

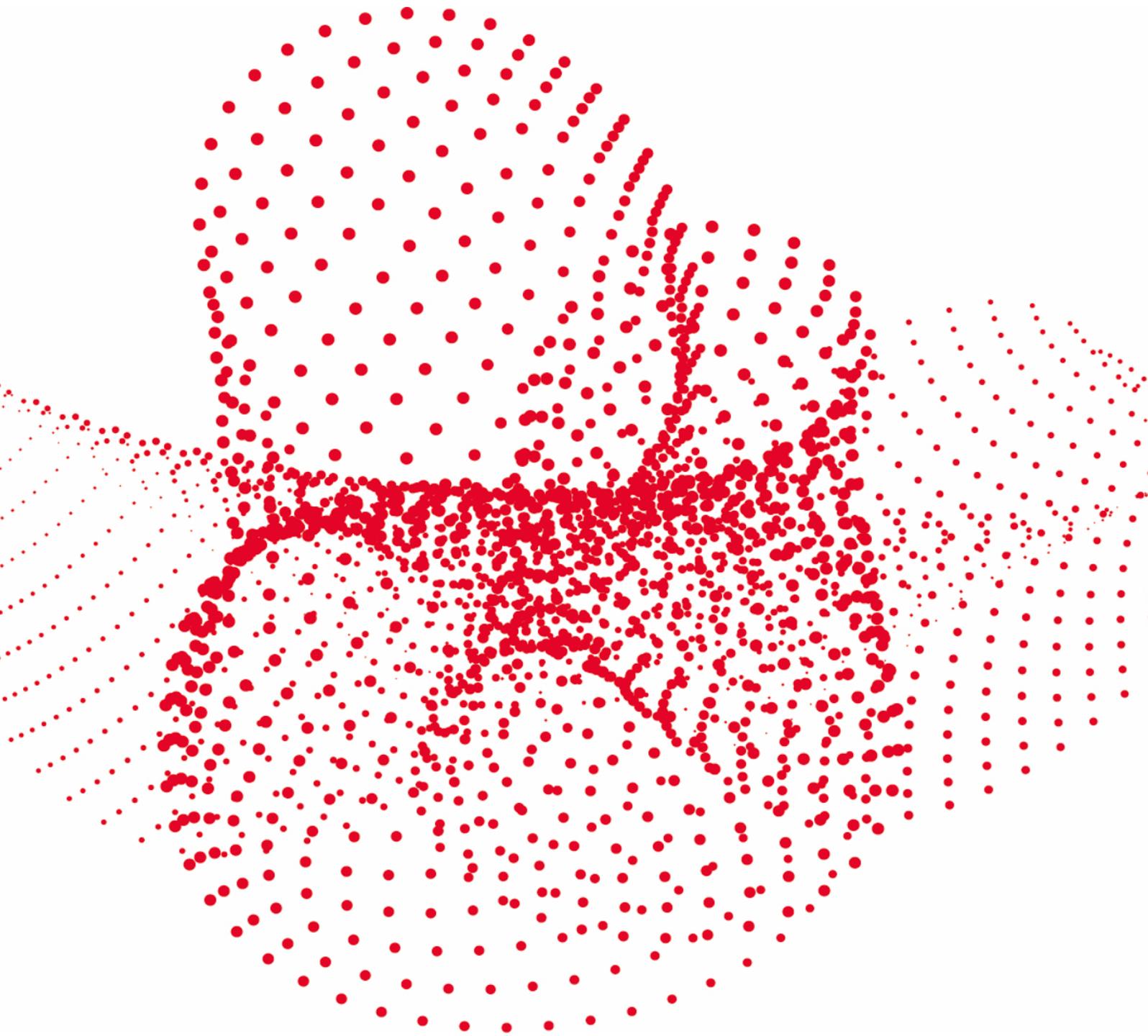
Enquête sociologique
Ενδηϋφε ροϋοοοϋδνε

GÉRALDINE FAVRE

t o p o s

t o p o s

Paris
novembre 2022



Vie et métamorphoses

Dans un monde numérique, le travail mathématique à l'épreuve des collaborations avec les entreprises

GÉRALDINE FAVRE



Avant-propos

Ce projet d'étude me tenait personnellement à coeur. Je m'en étais ouverte Grégoire Allaire et Véronique Maume-Deschamps. Ils m'ont écoutée d'une oreille surprise, curieuse, attentive et bienveillante. La discussion a rapidement pris la forme d'un accord du bureau d'AMIES, puis d'une commande.

Commande d'AMIES^[1] et du réseau MSO^[2], Topos a ainsi réalisé une étude sociologique qualitative sur les interactions Maths-entreprises conduisant à une exploration multidimensionnelle du travail mathématique, et des transformations du métier des mathématiciens, à travers les mutations de l'environnement numérique dans lequel il se déploie^[3].

L'objectif de cette étude est d'explorer l'énigme d'une évidence qui n'en est pas une. A l'heure de l'industrie 4.0, il semble naturel de penser que les enjeux stratégiques des entreprises, tous secteurs d'activité confondus, reposent sur leur capacité d'incorporation de la recherche en mathématique. Pourtant, lorsqu'elle entre en interaction, la collaboration math-entreprises^[4] interroge profondément la dynamique des organisations, les pratiques du métier de mathématicien et la discipline académique. Pourquoi le couplage apparemment logique de la recherche académique et de l'innovation dans les entreprises questionne-t-il autant la capacité d'action collective, tant du côté de l'entreprise que de celui du monde académique ?

La démarche d'intervention sociologique ainsi conduite repose sur **deux dispositifs** : le diagnostic restitué et discuté avec les acteurs (le présent document) et des travaux de groupes orientés vers une réflexion collective (qui ont vocation à avoir lieu).

Le diagnostic s'est appuyé sur des entretiens individuels non directifs, avec des chercheurs actifs dans plusieurs domaines académiques et des docteurs en mathématiques travaillant dans différents secteurs d'activité pour les entreprises. Certains interviewés ont été interrogés à plusieurs reprises individuellement, d'autres entretiens ont été menés en petits groupes. Le dispositif a été complété par des observations de situations : séminaires, collaboration, conférences, semaines math-entreprises, réunions de travail. Au total, 92 personnes ont participé à l'enquête. Ces travaux ont eu lieu entre janvier 2018 et mars 2020, avant d'être complétés par le recueil de matériaux divers. S'en est suivie une période d'analyse et d'interprétation de l'ensemble des matériaux ainsi collectés.

