux poreux.

Depuis près d'une trentaine d'années maintenant, suite aux travaux pionniers de Brenier, le transport optimal a connu des développements théoriques et appliqués spectaculaires auxquels de nombreux chercheurs du CEREMADE ont très activement contribué. Est-il besoin de rappeler que Cédric Villani, médaillé Fields et auteur de deux monographies de référence sur le transport optimal, a effectué sa thèse sous la direction de Pierre-Louis Lions ? Dès les années 1990, Ivar Ekeland avait noté une analogie frappante entre la condition de monotonie cyclique qui caractérise le support des plans de transport optimaux et les travaux de Jean-Charles Rochet sur la théorie des incitations effectués au CEREMADE dans les années 1980. C'est sans doute aussi beaucoup sous l'influence scientifique de Jean Dolbeault que s'est développée la thématique du transport optimal en tout cas dans ses connexions avec les inégalités fonctionnelles. Je me souviens avoir trouvé à mon arrivée au CEREMADE, au début des années 2000, un incroyable groupe de jeunes (et souvent turbulents) chercheurs liés à Jean et s'intéressant au transport optimal : François Bolley, Ivan Gentil, Arnaud Guillin et Bruno Nazaret. Puis c'est Filippo Santambrogio, issu de l'école italienne de calcul des variations, qui a rejoint le laboratoire en 2007, amenant outre des thématiques nouvelles (transport branché, transport congestionné...), un enthousiasme communicatif et un goût réel pour les mathématiques appliquées, son livre sur le transport optimal traduit remarquablement bien l'impact du domaine en mathématiques appliquées. Gabriel Peyré, chargé de recherches CNRS au CEREMADE à l'époque et spécialiste de traitement d'images, a eu lui aussi un impact déterminant sur le développement du transport

...

dans ses aspects applicatifs et numériques. Avec François Xavier-Vialard, Gabriel Peyré a été pionnier dans l'utilisation des méthodes de transport en traitement d'images. Patrick Bernard, en collaboration avec Boris Buffoni a mis en évidence des liens étroits entre le transport optimal et la théorie d'Aubry-Mather intervenant dans l'étude du comportement de long terme de dynamiques Lagrangiennes. Pierre Cardaliaguet, arrivé au CEREMADE en 2010, a, par son expertise en contrôle optimal, calcul des variations et théorie des jeux, stimulé de nouveaux axes de recherche, connexes au transport optimal. Il me semble ici aussi important de rappeler que Pierre-Louis Lions, dans ses cours au Collège de France sur les jeux à champ moyen, a mis en évidence le rôle des distances de type transport quand on fait tendre le nombre de joueurs vers l'infini, ces cours ont eu une grande influence sur beaucoup d'entre nous. Ce n'est ici qu'un aperçu sommaire, certainement partiel et incomplet des contributions du CEREMADE au transport optimal. Il reflète néanmoins la richesse intellectuelle et la diversité des échanges qui caractérisent le CEREMADE.

Je voudrais pour conclure évoquer l'aspect numérique et algorithmique et la résolution effective de problèmes de transport optimal. Paradoxalement, jusqu'au début des années 2010, en dépit de l'essor du transport optimal et de ses multiples applications, le développement de méthodes numériques efficaces pour le transport optimal était très en retard. La situation s'est rapidement inversée notamment pour le transport optimal quadratique avec l'introduction par Quentin Mérigot d'idées de géométrie algorithmique pour le transport optimal semi-discret (d'une mesure à densité vers une mesure discrète). Au même moment, les méthodes de régularisation entropique furent remises au goût du jour pour le transport optimal par Marco Cuturi, qui a montré leur efficacité. Le fait que deux jeunes chercheurs de premier plan, Quentin Mérigot et Jean-Marie Mirebeau, rejoignent le CEREMADE en tant que chargés de recherches CNRS, nous a convaincus, Jean-David Benamou, Gabriel Peyré et moi que le moment était idéal pour la création d'une équipe projet commune entre INRIA et Dauphine autour des méthodes numériques pour le transport optimal. C'est à partir de cette initiative, soutenue aussi bien par le CEREMADE que par l'INRIA, que fut créée officiellement fin 2015 l'équipe MOKAPLAN. L'équipe (voir <https://team.inria.fr/mokaplan/>) est au cœur du développement de plusieurs méthodes devenues état de l'art dans le domaine et permettant de traiter des problèmes de transport provenant de domaines applicatifs aussi divers que la mécanique des fluides, la théorie des jeux à champ moyen, l'économie, le traitement d'images et le *machine learning*.



↓ Ludwig Boltzmann, à la fin du XIX^e siècle, a eu l'immense mérite de donner une explication à l'irréversibilité en physique. Sur des bases purement empiriques, cette notion d'irréversibilité avait été progressivement dégagée par des ingénieurs et des savants soucieux d'expliquer le fonctionnement des moteurs et en particulier des machines à vapeur. Des cycles de Carnot à la notion d'entropie proposée par Rudolf Clausius, la thermodynamique avait progressivement dégagé des lois sans pour autant leur donner un fondement conceptuel, et cela posait problème. À l'échelle microscopique, les lois de la physique sont réversibles : comment pouvait-on comprendre l'irréversibilité à l'échelle du laboratoire ? Boltzmann avait alors démontré qu'un mécanisme réversible, comme une collision parfaitement élastique entre deux boules de billard, produisait dans le cas d'un système avec un très grand nombre de particules une dynamique irréversible lorsqu'on l'étudiait avec des méthodes statistiques. Ce résultat, dit Théorème H, a tout de suite attiré l'attention des mathématiciens : lors du congrès international des mathématiciens tenu à Paris en 1900, David Hilbert énonça une question, connue sous le nom de *Sixième problème de Hilbert*, qui porte précisément sur les extensions et les conséquences du travail de Boltzmann.

Très vite l'équation de Boltzmann a suscité énormément de travaux en physique mais, à quelques exceptions près, il a fallu attendre le troisième tiers du XX^e siècle pour voir des progrès significatifs sur la théorie mathématique de cette équation et plus généralement des équations cinétiques. Entretemps la théorie du mouvement Brownien s'était largement développée, avec dès 1905 les travaux d'Albert Einstein, qui avaient conduit à la mesure du nombre d'Avogadro, une quantité qui fixe le nombre d'atomes dans une masse de matière donnée. Plus tard la notion d'entropie avait été re-découverte en théorie de l'information par Claude E. Shannon et l'on cite souvent à ce propos une phrase attribuée à John von Neumann mais dont de nombreuses versions circulent : « *You should call it entropy for two reasons : first because that is what the formula is in statistical mechanics (...) and in the second place, no one understands entropy very well, so in any discussion you will be in a position of advantage* ». Toujours en théorie de l'information suivirent très rapidement des estimations remarquables comme l'inégalité de Blachman-Stam, due à Nelson M. Blachman et Aart J. Stam, vingt ans avant les travaux de Leonard Gross sur l'inégalité de Sobolev logarithmique.

Dans les années 1980, l'étude de la ré-entrée d'engins spatiaux (avec en particulier le projet Hermès), et aussi l'étude des plasmas et des semi-conducteurs a amené toute une génération de mathématiciens appliqués à s'intéresser aux équations cinétiques avec des méthodes d'analyse multi-échelles, d'équations aux dérivées partielles non-linéaires et de calcul scientifique. Les résultats de Ronald J. DiPerna et Pierre-Louis Lions en 1989 sur les solutions renormalisées de l'équation de Boltzmann ont fourni un cadre compatible avec les contraintes de la physique et en particulier avec la notion

...

De l'irréversibilité en physique aux taux optimaux de convergence

From Irreversibility in Physics to Optimal Convergence Rates

The explanation of irreversibility by L. Boltzmann at the end of the 19th century raised the attention of mathematicians to the notion of entropy, which was later reinvented several times in various areas of science ranging from probability theory to information theory. The issue of quantitative estimates is fundamental for applications: what is the rate of convergence of a solution to an equilibrium, if there is any? First results on this issue were obtained only quite recently, based on renormalized solutions of kinetic equations, mass transport and hypocoercive methods. Researchers of Dauphine and their collaborators played a central role in this area, at the interface of nonlinear analysis, measure theory and probability theory.