La présente étude propose une vision mosaïque du travail mathématique à l'épreuve des collaborations. L'extraordinaire richesse des entretiens menés nous, Gilles Stoltz et moi-même, a conduit à privilégier, par souci de cohérence, le regard du point de vue académique. La restitution à l'ensemble des personnes qui ont accepté de participer vise à partager, valider, discuter, amender l'analyse avec les acteurs concernés. Cette enquête a été menée sur la base du volontariat (nous avons eu un seul refus) et de l'anonymat. Les citations sont donc toutes anonymisées.

Je remercie Véronique Maume-Deschamps et tous les membres du bureau de l'AMIES de m'avoir fait confiance dans cette aventure. Je dis aussi ma gratitude à chaque mathématicienne et chaque mathématicien qui ont bien voulu se livrer à cet exercice inhabituel : tous, vous m'avez offert un voyage sociologique passionnant.

Enfin, ce travail aurait juste été impossible à réaliser sans le concours et le soutien indéfectibles de **Gilles Stoltz**. Il m'a ouvert en grand les portes de la communauté, patiemment guidée (avec le sourire) et encouragée (inconditionnellement) depuis trois ans ! Jouant alternativement le rôle de la bonne, et de la mauvaise, conscience, (avec le sourire, toujours), il m'a accompagnée jusqu'à la présente restitution écrite que nous partageons avec vous ici.

Merci !

A Lulu,
A Yves,
A mes parents,

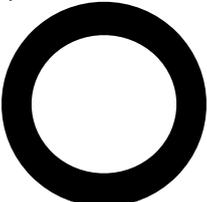


Table des Matières

AVANT – PROPOS	8
INTRODUCTION – LA COLLABORATION, UN ÉTAT ABSORBANT	12
PREMIÈRE PARTIE : ENTRER EN RÉSONANCE AVEC LE MONDE	18
Chapitre 1 : De l'intimité du travail mathématique à l'œuvre collective	
Un rapport amoureux au réel	
Œuvrer collectivement	
Curiosité et rigueur	
La collaboration, un trait-d'union	
Chapitre 2 : Être mathématicien, dans un monde numérique, un rôle de premier de cordée	
Une contribution sociale invisible, mais essentielle	
Dans les plis, et les replis de la vie, ... un niveau inédit d'interaction avec le réel	
Chapitre 3 : « La vraie rencontre, pour faire de 'jolies maths', c'est la donnée ! »	
Donnée numérique, la porte d'accès à la complexité	
Le chemin vers les approches multi-maths	
Enrichir sa boîte à outils	
Construire un regard « méta » et abandonner les postures de surplomb	
DEUXIÈME PARTIE : LE MONDE NUMÉRIQUE, UNE GÉOGRAPHIE POUR LA MATHÉMATIQUE	36
Chapitre 1 – Rendre « praticable » la frontière entre les domaines théoriques	
Le numérique, une nouvelle frontière universelle	
Donnée et mathématique, point de rencontre ou ligne de fuite ?	
Comment traverser le miroir d'Alice au Pays des merveilles ?	
Chapitre 2 – Redessiner les frontières et pulvériser les clivages, la force d'un héritage	
Redessiner les frontières, l'héritage de Bourbaki	
Pulvériser les clivages sociaux, l'héritage de Jacques-Louis Lions	
La science des données, l'« auberge espagnole » des mathématiques	
Chapitre 3 – Un monde dans lequel s'exprime la créativité du marginal sécant	
Le marginal sécant, un acteur à la croisée des chemins	
AMIES, un laboratoire d'excellence (Labex) : une réponse aux besoins des entreprises	
Être pris dans une dynamique d'horizontalité	
TROISIÈME PARTIE : AU-DELÀ DES FRONTIÈRES, LE NOMADISME DES MATHÉMATIENS	60
Chapitre 1 – Intervenir dans un paysage social et disciplinaire diversifié	
De la concentration à la dispersion des acteurs	
'Sociologie fractale', réputations individuelles et travail collaboratif	
Chapitre 2 – La communauté, un vecteur d'unité et un tremplin pour la dispersion	
La Communauté, un monde social à part entière	
Non-localisme et anarchisme d'éveil	
'Comme un seul homme', l'héritage Bourbaki	
« A l'américaine, tout est possible ! » : Le soi-multiple et les défis de la pluridisciplinarité	
Le soft power des briques technologiques et de l'open innovation	
Chapitre 3 – Les ressources d'un univers paradoxal	

QUATRIÈME PARTIE : ENTRE LE MONDE ACADÉMIQUE ET L'ENTREPRISE, MON COEUR BALANCE... 80

Chapitre 1 – Maintenir le lien à la source, oui, mais laquelle ? Les réponses emblématiques

Le monde académique comme plaque tournante : les projets de collaboration recherche

Les réponses héroïques – des choix professionnels déraisonnables pour valoriser le travail scientifique

Chapitre 2 – La palette des voies médianes, individuelles et institutionnelles

Les stratégies individuelles

Les stratégies institutionnelles

L'efficacité du 'liant' technologique

CINQUIÈME PARTIE : LES INSTITUTIONS, ET MOI, ET MOI, ET MOI... 104

Chapitre 1 – Quand les collaborations questionnent les organisations

Revisiter les règles de l'art : un dialogue des « francs-tireurs » avec la norme

AMIES : une régulation entre forces d'innovation et formes d'organisation

Institutionnaliser une philosophie d'explorateur : un paradoxe ?