...

d'entropie, compatible aussi avec les notions de solutions faibles en mécanique des fluides introduites dès 1934 par Jean Leray, et compatibles enfin avec le développement de codes numériques réalistes. Cette avancée spectaculaire a valu en 1994, parmi d'autres travaux, la médaille Fields à Pierre-Louis Lions, professeur à l'Université Paris-Dauphine depuis 1981. Décrire l'irréversibilité d'un point de vue conceptuel était certes très utile, mais en donner une estimation quantitative devenait dès lors un enjeu considérable, qui avait été mis en avant, entre autres, par Carlo Cercignani. Décider si la convergence vers un état d'équilibre était exponentielle ou non a suscité de nombreux travaux dans les années suivantes, auxquels des chercheurs de Dauphine ou formés à Dauphine ont joué un rôle important, en particulier dans le cadre de réseaux européens. Par exemple, Benoît Perthame, ancien élève de P.-L. Lions et jusqu'à récemment directeur du LJLL, anciennement laboratoire d'analyse numérique commun à Paris VI et Paris VII, a dirigé le réseau Hyke qui a permis de former de très nombreux chercheurs à travers l'Europe. Cette communauté a aussi su se nourrir d'idées importées de divers champs de recherche, comme les équations hyperboliques, la théorie de l'information et celle des diffusions non-linéaires, ou encore de concepts apportés par la théorie des semi-groupes et des probabilités. Il convient de mentionner, par exemple, les apports de Giuseppe Toscani ou ceux de Dominique Bakry. Progressivement a émergé l'idée selon laquelle la mesure par une entropie du taux optimal de convergence vers un équilibre ou une solution stationnaire pouvait se traduire dans bien des cas par le calcul de la constante optimale dans une inégalité fonctionnelle.

Cette observation nécessite un détour supplémentaire. Dans le but d'étudier des problèmes de mécanique des fluides en météorologie, Jean-David Benamou et Yann Brenier introduisirent en 1999 une méthode de dualité pour décrire le transport de masse. Par ailleurs Richard Jordan, David Kinderlehrer et Felix Otto venaient d'interpréter l'équation de la chaleur comme le flot-gradient de l'entropie pour une certaine topologie ; dit autrement, les solutions de cette équation fondamentale suivent, dans un espace de fonctions déterminé par l'entropie et pour une topologie appropriée, une *ligne de plus grande pente* ; trouver des taux de convergence exponentiels pouvait dès lors s'expliquer par de simples propriétés de convexité. Ces travaux allaient donner le signal de départ d'un effort de recherche considérable, qui trouve aujourd'hui de nombreuses applications et permet de décrire aussi bien des réseaux d'infrastructure en économie urbaine que de traiter des images ou encore de créer de nouveaux algorithmes pour l'intelligence artificielle. Très représentée au CEREMADE, avec en particulier le rattachement d'une équipe Inria, la théorie du transport de masse est un exemple d'application des mathématiques qui couvre tout un champ de recherche, depuis des théories abstraites de flots-gradients dans des espaces de probabilités jusqu'à des applications concrètes en imagerie médicale ou en traduction automatique. Une partie des travaux de Cédric Villani, qui a soutenu sa thèse et son habilitation à

diriger des recherches à Dauphine, se situent précisément à la base de toutes ces questions. Ce sont autant ses travaux, basés sur le transport de masse et ses applications en géométrie différentielle que ses recherches sur les méthodes d'entropie et l'estimation des taux de convergence dans l'équation de Boltzmann qui lui ont permis d'être récompensé à son tour par la médaille Fields, en 2010. Mais au-delà des récompenses prestigieuses, on doit souligner qu'à Dauphine c'est toute une génération de jeunes chercheurs qui a développé ces méthodes, à l'interface entre calcul des variations (transport de masse), théorie de la mesure, probabilités, étude des semi-groupes et analyse non-linéaire.

Pour revenir à la question des taux de convergence dans les équations cinétiques, il convient maintenant d'expliquer une de leurs propriétés. Du fait de l'équation de Newton et de ses variantes, la dynamique microscopique est déterminée par des équations du second ordre : les forces modifient les vitesses des particules et c'est le transport qui conditionne ensuite leur répartition spatiale, permettant éventuellement d'établir la convergence vers un état d'équilibre global. En particulier les collisions, ou les noyaux de diffusion pour les modèles aléatoires de collisions, n'agissent que sur les vitesses. Si ces collisions sont susceptibles d'amener rapidement le système à un équilibre local des vitesses, il faut en revanche du temps pour que l'équilibrage se fasse au niveau des positions. La théorie de l'hypocoercivité a été développée précisément pour mesurer à la fois le taux de convergence dans l'espace des phases, c'est-à-dire en position et en vitesse, et pour définir une notion de distance dans laquelle on mesure ce taux. Cédric Villani a là-encore contribué largement au développement et à la popularisation de l'hypocoercivité, mais il convient de remonter aux travaux de Lars Hörmander sur l'hypoellipticité, et même d'Andreï N. Kolmogorov, pour trouver les premiers résultats dans cette direction. Les théories hypoelliptique et hypocoercive sont maintenant bien distinctes, l'hypocoercivité permettant de traiter de noyaux de collisions sans effets régularisants. Trouver les estimations optimales des taux de convergence (c'est-à-dire, en pratique, le pire scénario possible pour la convergence), déterminer les espaces fonctionnels les plus larges possibles par des méthodes d'élargissement spectral, caractériser les meilleures notions de distance, tout cela constitue aujourd'hui un domaine de recherche très actif qui mobilise plusieurs chercheurs du Ceremade et des collaborateurs très actifs, comme Christian Schmeiser ou Clément Mouhot, professeurs à Vienne et à Cambridge respectivement. En 100 ans, les objectifs ont bien changé : il ne s'agit plus de définir l'irréversibilité ou d'en tirer des conséquences pour l'existence de solutions, mais de mesurer des taux de convergence avec des notions de distance appropriées et d'en donner les meilleures estimations possibles.



La matière à l'échelle microscopique : analyse non linéaire et mécanique quantique

Understanding Matter at the Microscopic Scale: non Linear Analysis and Quantum Mechanics

Quantum mechanics is a physical theory which describes our world at the microscopic scale (that of atoms and molecules). It involves very advanced mathematical methods, the development of which can then have an impact on other sciences. This article presents some of the key results obtained at CEREMADE starting from 1980.

↓ Depuis le début des années 80, l'équipe d'analyse non linéaire du CEREMADE s'est fortement investie sur les aspects mathématiques de la physique quantique, sous l'impulsion de Pierre-Louis Lions. C'est encore aujourd'hui l'une des meilleures équipes de recherche au niveau mondial sur ce sujet.

$$\left(-\Delta - \sum_{j=1}^N \sum_{m=1}^M \frac{z_m}{|x_j - R_m|} + \sum_{1 \leq j < k \leq N} \frac{1}{|x_j - x_k|} + \sum_{1 \leq \ell < m \leq N} \frac{z_\ell z_m}{|R_\ell - R_m|} - \lambda \right) \Psi = 0$$

La mécanique quantique est utilisée par les physiciens et les chimistes pour *décrire la matière à l'échelle microscopique*, c'est-à-dire celle des atomes et des molécules dont nous sommes tous composés ainsi que tous les objets qui nous entourent. Ce monde microscopique est très différent de celui auquel nous sommes habitués, car il est complètement probabiliste et rien n'y est jamais sûr à 100 %. Dans ce modèle, les particules sont toujours en plusieurs lieux à la fois et se précipitent en un lieu précis, choisi de façon aléatoire, uniquement si on cherche à savoir leur position. Ce comportement quantique étrange disparaît à notre échelle, mais il a tout de même des conséquences importantes visibles. Il explique par exemple la couleur des objets, ainsi que les propriétés très spécifiques de certains systèmes comme les lasers et les supraconducteurs utilisés dans les machines à IRM, ainsi que de multiples autres à fort impact technologique.

Le caractère probabiliste de la mécanique quantique a, dès l'invention de cette théorie au début du XX^e siècle, requis l'emploi de mathématiques avancées. De nombreux outils mathématiques ont d'ailleurs été inventés dans ce cadre avant d'être exportés et utilisés ailleurs.

Le centre de cette théorie est l'équation de Schrödinger qui décrit le comportement de n'importe quelle molécule à l'équilibre, que ce soit une petite molécule d'eau H₂O ou une macro-molécule comme l'ADN. Cette équation possède deux inconnues (λ et Ψ) dont la connaissance impliquerait une description complète de la molécule en question. Il peut sembler très étonnant que cette équation, qui tient sur une seule ligne, puisse décrire les comportements très divers de toutes les molécules de notre monde, ces derniers étant ensuite à l'origine de l'extraordinaire diversité biologique. C'est indéniablement l'un des plus grands succès de la physique théorique du XX^e siècle. Pourtant, cette prouesse mathématique cache un défaut majeur : sauf dans certains cas très particuliers, on ne sait pas résoudre l'équation de Schrödinger, même de façon approchée avec un ordinateur, car la complexité du calcul est gigantesque. Pour cette raison, les physiciens ont introduit une panoplie de modèles approchés, utilisés dans des algorithmes informatiques, et qui permettent aujourd'hui d'avoir une bonne idée du comportement de molécules pas trop grandes. Ces modèles sont pour la plupart non linéaires, ce qui signifie que l'on doit résoudre une équation du même type que celle ci-dessus, mais où Ψ apparaît plusieurs fois au lieu d'une seule (par exemple sous forme de puissances).

Les mathématiciens du CEREMADE ont travaillé dans diverses directions sur ce thème. Des préoccupations mathématiques courantes sont les problèmes d'existence et d'unicité de solutions à ces équations non linéaires, puis la construction de méthodes algorithmiques permettant d'en déduire une approximation suffisamment précise, en un temps relativement court. Malheureusement, il est souvent très difficile d'obtenir des informations qualitatives précises sur les solutions (des comportements spécifiques à telle ou telle molécule par exemple), et les mathématiciens se concentrent fréquemment sur des propriétés de structure des modèles physiques. Une autre question intéressante est de comprendre le lien entre les différentes échelles et, par exemple, comment un modèle quantique tend à se comporter à notre échelle macroscopique.

Ces questions mathématiques générales ne sont bien sûr pas limitées à la mécanique quantique et c'est pourquoi de nombreux outils développés par le CEREMADE dans ce cadre ont ensuite trouvé des utilisations dans des domaines applicatifs complètement différents, par exemple en économie et en sciences sociales.

L'une des découvertes les plus remarquables a été celle de la *méthode de « concentration-compacité »* par Pierre-Louis Lions de 1983 à 1985, qui a servi à montrer l'existence de solutions à certaines équations non linéaires issues de la mécanique quantique, avant de devenir un outil de base utilisé par tous les mathématiciens. Les articles de recherche présentant cette méthode totalisent à ce jour près de 2000 citations, ce qui est énorme en mathématiques. La méthode développée par Pierre-Louis Lions est basée sur le fait que les états d'équilibre d'une molécule sont ceux qui minimisent une certaine quantité appelée « énergie », tout comme une bille lâchée dans un trou finit toujours au fond car elle doit minimiser son altitude à cause de la gravité. Ainsi, pour montrer qu'une molécule existe dans une forme particulière, la méthode revient essentiellement à montrer qu'elle augmenterait son énergie dans le cas hypothétique où, par exemple, elle se couperait en deux. Comme de nombreuses questions en sciences se ramènent à minimiser une certaine valeur que l'on peut interpréter comme une énergie, la découverte de Pierre-Louis Lions a eu un impact considérable dans de nombreuses branches des mathématiques appliquées.

Dans le même thème on doit mentionner les contributions de Pierre-Louis Lions dans la « théorie des points critiques », qui concerne cette fois les états d'équilibre instable d'un système, c'est-à-dire qui ne minimisent pas l'énergie. Par exemple, si en montagne on désire passer d'une vallée à une autre en montant le moins haut possible, on devra passer par un col. Le col est un point d'équilibre instable car une bille posée exactement en ce point devrait en principe rester immobile, mais finit cependant toujours par tomber d'un côté ou de l'autre s'il y a un peu de vent. De nombreuses

...

questions en mécanique quantique et ailleurs se ramènent à trouver de tels états d'équilibre instables. C'est le cas des états excités électroniques qui expliquent la couleur des objets. Plus récemment, l'auteur de cet article a lui-même étudié les réactions chimiques, qui se modélisent mathématiquement exactement comme un col de montagne.

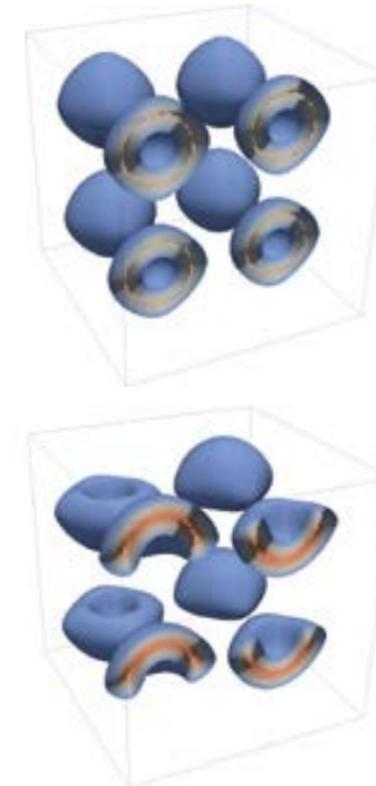
Dans les années 1990-2010, ces développements ont permis d'aborder un autre sujet pour lequel les chercheurs du CEREMADE sont devenus des spécialistes mondiaux : la *mécanique quantique relativiste*. Cette théorie, due à Pierre-André-Marie Dirac dans les années 1920, cherche à concilier la mécanique quantique avec la relativité restreinte développée par Einstein au début du xx^e siècle. La difficulté majeure est justement que, dans ce modèle, les états d'équilibre recherchés sont tous extrêmement instables. Ce sont des sortes de cols de montagne situés au bord d'une falaise sans fond, qui plonge indéfiniment. Jean Dolbeault, Maria J. Esteban, Philippe Gravejat, Éric Séré et l'auteur de cet article ont réussi à développer divers outils mathématiques adaptés à cette situation incongrue. Ces travaux ont eu un impact intéressant sur les calculs pratiques effectués par les chimistes et les physiciens. Un projet ANR interdisciplinaire a d'ailleurs débuté en 2018 sur le sujet, en collaboration avec une équipe de chimistes de Toulouse.

Les progrès réalisés pour les systèmes relativistes ont aussi permis d'étudier les *systèmes périodiques*. On pense à une particule qui évolue dans un milieu se répétant à l'identique indéfiniment comme un damier, ce qui mène à des équations très similaires à celles des électrons relativistes de Dirac. Les systèmes périodiques sont pertinents pour modéliser beaucoup de matériaux qui nous entourent et posent des questions numériques importantes, dont la résolution peut ensuite avoir un impact sur les développements technologiques actuels. C'est encore un sujet très actif au CEREMADE.

Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, une autre question importante est de comprendre comment un très grand nombre de particules quantiques peuvent vivre ensemble pour *former des objets macroscopiques* (nous sommes composés de l'ordre de 10^{23} de telles particules). Dans une série de travaux commençant dans les années 90, Xavier Blanc, Isabelle Catto, Claude Le Bris et Pierre-Louis Lions ont examiné le comportement de plusieurs modèles non linéaires lorsque le nombre de particules devient extrêmement grand. Leurs découvertes ont permis de mieux cerner le lien entre différentes échelles spatiales.