Sortir de sa zone de confort : une mobilisation subjective

Chapitre 2 – Trajectoires professionnelles non-linéaires, un apprentissage collectif

L'hybridité : les premières boutures

Bifurquer : la prise de risque

Déviance : expression des ambiguïtés et dialogue entre forces et formes

Institutionnalisation des nouvelles pratiques et usure de l'acteur

Chapitre 3 – Nidification et envol : accueillir et soutenir l'engagement de la communauté

Les « Récoltes et semailles » d'AMIES et du réseau MSO : des succès réels, un avenir incertain

« Libérer le joyau ! » : l'élan de la commission Rocard-Juppé

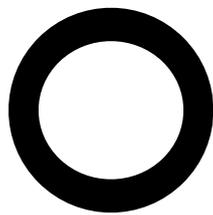
« Innover, transférer, valoriser les résultats de la recherche » : vers une reconnaissance au sein du CNRS

CONCLUSION : ENTENDRE LEURS VOIX POUR OUVRIR DE NOUVELLES VOIES 130

BIBLIOGRAPHIE 135

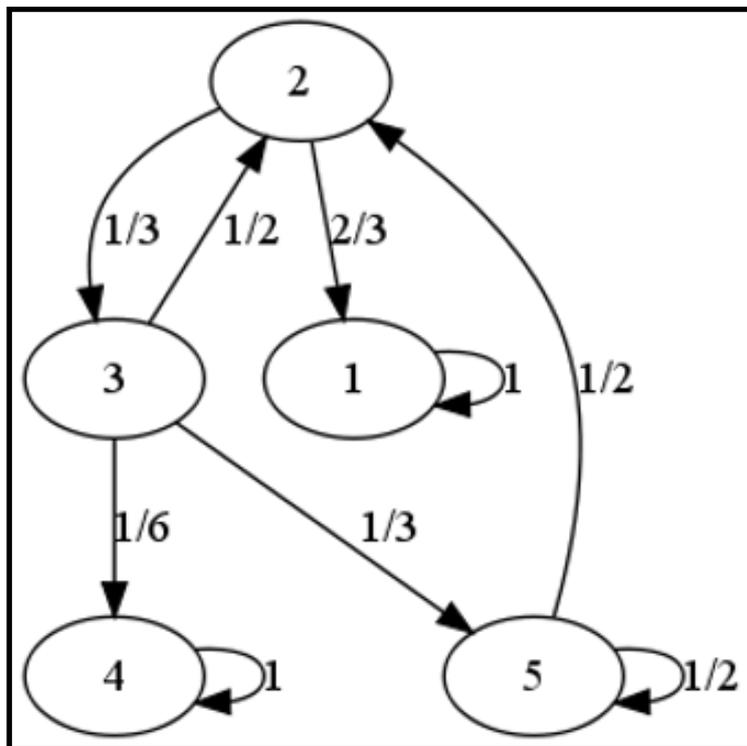


Source dessin: <https://www.remimalingrey.com>



INTRODUCTION :

La collaboration, un état absorbant



« Pour toute chaîne de Markov absorbante et pour tout état de départ, la probabilité de se trouver dans un état absorbant au temps t tend vers 1 lorsque t tend vers l'infini.»

<https://www.apprendre-en-ligne.net/markov/Markov.pdf>

Minoritaire, la proportion de chercheurs ayant des contacts ou des contrats de recherche avec une entreprise est d'environ 15%[5]. Pourtant, force est de constater que lorsqu'on y a goûté, c'est un voyage dont on ne revient pas. Dans le monde académique, la collaboration avec les entreprises est un état, une fois atteint, que le chercheur ne quitte plus, un « état absorbant », au sens des chaînes de Markov selon la terminologie utilisée en calcul des probabilités. Comment expliquer qu'un matheux se « convertisse » ? Quel déclic explique ce virage ? Par quelle mouche est-il piqué ? Et pourquoi, dans ce contexte de rareté, utiliser ce terme de « collaboration », doté en France d'une telle connotation historique péjorative ? Pourquoi ne pas choisir celui de « coopération », plus usité aujourd'hui, afin de désigner ce rapprochement entre monde académique et monde socio-économique ?

Étymologiquement, le mot « collaboration » prend racine dans une jurisprudence médiévale pour évoquer les « travaux communs du mari et de la femme ». Si l'on se replaçait dans le système de croyance de l'époque, le terme évoque une forme d'alliance sacrée reposant sur la complémentarité. A partir de 1946, la jurisprudence ajoute une notion de bénéfice acquis par le travail conjugué des deux époux. Le terme de coopération, lui, est emprunté au latin chrétien, *cooperatio* : « part prise à une œuvre faite en commun ». Puis, traduit du terme anglais *cooperation*, il est employé par le réformateur et économiste R. Owen (1771-1858) pour désigner une méthode de gestion des entreprises fondée sur la répartition du profit d'après la participation de chacun.

Une possible – ou non – répartition des fruits du travail dans l'œuvre distingue la « coopération » de la « collaboration ». La coopération s'applique quand la partition des bénéfices finaux est possible, là où dans la collaboration, l'œuvre lie les contributions dans une alliance qui transcende la traditionnelle opposition des travaux de l'homme et de la femme. De même, la collaboration math-entreprises établirait « le lit à deux places pour les épousailles »[6] de deux mondes sociaux, celui de la recherche académique et celui de l'entreprise, lorsqu'ils interagissent. Cette analogie rend compte de l'alchimie qu'opèrent la rencontre et la complémentarité de ces deux mondes autour de finalités centripètes. Il s'agit effectivement bien plus de collaboration que de coopération puisqu'il est impossible de répartir les fruits du travail ; les collaborations math-entreprises correspondent à

cette idée de vitalité hybride qui transcende les différences. L'entreprise désire une solution rapide à un problème concret quand le mathématicien cherche un problème complexe, mais générique, à formaliser et à résoudre. Au-delà de ce malentendu initial, pétri de perspectives et de temporalités différentes, chacun peut y gagner. Revenons donc à cette idée de déclic. Quel est le premier pas pour aller vers cet état absorbant ? Quel est le secret de cette alchimie ?

A propos du chercheur académique, le discours collectif véhicule souvent l'idée d'une identité de métier réfractaire au domaine marchand. En se tournant vers l'entreprise, celui qui « collabore » - au sens de la compromission - briserait-il une sorte ligne Maginot ? Sauf pour les domaines qui, comme la statistique, s'inscrivent nativement dans le giron des mathématiques appliquées, je m'attendais, au cours des entretiens, à des récits qui expliciteraient des facteurs contingents pour justifier une bifurcation de trajectoire contrariée vers l'entreprise : une nécessité économique, une pression institutionnelle, ... L'un de mes premiers étonnements au cours de l'enquête fût de constater que dans le vécu personnel du chercheur, cette question identitaire apparaît comme un non-sujet. Les entretiens individuels révèlent au contraire la découverte d'un formidable continuum dans l'exercice réel du travail mathématique stimulant ses dimensions d'ingéniosité, de coopération, de mobilisation subjective et ... d'abstraction. L'interaction avec l'entreprise apparaît comme un processus continu d'épanouissement du champ exploratoire de recherche.