Il est aussi naturel de se demander si certains modèles approchés ne deviennent pas de très bonnes approximations de l'équation de Schrödinger, dans des situations particulières. C'est le cas du *régime de champ moyen* pour lequel on se place dans la situation où les particules du système sont très nombreuses, très proches les unes des autres, tout en interagissant assez peu. Dans ce cas, le système quantique se simplifie et peut être décrit par des quantités moyennes macroscopiques plus

Figure 3
Simulation numérique de la densité électronique dans un cristal périodique. À droite, on observe une brisure de symétrie due à la présence d'une forte non linéarité dans les équations. Thèse de doctorat de Julien Ricaud (2017), sous la direction de l'auteur.



simples, qui sont solutions d'une équation non linéaire. Les travaux dans cette thématique sont abondants car le régime de champ moyen est omniprésent dans de nombreux domaines des sciences, dès lors qu'il y a un grand nombre d'acteurs cherchant à adopter un comportement moyen cohérent. En s'inspirant des modèles de physique quantique et classique, Pierre-Louis Lions et Jean-Michel Lasry ont ainsi pu transposer ce paradigme aux sciences sociales, en inventant les *jeux à champ moyen* qui sont détaillés dans un autre article.

En conclusion, les chercheurs du CEREMADE ont une forte activité de recherche dans le domaine de la physique quantique, reconnue au niveau international. Ce domaine pose des questions mathématiques difficiles, dont la résolution est susceptible d'avoir un impact dans d'autres domaines des sciences et sur les développements technologiques. Cette universalité des concepts est l'une des forces des mathématiques.



Mathématiques de l'aléatoire et physique statistique

Mathematics of Randomness and Statistical Physics

Randomness is an essential aspect of complex and disordered systems, and such systems can be found everywhere in nature. It took a very long time to identify the mechanical rules of randomness and to construct efficient mathematics for randomness. In this text, we briefly recall the history of the mathematics of randomness such as probability and statistics and their deep links with statistical physics. We also briefly explain the role and the importance of these domains in a university such as Paris-Dauphine centered around organizations and decision making.

↓ Les mathématiques se sont construites au fil du temps à partir de préoccupations concrètes liées notamment à la mesure et au partage. Elles sont directement issues de notre appréhension logique et quantitative du monde physique. De nos jours, elles forment un immense *corpus* fait de concepts épurés et de méthodes de pensée. Elles ont acquis une autonomie intellectuelle et constituent désormais un monde parallèle au monde physique, un monde logique et imagé, au langage universel, exploré par les mathématiciens du monde entier. Les mathématiques constituent également le langage, efficace, de la physique, tandis que la physique continue de les nourrir et de les questionner vigoureusement. Les mathématiques comportent d'autre part un pan algorithmique puissant appelé informatique, dont l'importance concrète est de plus en plus marquée. Les mathématiques sont enfin connectées, plus généralement, bien au-delà de la physique, par la quantification et la modélisation, à toutes les sciences du monde physique : biologie, chimie, sciences humaines, sciences sociales.

Les succès concrets ou utilitaires des mathématiques tiennent beaucoup à des modélisations mécanistes simples, accessibles au calcul et aux algorithmes, et capables de produire des prédictions. La théorie de la gravitation, la théorie de la relativité, et la théorie de l'information en sont des exemples emblématiques qui ont révolutionné notre quotidien, souvent à notre insu.

Les phénomènes de nature aléatoire ou statistique ont longtemps résisté aux tentatives de mathématisation. Pour certains grands esprits mécanistes de la fin du XVIII^e siècle, comme Pierre-Simon de Laplace, le hasard n'est que l'expression de notre ignorance des causes. Lorsque l'on lance une pièce de monnaie, le résultat final, pile ou face, reste difficile à prévoir car nous connaissons mal les conditions initiales du lancer, ce qui empêche d'exploiter le caractère prévisible de la trajectoire. Tout se passe comme si l'incertitude sur la condition initiale se propageait le long de la trajectoire. Lorsqu'une pierre dévale le flanc d'une montagne à partir de son sommet, sa position finale, au bas de la montagne, est difficile à prévoir car non seulement les conditions initiales sont mal connues, mais aussi parce que les irrégularités du terrain, dont on ignore le détail, provoquent un très grand nombre de chocs successifs qui dévient sa trajectoire. Des phénomènes similaires sont à l'œuvre dans la plupart des phénomènes naturels complexes, comme par exemple l'évolution des espèces, la génétique, la démographie, le cours des actifs financiers, les mouvements de foule, etc.

La mécanique du hasard, tapie sous le désordre apparent, a finalement été découverte par petites touches successives. Cela débute sans doute dès le XVII^e siècle avec l'étude des jeux de dés et de cartes, mais aussi avec l'étude des statistiques en sciences humaines et sociales. Les grandes figures de cette époque sont entre autres Pierre de Fermat, Thomas Bayes, Abraham de Moivre, Jacques Bernoulli, et Pierre-Simon de Laplace. Cela se poursuit ensuite tout le long du XIX^e siècle avec

notamment l'étude des mécanismes de l'évolution des espèces de Charles Darwin, de la statistique humaine et sociale d'Adolphe Quételet, de la théorie cinétique des gaz et de la mécanique statistique de James Maxwell, Ludwig Boltzmann, et Willard Gibbs, et de la génétique des populations de Gregor Mendel.

Un concept important de cette mécanisation est le suivant : plutôt que de chercher à décrire l'évolution d'un seul système complexe, il est fructueux de considérer l'évolution de la distribution statistique de systèmes complexes du même type. Bien souvent, l'évolution de la description statistique du hasard n'est plus hasardeuse et obéit à une loi déterminée. Si au lieu d'étudier la chute d'une seule pierre de la montagne, nous analysons un grand nombre de pierres, nous voyons apparaître l'évolution de la distribution de la position le long des trajectoires. C'est cette distribution et son évolution qui deviennent déterminées et qui permettent de fabriquer des intervalles de prédiction pour la position. Cette approche s'applique aussi bien au problème de la particule de poussière dans un liquide qu'à celui des actifs financiers mentionnés précédemment, étudiés sous cet angle par Albert Einstein, Marian Smoluchowski, et Louis Bachelier notamment, au tout début du XX^e siècle.

Le XX^e siècle est aussi le siècle de la mécanique quantique de Max Planck, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger, et Louis de Broglie, profondément probabiliste, le siècle de la théorie de l'information de Claude Shannon, tout aussi probabiliste, qui a révolutionné la communication et l'informatique, et aussi le siècle de la mathématisation rigoureuse des probabilités et de la statistique, avec notamment Ronald Fisher, Andreï Markov, Andreï Kolmogorov, Joseph Doob, Kiyoshi Itô, Paul Lévy, et tant d'autres, peu connus du grand public.

La position finale de la pierre qui dévale la montagne est en quelque sorte une superposition d'un grand nombre de déviations désordonnées. Il en va de même pour la position d'une particule de poussière dans un liquide qui subit un grand nombre de chocs dus aux molécules du liquide, ou pour la valeur d'un actif financier qui subit un grand nombre d'achats ou de ventes. La physique statistique a précisément pour objet l'étude de tels systèmes complexes constitués d'un grand nombre de constituants plus simples. Il s'agit en un sens de la science des systèmes désordonnés ou critiques, de leurs fluctuations et de leurs phénomènes de seuil ou transitions de phase. La physique statistique se serait peut-être appelée aujourd'hui physique stochastique ou physique aléatoire ou tout simplement physique des systèmes désordonnés. Elle constitue le versant physique de la mathématisation du hasard, et utilise les mêmes outils et concepts mathématiques que la théorie des probabilités et de la statistique.

Les mathématiques font partie des disciplines fondatrices de l'Université Paris-Dauphine, établissement centré autour des organisations et de la décision. L'étude



...

des systèmes complexes y occupe une place naturelle et importante. Les mathématiciens probabilistes du Centre d'enseignement et de recherche en mathématiques de la décision (CEREMADE) sont pour beaucoup d'entre eux versés en physique statistique. Il y a dans leurs travaux une unité de méthodes et une variété de modèles. La théorie des grandes déviations, par exemple, peut être utilisée pour quantifier des probabilités d'événements rares ou exceptionnels dans les systèmes désordonnés complexes, quelle qu'en soit la nature, pourvu qu'ils soient justiciables de la même modélisation. Ainsi un problème de biologie des populations peut ressembler à un problème d'économie, quand ils ont la même physique, et être abordés avec les mêmes outils. Il en va de même de la théorie des matrices aléatoires, de la théorie des processus stochastiques, etc. C'est là une force des mathématiques : l'identification de structures communes dans des situations concrètes d'apparences différentes.

La présence d'une certaine physique mathématique au CEREMADE peut surprendre les esprits pour qui une université comme Paris-Dauphine, centrée sur les organisations et sur la décision, est de fait éloignée de la physique. C'est mal comprendre la nature même des mathématiques et de la mathématisation du monde. Il y a en effet une physique des algorithmes, une physique de l'économie, une physique des organisations, une physique des réseaux, etc, bref une physique des systèmes complexes. Lorsque ces systèmes complexes sont désordonnés, il s'agit naturellement de physique statistique, tout simplement. À titre d'exemple, la physique de la finance a donné lieu à ce qu'on appelle parfois l'éconophysique, qui connaît un certain succès dans le monde avec par exemple James Simons, Edward Thorp, Doyne Farmer, ou Jean-Philippe Bouchaud.

Se priver de la physique statistique reviendrait à se priver d'un pan important et pertinent de la modélisation mathématique des systèmes complexes désordonnés. Bien entendu, cette physique est une physique conceptuelle, mathématique, dont le caractère expérimental peut passer par des simulations numériques sur ordinateur sans nécessiter de laboratoire d'expérimentation.

La recherche autour des mathématiques de l'aléatoire au CEREMADE ne se résume pas à de la physique statistique. Cette dernière ne constitue qu'un courant culturel important qui irrigue les recherches, notamment celles des probabilistes. Parmi les recherches les plus fructueuses menées dans ce courant, on peut citer notamment les travaux autour de la fluctuation des processus de Markov et de leur comportement en temps long, autour des méthodes de Monte-Carlo pour la simulation numérique, autour des cascades multiplicatives et de la théorie quantique des champs, autour des marches aléatoires en environnement aléatoire et/ou en paysage aléatoire, autour des polymères, autour des spectres de grandes matrices et grands graphes aléatoires, des systèmes de particules en interaction de type champ moyen, etc. Les travaux



menés au CEREMADE par le physicien et mathématicien Massimiliano Gubinelli autour de l'analyse des trajectoires aléatoires rugueuses, précurseurs de ceux de Martin Hairer, médaillé Fields 2014, méritent sans doute une mention spéciale.



Statistique bayésienne et méthodes de Monte-Carlo

Bayesian Statistics and Monte Carlo Methods

Over the last twenty years, CEREMADE has acquired a certain visibility within French statistical research centres in the specific fields of Bayesian statistics and Monte Carlo simulation methods. Although these fields are also represented in many institutions, particularly those involving former CEREMADE members such as the University of Montpellier, CEREMADE has given priority to these themes in its statistical research, recruitment and teaching. For example, it launched a European Master in Bayesian Statistical Science between six universities in 2008, EuroBayes, whose link with La Sapienza Roma still operates at M2 level with a regular flow of exchange students.

↓ Au cours des vingt dernières années, le CEREMADE a acquis une certaine visibilité au sein des centres de recherche français en statistique dans les domaines spécifiques de la statistique bayésienne et des méthodes de simulation, dites de Monte Carlo. Même si ces domaines sont également représentés dans de nombreuses institutions, en particulier celles impliquant d'anciens membres du CEREMADE comme l'Université de Montpellier, le CEREMADE a donné la priorité à ces thèmes dans ses recherches en statistique, ses recrutements et ses enseignements. Par exemple, il a lancé un master européen de science statistique bayésienne entre six universités en 2008, EuroBayes, dont le lien avec La Sapienza Roma fonctionne toujours au niveau du M2 avec un flux régulier d'étudiants en échange.

Pour définir précisément ce qui rend les deux domaines de la statistique bayésienne et des méthodes de Monte-Carlo spécifiques et connectés, rappelons que l'analyse statistique est en règle générale fondée sur un modèle probabiliste, dont les données ou observations seraient des réalisations. Prenons par exemple le cas d'un modèle probabiliste paramétré par un vecteur de paramètres θ : les observations sont supposées être des réalisations indépendantes d'une variable aléatoire de densité (ou distribution) $f(x|\theta)$ et sont utilisées pour inférer sur le paramètre θ . Dans les modèles réguliers, l'accumulation infinie des observations permet d'identifier ce paramètre θ . La caractéristique principale de l'analyse statistique bayésienne est de probabiliser l'espace des paramètres inconnus de sorte à quantifier le degré d'incertitude demeurant sur ces paramètres, une fois les observations prises en compte. La mesure de probabilité, $\pi(\theta)$, est dite *a priori*, par opposition à la mesure *a posteriori* qui est la version actualisée

$$\pi(\theta|x) = \pi(\theta) \times f(x|\theta) / \int \pi(\theta) f(x|\theta) d\theta$$

fournie par le théorème de Bayes. La mesure *a posteriori* prend en compte les observations et l'information qu'elles apportent sur θ .

Cette notion de probabilité est dite *épistémique* ou *subjective* car elle ne correspond pas à un processus physique de génération des paramètres, au contraire de celui supposé (ou apposé) sur les données elles-mêmes et dit *fréquentiel* ou *fréquentiste* du fait de la stabilisation des fréquences d'un événement quand le nombre d'observations sur cet événement croît suffisamment. Le modèle subjectif utilisé par l'analyse statistique bayésienne sert à exprimer par une mesure probabiliste la réduction d'incertitude produite par le passage de la mesure *a priori* à la mesure *a posteriori*. Cette notion est relative au choix initial de la mesure *a priori*, au contraire des lois de probabilité construites sur des estimateurs, fonctions des observations, qui sont absolues (et dépendantes du paramètre inconnu). Elle peut par exemple résumer l'information disponible sur le modèle et les valeurs possibles du paramètre, mais aussi les croyances (*beliefs*) de la personne conduisant l'analyse. Elle est donc subjective et très rarement unique. De ce fait, l'approche bayésienne s'est trouvée fort peu représentée dans la

recherche en statistique depuis (Fisher et) le milieu du xx^e siècle, en particulier en France, et aurait pu disparaître (comme le relate Sharon McGayne dans son livre *The Theory that Would Not Die*, 2010), si ce n'est pour deux arguments. D'une part, la théorie statistique a exhibé que, dans de nombreux modèles et pour différents critères d'optimalité, les procédures (ou estimateurs) optimales s'expriment comme des procédures bayésiennes. C'est par exemple le cas des théorèmes de classes complètes établis par Abraham Wald dans les années 50, ainsi que des théorèmes de Bernstein-von Mises mis en lumière par Lucien Le Cam dans les années 1960 et sur lesquels Judith Rousseau (membre du CEREMADE) a travaillé et publié dans les années passées, comme détaillé ci-dessous.

Il est en fait surprenant que des références plus anciennes à l'analyse statistique bayésienne ne soit pas présentes au sein du CEREMADE, du fait du «décision» constituant les dernières lettres de cet acronyme. La prise de décision en milieu aléatoire (ou en présence d'observations bruitées) s'accommode en effet naturellement d'une modélisation bayésienne qui intègre à la fois la fonction de perte ou d'utilité associée à la décision et l'information *a priori* disponible sur les paramètres du modèle statistique sous-jacent. Dans de nombreuses situations, les procédures optimales de décision sont d'ailleurs nécessairement des procédures bayésiennes, comme l'ont démontré Judith Rousseau et Christian Robert dans plusieurs de leurs travaux. La théorie des jeux fait aussi appel à des notions bayésiennes.