L'entreprise s'apparente alors à un cadre fécond et protéiforme d'accès à un réel stimulant le travail conceptuel, déclinant le rapport intime, toujours singulier, avec l'abstraction que le mathématicien cultive dans son travail. La collaboration offre la possibilité de multiplier les interactions entre les domaines de la discipline et leurs frontières, de revisiter le dialogue entre applications et théories, milieu académique et entreprises, travail individuel et travail collectif. Les digues sautent. Ce travail 'à la frontière' alimente le travail créateur. *Ancien directeur de l'IHP, Jean-Pierre Bourguignon le souligne : « Nous voyons aujourd'hui apparaître de nouveaux métiers et de nouveaux modèles économiques, dans lesquels la statistique, la modélisation et le traitement des données jouent un rôle important. La collecte, la structuration, la transformation et l'exploitation des données collectées passent par des processus mathématiques de très haut niveau. La formulation de ces algorithmes est au cœur de la création de*

valeur. Les avancées technologiques stimulent des travaux de recherche en mathématiques fondamentales. En fait, dans ce nouveau contexte, les mathématiques fondamentales ne peuvent être disjointes des mathématiques appliquées : elles doivent être considérées comme un tout. Dans le monde académique, l'école mathématique française n'a jamais séparé les deux domaines. Mais le monde de l'entreprise s'en est longtemps tenu aux mathématiques appliquées. Il change de culture et ménage une place de plus en plus significative aux mathématiques fondamentales. Les mathématiciens de très haut niveau doivent pouvoir s'adresser à des interlocuteurs issus d'autres disciplines ou exerçant d'autres métiers. » [2]

C'est bien autour de cette nouvelle jonction que les choses se passent. Plutôt que de parler de déclic, parlons d'une expérience qui produit des étincelles dans la trajectoire du chercheur, celle de la rencontre entre un domaine de recherche et l'informatique pris dans sa conception la plus large : outil, discipline théorique, domaine applicatif. Ici se situe le point de jonction, ouvrant la voie d'un remarquable foisonnement conceptuel. Comme l'exprime si joliment un jeune docteur en mathématique travaillant sur l'émergence des lois macroscopiques dans certains modèles non-déterministes :

« Il y a la magie, et il y a l'informatique. Il y a la baguette et il y a l'ordinateur. L'informatique est un super pouvoir. Si tu fais de l'informatique, et que tu bosses en informatique, tu es informaticien. Mais si tu fais de l'informatique et que tu bosses dans un autre domaine, tu es un magicien. »

L'idée d'interaction suppose celles de brassage et de combinaison. Et c'est peut-être sur ce rapport personnel au mélange ou à la pureté que la division s'opère parmi les chercheurs pour expliquer que certains se tournent vers la collaboration quand d'autres creusent un sillon purement académique.

Dans le nouveau paradigme marqué par la continuité entre mathématiques fondamentales et les mathématiques appliquées embarquées au cœur du monde économique, la question de la traduction et le regard de l'étranger occupent une place centrale. Le rôle des mathématiciens devient une question à plusieurs entrées. Pour répondre à cette exigence, ils sont appelés à développer de nou-

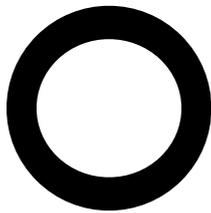
velles compétences, à changer d'identité professionnelle, ce qui requiert de la souplesse, une vision et une capacité à naviguer dans la discipline. La question du monde social de l'entreprise n'a pas disparu, mais elle est revisitée au regard du travail créateur. Cette dynamique enrichit le travail mathématique et transforme la pratique du métier. Les mathématiciens se réinventent. Si les mathématiques permettent aux entreprises d'innover, si les mathématiques sont renouvelées par le numérique, être mathématicien aujourd'hui est une innovation à part entière : tête de pont d'une révolution médiologique^[3], à la frontière de plusieurs mondes, pris dans un mouvement permanent, l'exercice du métier peut se concevoir comme un processus non synchronique, charriant pêle-mêle des traditions, des représentations fossilisées, mais aussi des apprentissages, des découvertes et une grande créativité au regard des normes, des investissements identitaires et relationnels. En matière de collaboration, ce qui permet à l'ensemble de tenir est un remarquable effort collectif porté par quelques-uns, soutenu par l'éthos de la communauté, quand les institutions peinent à le relayer.

Comment expliquer que le succès que révèle *'l'état absorbant'* de la collaboration math-entreprises et la vitalité extraordinaire qui s'en dégage puissent heurter la logique institutionnelle de façon si durable ? La France se trouve dans une situation singulière et, à bien des égards, paradoxale : prise dans ce mouvement international qui donne, à travers le numérique, une place essentielle à la discipline, elle joue un rôle de premier plan au niveau mondial^[4] tandis qu'elle peine à lier le monde institutionnel et le monde économique. Lorsqu'elle y parvient, le miracle opère. Ce constat contrasté révèle, en creux, le rôle essentiel joué, à titre individuel, par certains membres de la communauté pour construire les passerelles, explorer de nouvelles approches, tout en restant fidèles à l'essence même de la discipline et à ses valeurs qui sont de contribuer à la construction d'un édifice de la connaissance, robuste, rigoureux et élégant. Nous verrons comment les ressources de cet héritage ancestral sont les véritables clés pour expliquer les motivations des chercheurs et les secrets de l'alchimie propre aux collaborations Maths-Entreprises.

« La distinction entre maths pures et maths appliqués relève plus du fait social que du contenu de la discipline. Même s'il y a des dominantes, c'est moins la discipline mathématique que le rapport aux autres disciplines, le rapport au monde industriel, le rapport au monde, en général, qui les distingue.