La contribution principale de Judith Rousseau à la renommée du CEREMADE dans le domaine des statistiques bayésiennes (et pour laquelle elle a reçu plusieurs prix) tient en la caractérisation des distributions *a priori*, et leur impact sur l'inférence dans les espaces de paramètres de grandes dimensionnels voire de dimension infinie. Elle a ainsi obtenu des résultats quantitatifs de concentration de la loi *a posteriori* sous différents types de modèles et pour différentes familles de priors, des descriptions précises de cette loi, comme des conditions générales pour que la propriété de Bernstein von Mises s'applique. Elle a notamment démontré que les modèles de mélanges non paramétriques, largement utilisés en pratique, bénéficient de fortes propriétés théoriques, car ils conduisent à des taux de concentration optimaux pour un large éventail de classes de fonctions. Elle a de fait été l'une des tout premiers chercheurs à obtenir de tels résultats dans des modèles généraux de dimension élevée ou infinie et des modèles semi-paramétriques. De plus, elle a étendu ces outils aux procédures bayésiennes empiriques, fournissant ainsi un support théorique au renouveau induit par Efron.

Une seconde raison pour la renaissance de l'approche bayésienne et son adoption par de nombreuses branches de recherche tient à la découverte, à la fin des années 80, qu'il existe des méthodes numériques (informatiques) génériques et puissantes permettant de représenter la loi *a posteriori* par un échantillon représentatif. Le concept de méthodes de Monte-Carlo remonte évidemment à plus

...

loin, mais la structure des problèmes bayésiens et l'utilisation d'un référentiel probabiliste ont conduit à la conception de méthodes de simulation fondées sur les chaînes de Markov par des chercheurs en analyse d'image, cf. Geman and Geman (1984), et en modèles hiérarchiques, cf. Gelfand and Smith (1990). Une présentation intuitive de la méthode est d'imaginer un déplacement par mouvements aléatoires sur une surface, correspondant aux lignes de niveau de la loi *a posteriori* $\pi(\theta|\mathbf{x})$, de sorte que le passage de θ_1 à θ_2 ait une probabilité proportionnelle à $\pi(\theta_2|\mathbf{x})/\pi(\theta_1|\mathbf{x})$: sur le long terme et en supposant que la chaîne ainsi créée puisse explorer tout l'espace, les points θ_1 et θ_2 seront visités avec des fréquences proportionnelles à $\pi(\theta_1|\mathbf{x})$ et $\pi(\theta_2|\mathbf{x})$. Bien que ce concept puisse paraître plus idéal que pratique, il en existe des implémentations simples et applicables à de nombreux modèles. Cette facilité de mise en œuvre a suscité l'intérêt de nombreuses disciplines dès le début des années 90, en particulier grâce au développement d'un logiciel appelé BUGS, par des chercheurs de Cambridge (UK). Christian Robert (CEREMADE) a travaillé sur ces méthodes depuis leur éclosion, à la fois sur les plans théorique, méthodologique, et applicatif. Ses livres, *Monte-Carlo Statistical Methods* (2004) et *Introduction to Monte-Carlo Methods with R* (2007), co-écrits avec George Casella, constituent des ouvrages de référence sur le sujet.

Un lien plus ancien mais de première importance entre le CEREMADE et la simulation peut être trouvé en la personne de Claude Kipnis, probabiliste et enseignant chercheur au CEREMADE jusqu'à sa mort accidentelle au milieu des années 1990. En effet, celui-ci publia en 1986 un théorème central limit avec S. R. Srinivasa Varadhan, du Courant Institute, New York. Ce résultat, dont le titre complet est *Central limit theorem for additive functionals of reversible Markov processes and applications to simple exclusions* (Communications in Mathematical Physics, 104, 1-19), caractérise la loi limite de chaînes de Markov ergodiques, stationnaires et réversibles sous des conditions particulièrement simples. Il est, depuis l'éclosion des méthodes de Monte Carlo par chaînes de Markov, l'une des références avancées pour la validation de ces techniques, et se trouve de ce fait cité dans une grande partie des publications sur le sujet, même si l'article n'était pas destiné à cette publication. (Le premier article évoquant ce résultat pour la simulation date de 1994.)

Le cadre bayésien est utile dans de nombreux domaines d'application, notamment lorsque les modèles considérés sont complexes, qu'il est essentiel de proposer une estimation de l'incertitude des résultats ou qu'on s'intéresse à des fonctions complexes des paramètres du modèle. Le paradigme bayésien peut permettre une interprétation plus intuitive des résultats, une meilleure visualisation de l'incertitude et une prise en compte de toutes les sources de variabilité, assurant ainsi une inférence plus robuste. Ceci se fait néanmoins au prix d'un temps de calcul plus important, et d'un exercice de modélisation plus difficile.

Par exemple, Robin Ryder a consacré une partie de son temps de recherche au CEREMADE à la modélisation

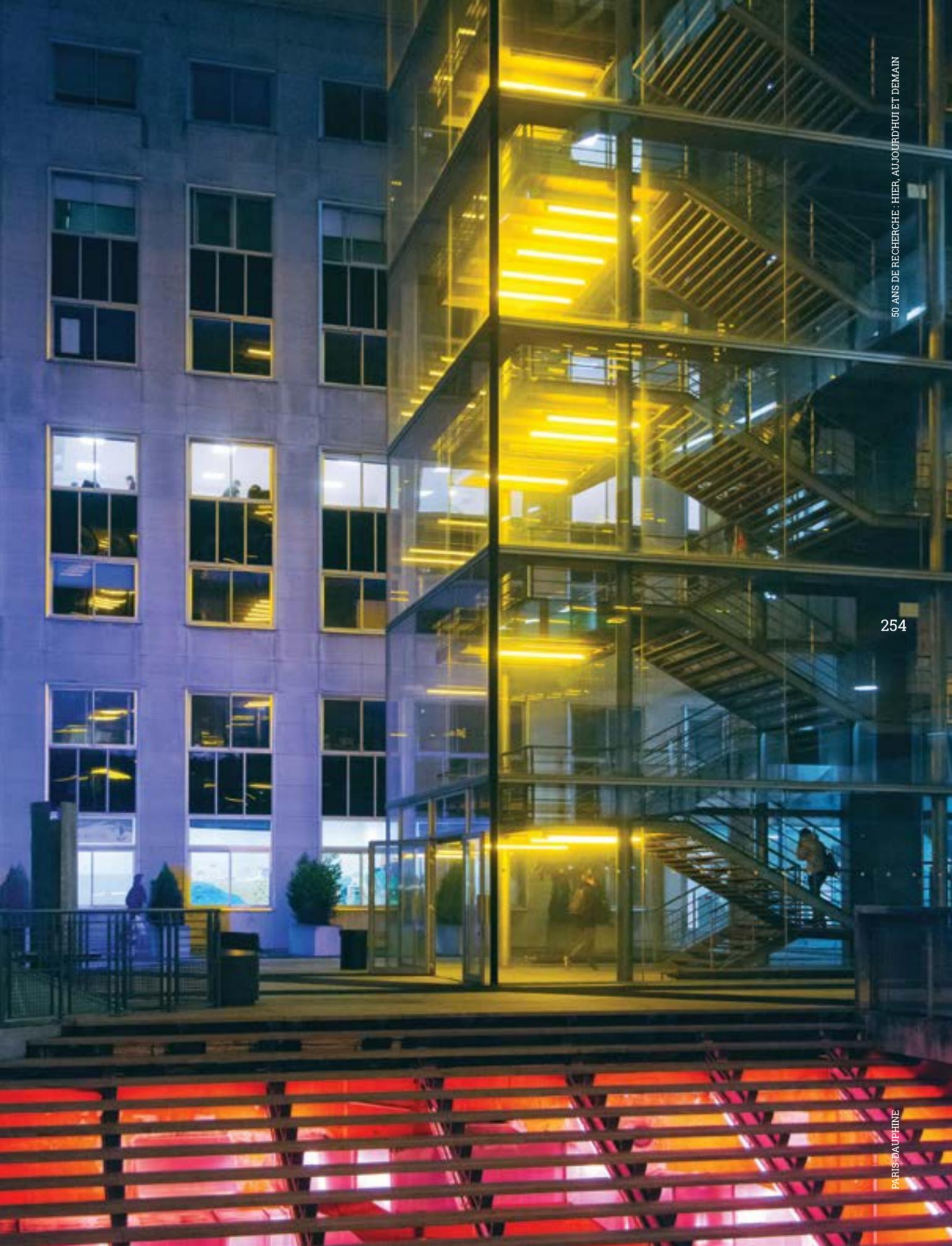
statistique en linguistique, dans un cadre bayésien, ce qui s'avère pertinent pour de nombreux problèmes tels que :