Si on regarde à long terme, de toute façon, le contenu mathématique - c'est ce qui est agréable en mathématique - se brouille. Des choses dont les gens pensaient qu'elles n'avaient aucun rapport avec les maths appliqués sont reprises par des applications. »

Extrait d'entretien



PREMIÈRE PARTIE :

Entrer en résonance avec
le monde



« Le petit enfant découvre le monde comme il respire - le flux et le reflux de sa respiration lui font accueillir le monde en son être délicat, et le font se projeter dans le monde qui l'accueille. L'adulte aussi découvre, en ces rares instants où il a oublié ses peurs et son savoir, quand il regarde les choses ou lui-même avec des yeux grands ouverts, avides de connaître, des yeux neufs - des yeux d'enfant. »

Alexandre Grothendieck, *Récoltes et semailles*, page 127

Percevoir, sans même savoir qu'on le perçoit

« Percevoir sans même savoir qu'on le perçoit et se rendre compte que ces détails s'accumulent est une force dans ce métier. Pourtant, elle est assez disjointe de la capacité de découverte en mathématique. Dans mon domaine, la question d'utiliser sa propre perception pour voir les détails qu'on cherche à détecter automatiquement a du sens. Cet exercice exige une certaine expérience, mais le fait de pouvoir, à la base, être attentif aux détails joue beaucoup. Cette pratique fatigue à la longue. Vous rencontrez des situations très fines et très diverses dans des industries différentes qui démultiplient et renouvellent sans cesse l'effort d'attention nécessaire. Cela va exactement en sens inverse de la capacité de concentration et de persévérance sur des problèmes difficiles. Cette capacité de concentration est pourtant nécessaire pour inventer de nouvelles techniques mathématiques. »

Extrait d'entretien

Entre forme et structure, le mathématicien est à l'écoute de la petite voix des choses. Comme l'araignée utilise les vibrations de sa toile pour analyser et comprendre le monde qui l'entoure, le mathématicien perçoit intimement les vibrations du monde numérique. Cette image de l'araignée utilisée par l'un des chercheurs rencontrés au cours de l'enquête illustre comment certaines approches mathématiques, et certains mathématiciens – entrent en résonance avec le monde numérique et ses données massives :

« Les toiles d'araignée sont des structures extrêmement complexes. Une araignée ne voit rien. Elle ressent ce qui se passe au niveau vibratoire dans leur toile. La forme de leur toile les aide à ressentir les choses et à structurer son espace de vie : la forme de la toile et la manière dont les choses résonnent en elle lui communiquent des informations. La vision qu'on peut avoir des grandes données est un peu la même. On se dit que les grandes données sont immenses mais elles ont une structure. Il faut trouver laquelle. C'est le point commun que je trouverais entre Lucien Le Cam et Stéphane Mallat. Lucien Le Cam avait une vision très particulière des données pour son époque qui consistait à les faire « parler ». Stéphane Mallat vient de l'analyse harmonique. Il ne vient pas des statistiques. Son papa est Yves Meyer. Son univers est celui du son, du traitement du signal. C'est un autre point de vue dans les maths.»¹

Ces propos expriment comment les 'mathématiciens-araignées' captent et font parler les vibrations d'un monde numérique. Ils évoquent également la pluralité potentielle des regards mathématiciens qui se posent sur un même objet. Mise en résonance, pluralité, regards, transpositions, liens et filiations : l'histoire et l'intérêt des collaborations maths-entreprises tel qu'il est vécu pourraient presque se résumer à ces mots. Quel est le portait et quelles sont les motivations de ces mathématiciens ? Leurs qualités principales consistent en la curiosité, le goût de la transmission et une bonne dose de confiance : savoir se remettre en question, oser partir de zéro, admettre de ne pas savoir. En effet, l'entreprise peut poser un problème pour lequel le mathématicien devra utiliser des outils créés par d'autres, en dehors de son domaine d'expertise, voire créer un outil qui n'existe pas encore. Comme nous le verrons, de nombreuses collaborations mobilisent des approches multi-mathématiques ou partent de pro-

blématiques concrètes de l'entreprise, loin d'une logique ancienne de transfert d'expertise d'un outil qu'il avait développé.

Chapitre 1 – De l'intimité de la résonance à l'œuvre collective

Un rapport amoureux au réel

Être mathématicien, c'est vouloir entrer en résonance avec le monde : « J'ai toujours eu un regard mathématique sur les choses, avant même de faire des mathématiques. Cela remonte à tout petit. Ce regard est lié à une sensibilité à la beauté du raisonnement » m'explique l'un des chercheurs interviewés. Sentir, réfléchir, interpréter, lever des invisibles : articuler ensemble, dans un style d'attention complet, toutes les composantes de la disponibilité humaine. Déployer les antennes de la perception, de l'interprétation, de la déduction, de l'intuition, de l'imagination. C'est par cet alliage d'une activité interprétative et imaginative, à la fois audacieuse et prudente, d'une activité déductive, d'une création d'hypothèses, d'une disponibilité générale aux signes que l'on peut retisser des branchements abstraits aux territoires concrets. « Même si elle est relativement disjointe de la capacité de découverte en mathématique, percevoir sans même savoir qu'on le perçoit et finalement se rendre compte que ces détails s'accumulent est une force dans ce métier »². Et nous découvrons ainsi au cours de l'enquête que le déterminant principal pour susciter une collaboration, c'est d'entretenir ce rapport amoureux au réel. Le mathématicien cherche un terrain pour mettre à l'épreuve les abstractions mathématiques ... pour le simple plaisir de cette confrontation, pour le simple plaisir de relever le défi de « vrais » problèmes. C'est cette part de l'enfant qui explique que le mathématicien, plus qu'un sachant, serait celui, sensible à l'inconnu, qui tente d'élaborer des concepts pour recevoir le monde à petite dose parce que « la qualité d'un chercheur en mathématique réside plus dans sa capacité à poser les problèmes et à formuler une question qu'à maîtriser la technique.»^[13]. Or, le monde contemporain en général, et le monde

¹ Extrait d'entretien

² Extrait d'entretien

numérique en particulier, regorgent de ‘vrais’ problèmes complexes. « Un bon chercheur doit faire preuve de créativité. Une créativité qui diffère de celle de l’artiste dans la mesure où elle doit s’appuyer sur une stratégie de raisonnement qui intègre la contrainte et la confrontation au réel. Le métier consiste à maîtriser sa créativité à travers l’acquisition d’outils et de connaissances. Mais il faut ensuite – et c’est là l’essentiel – apprendre à bouger autour des problèmes. Il faut être curieux, savoir transposer des outils d’un domaine à l’autre.»³

On parle souvent, et à juste titre, de l’impact des mathématiques sur l’économie contemporaine et de son rôle essentiel dans la transformation numérique. On évoque plus rarement la réciproque : le numérique renouvelle la pratique du travail mathématique. « Aujourd’hui est une période exceptionnelle pour les mathématiques. Ça part dans tous les sens. Les mathématiques ont parfois du mal à se comprendre parce qu’il y en a tant dans des domaines différents. Mais ça permet d’explorer des champs inimaginables auparavant. Mathématiques pures et appliquées ne font plus qu’une. Physique et mathématique, la frontière devient floue. L’avenir est prometteur. En même temps, ça donne le vertige. Tous ces problèmes dans le monde réel, on en sait si peu. Comme des îlots dans un océan d’inconnu. Il y a beaucoup de choses à découvrir. »^[14]

J’aime l’idée que l’étymologie de curiosité vienne du latin cura - curius, « prendre soin ». Le curieux serait celui qui n’est pas indifférent. Cette idée ne s’applique-t-elle pas au mathématicien qui travaille sur la donnée ? Il tente d’élaborer des concepts pour « recevoir » les parts du monde que nous ne comprenons pas. Qu’est-ce que la curiosité, sinon une capacité à prendre appui sur le connu pour se propulser vers l’inconnu ? Une confiance dans sa capacité à s’y mouvoir ? Un désir de comprendre plus que de savoir ? L’accès aux applications et aux problématiques posées par d’autres ouvre l’imaginaire et permet de confronter sa technique.