1. les systèmes de communication chez les primates : on cherche ici à inférer la complexité de la grammaire du "langage" utilisé par des singes. Il existe une infinité de grammaires formelles correspondant aux observations ; le cadre bayésien permet de leur assigner des probabilités et d'en déduire des propriétés plus générales de la véritable syntaxe utilisée par diverses espèces de primates.
2. la reconstruction de l'histoire des langues : on cherche un arbre généalogique de certaines langues, pour savoir lesquelles sont cousines proches ou éloignées, ainsi que l'âge de leur ancêtre commun. Il est essentiel d'adopter une approche bayésienne, afin de représenter correctement l'incertitude des estimées. De plus, cette approche permet d'utiliser la sortie de ce modèle comme "brique" d'entrée d'un autre modèle, comme dans l'un des articles de R. Ryder où les auteurs utilisent les arbres reconstruits pour déduire des propriétés de l'évolution de la grammaire dans les langues humaines.
3. des questions de psycholinguistique : le cadre bayésien permet à la fois de faire de l'inférence sur des modèles plus complexes que ceux employés habituellement, et de représenter directement dans le modèle les diverses sources de variabilité, plutôt que de devoir exclure certaines données comme étant aberrantes.

La plupart de ces projets ont demandé l'écriture d'un algorithme de type MCMC ou SMC ad hoc, et d'un logiciel informatique afférent.

Un dernier point sur la spécificité du CEREMADE dans ces domaines est son rôle moteur dans la reconnaissance des méthodes approximatives bayésiennes (ABC) au sein de la communauté statistique. Ces méthodes de calcul ont été introduites par des généticiens des populations comme Simon Tavaré à la fin des années 1990 pour faire face aux difficultés d'inférence dans des modèles d'évolution des populations à partir d'un ancêtre commun. Même avec un petit nombre d'individus et peu de paramètres pour décrire leur évolution, les méthodes de type MCMC mentionnées ci-dessus sont incapables de découvrir les régions d'intérêt pour ces paramètres. À partir de 2005, le CEREMADE a participé à trois ANR sur ce thème avec des généticiens de l'INRA à Montpellier, contribuant au développement d'un logiciel (libre) DIYABC utilisé en génétique des populations mais aussi à la validation théorique de certaines techniques ABC et à la critique d'autres approches dans ce domaine. Le recrutement en 2018 du statisticien Julien Stoehr par le CEREMADE s'inscrit dans cette direction, de par son implication dans le développement de techniques d'inférence sur des vraisemblances à constante manquante et dans la mise au point d'un logiciel associé.





50 ANS DE RECHERCHE - IER, AUJOURD'HUI ET DEMAIN

254

PARIS-DAUPHINE



Les centres de recherche de Dauphine Dauphine's research centers

255





Paris-Dauphine est structurée autour de six pôles disciplinaires clairement identifiés au sein desquels un certain nombre d'axes de recherche communs fédèrent également les chercheurs et enseignants-chercheurs. Ils se déclinent selon les différents points de vue disciplinaires, allant du plus qualitatif au plus quantitatif.

CEREMADE

Le Ceremade, unité mixte de recherche avec le CNRS, est reconnu pour ses travaux en analyse non-linéaire, en finance et économie, et en probabilités et statistique. Le centre de recherche étudie les applications mathématiques dans des domaines aussi divers que l'économie, la finance, les sciences sociales, l'astronomie, la physique mathématique, la mécanique, la chimie quantique, l'imagerie, l'analyse des données, l'apprentissage statistique, les neurosciences, la biologie ou la linguistique. Les chercheurs du Ceremade sont ainsi en interaction directe avec le monde socio-économique.

CR2D

Le Centre de recherche Droit Dauphine (CR2D), réunit des juristes privatistes et publicistes. Cette particularité permet de mener des recherches juridiques transversales, lesquelles s'inscrivent naturellement dans la démarche pluridisciplinaire de l'Université Paris-Dauphine. Ainsi, les recherches menées au sein du CR2D peuvent aisément associer des économistes, des gestionnaires, des politistes et des sociologues.

DRM

DRM constitue l'un des plus importants centres français de recherche en sciences de gestion. Laboratoire de recherche généraliste, il est fondé sur la diversité, tant par ses ancrages théoriques, ses thématiques que par ses méthodes, quantitatives et/ou qualitatives. Ses domaines de compétences couvrent le marketing, la stratégie, la finance, la théorie des organisations, la gestion des ressources humaines, les systèmes d'information, ainsi que la comptabilité et le contrôle. L'unité s'organise autour de trois pôles : Finance, Marketing, et Organisation, regroupant cinq équipes.

IRISSO

L'Institut de Recherche Interdisciplinaire en Sciences Sociales (IRISSO) est une unité mixte de recherche du CNRS, de l'INRA et de l'Université Paris-Dauphine, qui rassemble des sociologues, des politistes et des économistes. En 2015, le Laboratoire Communication et Politique (LCP), jusqu'alors unité propre du CNRS, a rejoint l'IRISSO, où il poursuit ses recherches sur les médias et leur rôle dans l'espace public. En 2017, l'unité RITME de l'INRA intègre l'IRISSO. Structurés autour de cinq axes, les travaux de l'IRISSO accordent une importance centrale aux méthodes mobilisées dans leurs recherches, à la dimension internationale et à la question du genre.

LAMSADE

Fondé en 1974, le LAMSADE est un des rares laboratoires en France et en Europe qui développe une vision spécifique de l'informatique : les sciences et technologies de la décision. Son originalité consiste dans le fait d'aborder la thématique de l'aide à la décision de manière large : de l'analyse du concept de processus de décision à la prise en compte des préférences incertaines et/ou conflictuelles, de l'algorithmique de l'optimisation au traitement des grandes masses de données, de la formalisation du raisonnement aux représentations des connaissances. La recherche est appliquée à de nombreux domaines très différents de la planification des transports à l'évaluation des appels d'offres, du confort dans les voitures des trains aux réseaux des télécommunications de l'évaluation des services de santé aux réseaux de capteurs ou encore la bio-informatique.

LEDa

Le Laboratoire d'Économie de Dauphine (LEDa) est une UMR qui fédère l'ensemble des équipes d'économie dauphinoises autour de travaux théoriques et appliqués. L'ambition est de réunir des orientations complémentaires (micro-économiques, sectorielles, macro-économiques), de mettre en commun des outils (économétrie mathématiques financières, théorie des jeux, etc.) ainsi que des réseaux internationaux. Créé en 2009, le LEDa est depuis le 1^{er} janvier 2019 une unité mixte de recherche avec le CNRS et l'IRD.

Index

Nous remercions très chaleureusement les auteurs des articles qui ont permis la réalisation de cet ouvrage.