Comprendre comment la technologie redessine aujourd’hui les contours de la discipline permet d’appréhender autrement les ressorts intimes des collaborations entre la recherche académique et les entreprises. Les motivations se trouvent dans le goût pour un travail d’abstraction qui s’appuie sur l’art de faire un pas de côté, dans la vie en général, et dans la discipline en particulier. Les col-

laborations font travailler l’espace des différences : la frontière, abstr-action, inter-action sont les maîtres-mots. Ils sous-tendent l’idée d’être ‘entre’, d’inter-agir et de mettre en résonance un travail collectif qui dépasse les murs des organisations et éprouve l’universalité d’un langage, celui des mathématiques. Une orchestration dans laquelle chacun joue sa partition. Pendant les récentes périodes de confinement, nous avons tous visionnés des vidéos de danseurs ou de musiciens, chaque artiste reconstituant à distance une œuvre à partir de son intérieur bien à soi, donnant à la fin cette étrange et émouvante impression d’une juxtaposition d’univers très personnels dans un ensemble fragile, mais homogène, réinterprétant un héritage dans le paysage technologique d’un monde qui change. Du point de vue du mathématicien, les collaborations « Mathématiques – Entreprises » pourraient être rapprochées de cette expérience : elle individualise l’expression du travail, mais l’œuvre ne résonne que collectivement, cherchant à tâtons de nouvelles formes dans un réel en mutation et s’appuyant sur un héritage à revisiter. Aligner les attentes des deux côtés demande des efforts : formuler la question mathématique, construire un vocabulaire partagé, prendre en compte les délais et les critères de validation de l’entreprise, c’est accepter une prise de risque.

Œuvrer collectivement

Si faire des mathématiques aujourd’hui est un formidable moyen d’entrer en résonance avec le monde contemporain, les chercheurs impliqués témoignent qu’il s’agit là d’une aventure, et d’une aventure passionnante ! On parle profondément de soi quand on fait des mathématiques. Entrer dans les mathématiques, c’est risqué. On essaie de comprendre. On peut échouer. Il se passe quelque chose quand on se trompe. C’est un début d’idée, de raisonnement. Avec les collaborations, l’aventure est ce qui advient dans le réel et avec d’autres que soi. Tout le travail, c’est de faire de ce qui advient quelque chose d’intéressant, de vivant et d’enrichissant.

Tout dans la vie dépend de la qualité de notre relation au monde, c’est-à-dire de la manière dont

³ Extrait d’entretien

« Comme souvent, les maths arrivent après la bataille pour nettoyer le champ. On essaie de comprendre le bazar. Les gens les plus audacieux, souvent des ingénieurs, tentent des choses avec les moyens du bord. Le mathématicien intervient ensuite, avec une nouvelle idée qui permet de faire des « breakthroughs » révolutionnaires qui font exploser la compréhension d'un phénomène. »

Extrait d'entretien

les sujets que nous sommes font l'expérience du monde et prennent position par rapport à lui. Et si le secret de l'excellente santé de la communauté des chercheurs en mathématique en France résidait dans la qualité de cette relation au monde ? Développer sa capacité à appréhender le réel, éprouver une faculté réjouissante à interagir avec lui, mettre à l'œuvre un imaginaire et rendre possible un travail de sublimation, s'inscrire dans un héritage ancestral, s'autoriser à le revisiter, jouir d'une autonomie individuelle, être reconnu et intégré au sein d'une communauté multiple et unie, se confronter à la complexité, la saisir dans ses invariants et dans son incertitude, mesurer la fragilité et l'épaisseur de ce que l'on ignore, mais, avoir l'humilité d'essayer, encore et encore... Bref, les mathématiques permettraient-elles d'avoir une relation existentielle au monde jusque dans son environnement professionnel, lorsque tant d'entre nous souffrent de le voir devenir désincarné ? Comme l'explique Hartmut Rosa^[15] dans son ouvrage *Résonance « à la racine de l'expérience de résonance, il y a le cri du non-réconcilié et la souffrance de l'aliéné. Elle a pour cœur, non pas le déni ou le refoulement de ce qui résiste, mais la certitude momentanée, seulement pressentie, d'un « et pourtant » porteur de dépassement »*, caractéristique du travail créateur. Dans *Récoltes et semailles*, Alexandre Grothendieck exprime cette même idée lorsqu'il compare le travail intellectuel à la relation amoureuse. Il y a, là, un **lien vivant** qui se nourrit du réel et le féconde.

La discipline mathématique est centrée sur la création de concepts permettant de mieux appréhender certains aspects du réel que 'nous', pris socialement, appréhendons encore mal et pour lesquels nous avons besoin de construire de nouveaux outils. Car oui, la connaissance mathématique naît et se développe dans la vie sociale. Elle déborde progressivement de la conscience individuelle pour devenir avec le temps et l'action de la cri-

tique, une œuvre collective et une pensée abstraite capable de ramener les choses à l'unité du système (dans un ordre de représentation donné). Alors la vie sociale peut, à son tour, s'appuyer sur cette connaissance mathématique pour transformer sa manière d'interagir avec le réel. Les mathématiciens apportent ainsi leur pierre à l'édifice de la culture ; élaboration d'une représentation, construction d'un langage et transformation de nos modes d'interaction avec le réel : « *Les mathématiques sont une science fondamentale dont le mode d'action est de scinder le problème en sous-problèmes qui sont ensuite placés dans un cadre abstrait. Loin de couper les problèmes de leur origine, l'abstraction permet d'apporter des réponses dans des contextes plus larges que celui du départ, et donc de répondre avec des mêmes outils à plusieurs problématiques a priori disjointes.* »^[16].

Cette inclination nourrit la démarche des chercheurs qui travaillent avec la société en général, et les entreprises en particulier. L'aventure des collaborations avec les entreprises pourrait sembler, a priori, à l'écart de l'activité mathématique traditionnelle et de sa tendance irrépressible à élaborer des constructions abstraites. Pourtant cette interaction conduit à des problèmes que les chercheurs qualifient volontiers d'intrinsèquement intéressants car la modélisation, prise au sens le plus large, conduit souvent à des problèmes théoriques ardues.^[17]

Le rôle de la transmission se révèle primordiale. Les rencontres inspirantes et le partage d'expériences de terrain nourrissent le désir d'approfondir cette manière de travailler. Les collaborations sont ainsi souvent le fruit de la transmission d'un apprentissage, apprentissage technique, mais surtout philosophique. Il y a un esprit dans les collaborations. Collaborer avec les entreprises requiert d'avoir été initié par d'autres. Le monde des collaborations est habité par des figures. L'initiation, une fois incorporée, se traduit par un désir de transmettre à son tour, en retour, à d'autres.

Curiosité et rigueur

Mais, la curiosité a pour corollaire un niveau d'exigence : le chercheur attend une certaine qualité au problème posé par l'entreprise. Les questions simples ne trouvent pas preneurs au sein du monde académique car qui dit plaisir, dit désir : l'entreprise doit pouvoir susciter le désir du chercheur, garantir un niveau d'exigence mathématique pour susciter sa participation et accepter la part inconnue du retour à attendre. Dans cette

perspective, la confiance et une sensibilité mutuelle aux enjeux du travail de l'autre sont à ce titre les ingrédients de base de la collaboration de

« Mais honnêtement, le PEPS (projet exploratoire cofinancé par AMIES) dont tu parles n'était pas très excitant ! Ça s'est terminé par une régression logistique ... (...), J'en démarre un nouveau sur l'identification de topologie de réseau, c'est passionnant, mais je n'ai pas encore grand-chose à raconter. »

Extrait d'entretien

recherche. Elles sont en effet des engagements réciproques vers un but scientifique commun, pour lesquels les entreprises n'offrent qu'une petite contrepartie financière au laboratoire. L'idéal est que la collaboration débouche sur une solution pour l'entreprise et une publication pour l'équipe académique.

La collaboration, un trait-d'union

Les contrats de collaboration recherche Math-entreprises sont le *trait d'union institutionnalisé* qui permettent aux entreprises de tisser ce lien entre le monde académique et les autres mondes sociaux en se concentrant sur des dimensions émergentes et complexes du monde que 'nous'- socialement- appréhendons encore mal et pour lesquelles nous avons besoin de construire de nouveaux outils. « *En 1900, on avait environ 150 mathématiciens de recherche dans le monde. Maintenant, il y en a 80 000. Et un mathématicien produit, en gros, un théorème par an. La vie est totalement foisonnante, débordante !* »^[2]. La complexité de l'environnement et la profondeur des mutations en cours nourrissent la discipline et transforment les règles de l'art de la pratique. L'explosion de la place qu'elles prennent dans la vie sociale et, en retour, l'impact du numérique sur la discipline elle-même font osciller les mathématiques entre un épanouissement conceptuel inédit et une série de renversements de paradigmes épistémologiques : à travers les données numériques, les applications deviennent une porte d'entrée vers un travail fondamental. Dans tous les cas, impossible de le nier. Il se passe bien quelque chose dans le monde mathématique qui parle de 'nous', socialement, et du

monde dans lequel on vit. La résonance naturelle de la discipline avec nos sociétés et notre environnement font des mathématiques un formidable poste d'observation, et un poste d'avant-garde, des mutations à l'œuvre.

Chapitre 2 – Mathématicien, un rôle de premier de cordée

« Tout le monde critique les GAFAMs, mais force est de reconnaître qu'ils révolutionnent le monde et répondent à des besoins. »

Extrait d'entretien

Être mathématicien aujourd'hui, lorsqu'on collabore avec les entreprises, c'est aussi accepter d'endosser un rôle social de premier de cordée. Par la dimension performatrice et transformatrice du numérique sur tous les pans de notre vie, faire des mathématiques appliquées, c'est être en prise directe avec le réel, à grande échelle. Face aux enjeux de la triple transition sociétale, numérique et environnementale, les connaissances scientifiques deviennent un prérequis pour la compréhension des défis et, donc, pour la conduite des changements. Réinventer les modèles d'organisation mieux adaptés passe par une compréhension fine des phénomènes complexes dans lesquels notre vie sociale est enchâssée. Le numérique joue le rôle d'une caisse de résonance : impossible pour le chercheur de se retrancher dans une posture de neutralité ou de pureté. Son action nous engage collectivement.

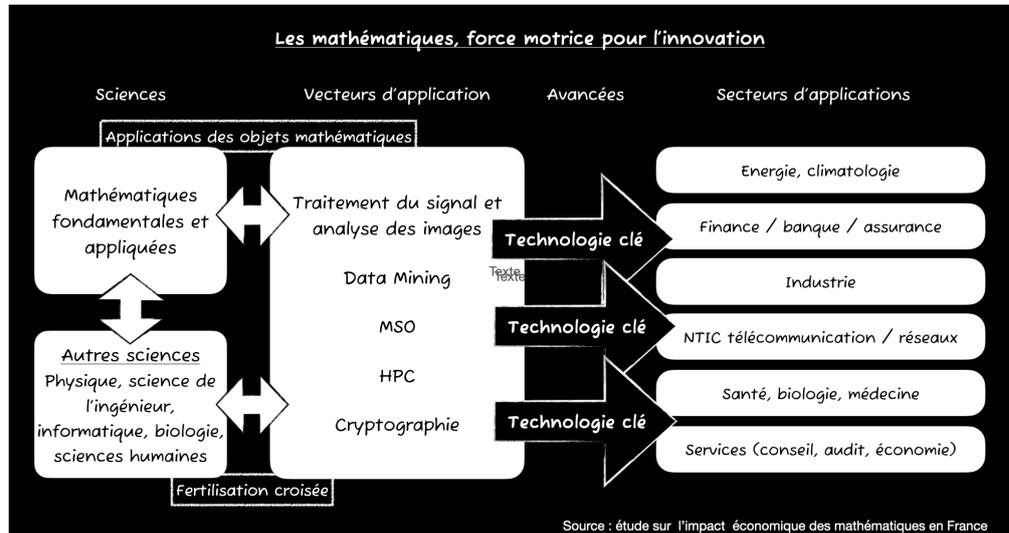
Une contribution invisible, mais essentielle