Sarah ABDELNOUR

Maître de conférences, IRISSO

Catherine ACHIN

Professeur des universités, IRISSO

Éric AGRIKOLIANSKY

Professeur des universités, IRISSO

Jamal ATIF

Professeur des universités, LAMSADE

Pauline BARRAUD DE LAGERIE

Maître de conférences, IRISSO

Florence BENOÎT-MOREAU

Maître de conférences, DRM

Marlène BENQUET

Chargée de recherche CNRS, IRISSO

Sophie BERNARD

Professeur des universités, IRISSO

Céline BESSIÈRE

Professeur des universités, IRISSO

Alain BIENAYMÉ

Professeur émérite des universités, LEDa

Jean-Yves BOULIN

Chargé de recherche honoraire CNRS, IRISSO

Samuel BOURON

Maître de conférences, IRISSO

Denis BOUYSSOU

Directeur de recherche CNRS, LAMSADE

Marie CARCASSONNE

Maître de conférences, IRISSO

Pierre CARDALIAGUET

Professeur des universités, CEREMADE

Guillaume CARLIER

Professeur des universités, CEREMADE

Tristan CAZENAVE

Professeur des universités, LAMSADE

Djalil CHAFAÏ

Professeur des universités, CEREMADE

Jean-Marie CHEVALIER

Professeur émérite des universités, LEDa

Laurent D. COHEN

Directeur de recherche CNRS, CEREMADE

Bernard COLASSE

Professeur émérite des universités, DRM

François CUSIN

Professeur des universités, IRISSO

Sébastien DAMART

Professeur des universités, DRM

Stéphanie DAMERON

Professeur des universités, DRM

Albert DAVID

Professeur des universités, DRM

François-Xavier DE VAUJANY

Professeur des universités, DRM

Stéphane DEBENEDETTI

Maître de conférences, DRM

Jean DOLBEAULT

Directeur de recherche CNRS, CEREMADE

Brigitte DORMONT

Professeur des universités, LEDa

Ivar EKELAND

Professeur émérite des universités, CEREMADE

Joyce EL HADDAD

Maître de conférences, LAMSADE

Duncan FAIRGRIEVE

Professeur, CR2D

Jacques FÉJOZ

Professeur des universités, CEREMADE

Marie-Anne FRISON-ROCHE

Professeur des universités, Sciences Po Paris
Ancien professeur à l'Université Paris-Dauphine

Carole GRESSE

Professeur des universités, DRM

Emmanuel HENRY

Professeur des universités, IRISSO

Choukri HMED

Maître de conférences, IRISSO

Alban JACQUEMART

Maître de conférences, IRISSO

Bertrand JACQUILLAT

Professeur émérite des universités, Sciences Po Paris
Ancien professeur à l'Université Paris-Dauphine

Joachim JARREAU

Maître de conférences, LEDa

Marie-Ève JOËL

Professeur émérite des universités, LEDa

Eun Jung KIM

Chargée de recherche CNRS, LAMSADE

Thierry KIRAT

Directeur de recherche CNRS, IRISSO

Michail LAMPIS

Maître de conférences, LAMSADE

Brigitte LE GRIGNOU

Professeur des universités émérite, IRISSO

Sophie LEMAIRE

Professeur des universités, CR2D

Mathieu LEWIN

Directeur de recherche CNRS, CEREMADE

258

259

Witold LITWIN

Professeur émérite des universités, LAMSADE

Martine LOMBARD

Professeur des universités,
Université de Paris Panthéon-Assas
Ancien professeur à l'Université Paris-Dauphine

Antoine LOUVARIS

Professeur des universités, CR2D

Gwenaëlle MAINSANT

Chargée de recherche CNRS, IRISSO

Maude MANOUVRIER

Maître de conférences, LAMSADE

Brice MAYAG

Maître de conférences, LAMSADE

Dominique MÉDA

Professeur des universités, IRISSO

Yves MEINARD

Chargé de recherche CNRS, LAMSADE

Marion MERCIER

Professeur assistant, LEDa

Yves MEYER

Professeur émérite des universités,
École normale supérieure de Cachan
Ancien professeur à l'Université Paris-Dauphine

Stéphane MISCHLER

Professeur des universités, CEREMADE

Joël MONÉGER

Professeur émérite des universités, CR2D

Sabine MONTAGNE

Directrice de recherche CNRS, IRISSO

Matías NÚÑEZ

Chargé de recherche CNRS, LAMSADE

Meltem ÖZTÜRK

Maître de conférences, LAMSADE

Vangelis PASCHOS

Professeur des universités, LAMSADE

Louis PERREAU-SAUSSINE

Professeur des universités, CR2D

Véronique PERRET

Professeur des universités, DRM

Bernard PRAS

Professeur émérite des universités, DRM

Jean PRIEUR

Professeur émérite des universités
Université de Perpignan Via Domitia
Ancien professeur à l'Université Paris-Dauphine

Christian ROBERT

Professeur des universités, CEREMADE

Juliette ROUCHIER

Directrice de recherche CNRS, LAMSADE

Sabine ROZIER

Maître de conférences, IRISSO

Marta RUKOZ

Professeur des universités, LAMSADE

Sophie SCHILLER

Professeur des universités, CR2D

Florian SIKORA

Maître de conférences, LAMSADE

Michèle TALLARD

Chargée de recherche honoraire CNRS, IRISSO

Elise TENRET

Maître de conférences, IRISSO

Daniela TONON

Maître de conférences, CEREMADE

Alexis TSOUKIÀS

Directeur de recherche CNRS, LAMSADE

Michel ZAMFIROIU

Professeur associé, LAMSADE

Cet ouvrage est édité
par la direction du soutien à la recherche
de l'Université Paris-Dauphine en collaboration
avec la direction de la communication
This book is published
by the Research Department
of Université Paris-Dauphine in collaboration
with the Communication Division

—

DIRECTEURS DE LA PUBLICATION PUBLICATION MANAGERS

Isabelle Huault et Bruno Bouchard

RÉDACTRICES EN CHEF EDITORS-IN-CHIEF

Anne-Laure Chagnon et Valérie Fleurette

—

CONCEPTION ET RÉALISATION DESIGN AND PRODUCTION

Les Cyclistes

—

IMPRESSION PRINTING

Stipa
Montreuil

—

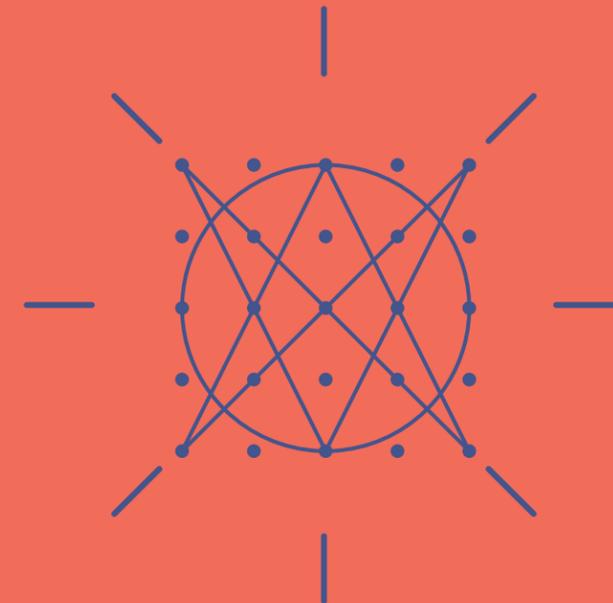
COPYRIGHT VISUELS IMAGE COPYRIGHT

Adobe Stock
Archives de l'Université Paris-Dauphine
Deposit
Henrike Stahl
Nefis Dab
Nicolas Fagot, Studio 9
Thibaut Vankemmel

—

Imprimé en février 2019
Printed in February 2019

—



UNIVERSITÉ PARIS-DAUPHINE

Place du Maréchal de Lattre de Tassigny - 75775 Paris cedex 16

dauphine.psl.eu