Une étude sur l'impact socio-économie des mathématiques^[18] en France produite en 2022 souligne une contribution de la discipline au PIB national de l'ordre de 15%. Le nombre de postes concernés directement par les mathématiques s'élève à 3,8 millions sur un total de 43,3 millions, soit 9% du total. Ce poids est en constante progression depuis 2009. Leur nombre augmente

presque deux fois plus vite que celui du nombre de postes dans les secteurs non impactés par les mathématiques. L'impact socio-économique des mathématiques n'a jamais été aussi fort et il continue de progresser. Les mathématiques avancées sont primordiales pour le développement de

44% des technologies clés identifiées dans la quatrième édition de l'étude prospective « Technologies clés 2015 » publiée par le Ministère de l'Industrie. Autrement dit, sur 85 technologies répertoriées, 37 voient leurs progrès conditionnés de façon significative par des progrès dans les domaines mathématiques. Leur implication dans des travaux de recherche présente une très forte valeur ajoutée, et, dans certains cas, est indispensable à la levée de verrous technologiques. Contribution invisible, directe ou indirecte, mais primordiale des mathématiques joue en faveur d'une reconnaissance large de leur contribution stratégique, au même titre que les technologies génériques : nanotechnologie, microélectronique, biotechnologie, matériaux avancés, ... Cette contribution passe notamment par la mobilisation, dans de nombreux secteurs d'activité, de cinq grands champs de compétences stratégiques, fondés intégralement ou partiellement sur les mathématiques : traitement du signal et analyse d'images, Data Mining (statistiques, analyse de données et apprentissage), MSO (modélisation, simulation, optimisation), HPC (high performance computing ou calcul haute performance), Sécurité des systèmes d'information et cryptographie.

Le data mining et la MSO sont des compétences transversales pour l'industrie et les services. Leur caractère critique pour la compétitivité future des entreprises se renforce considérablement depuis quelques années déjà.



De nombreuses technologies transversales sont liées d'une façon ou d'une autre au numérique : c'est le cas, par exemple, des technologies de capteurs, de la robotique, des objets connectés ou du traitement des données. Le numérique impacte la structure et la forme des organisations. Sur le modèle des « GAFAM » et d'entreprises comme Uber, Blablacar, ou Airbnb, les particuliers deviennent de fait les partenaires de ces nouveaux entrants, bousculant les corps intermédiaires et les modèles économiques classiques.

« La contribution a un impact d'une autre nature. On se rapproche du rôle des économistes qui doivent se prononcer et proposer une vision du monde. Ce n'est pas une position confortable. »

Extrait d'entretien

Dans les plis, et les replis de la vie... un niveau d'interaction inédit

L'existence de la donnée massive et la puissance de calcul des ordinateurs imbriquent de façon inédite les outils mathématiques avec le réel. Le véritable perfectionnement des machines correspond non pas à l'accroissement de l'automatisme, mais au contraire au fait que le fonctionnement d'une machine recèle une certaine marge d'indétermination. C'est cette marge qui permet à la

machine d'être sensible à une information extérieure. La machine qui est douée d'une haute technicité est une machine ouverte - et l'ensemble des machines ouvertes supposent que l'homme soit un organisateur permanent. L'opposition dressée entre la culture et la technique, entre l'homme et la machine devient sans fondement. La recherche de cette adhérence au réel devient un enjeu stratégique, et politique, pour les organisations. Les données questionnent autant ce qui relève de la forme et du fond. A travers les mathématiques, les entreprises, et les organisations, revisitent la relation qu'elles entretiennent avec leur environnement, leurs formes, leurs structures. Des questions qui sont éminemment sensibles et qui placent les mathématiciens dans un rôle délicat d'intercesseur.

La refonte, par le numérique, de la « tuyauterie » des organisations déstabilise organisations, institutions et sciences. Les équilibres entre les acteurs sont remis en cause. C'est le cas par exemple du secteur automobile. Il est significatif que deux champions du numérique aient lancé le « concept-car » : la Google-car et l'Apple-car. Ainsi en réponse à ces initiatives, la stratégie des construc-

se situe au cœur même du travail mathématique dans le potentiel pouvoir d'abstraction qui se niche dans la donnée massive. Le dé clic opère lorsque le chercheur touche du doigt que la donnée permet de faire de « jolies maths ». A la question posée à l'un d'entre eux sur les rencontres conceptuelles ou humaines qui ont jalonné son parcours, il me répond : « la vraie rencontre pour faire de jolies maths, c'est la donnée ! ». Dans un monde numérique, l'entreprise, via la donnée, est pour un mathématicien, la porte d'accès à la complexité du réel. Avec l'explosion des données, l'entreprise inspire de « vraies » questions de recherche au chercheur, c'est à dire des questions qu'il ne se serait pas spontanément posées, et des questions qui nécessitent de construire un 'vrai' travail d'abstraction théorique.

^[1] Bertrand Maury, <https://www.ens.psl.eu/actualites/j-ai-toujours-essaye-de-defendre-l-idee-que-les-mathematiciens-ont-leur-pierre-apporter>

^[2] Jean-Pierre Bourguignon, extrait du documentaire « Pourquoi j'ai détesté les maths ».



L'industrie te pose un problème pour lequel tu n'as pas encore les outils. C'est important que les problèmes soient posés par les autres. Je préfère ces problèmes à ceux que je me pose moi-même.

Pourquoi ?

Mais parce que ce sont de vrais problèmes ! Ils m'ont permis d'approfondir mon propre champ de recherche.»

Extrait d'entretien

teurs automobiles vise maintenant le développement du véhicule autonome. Tous les secteurs d'activité sont potentiellement impactés. Le paysage social des collaborations a suivi cette évolution. Il s'est à la fois intensifié et contrasté. Les chercheurs interviennent auprès d'une plus grande variété d'acteurs en termes de profils d'entreprise (taille, activité, culture) posant des problématiques théoriques de haut niveau. Les mathématiciens se trouvent pris à partie de mutations qui dépassent les cadres stricts de la technique.

Dans ce contexte sociétal, le rôle joué par le mathématicien est engageant, mais il n'explique pas qu'un chercheur s'oriente vers les collaborations avec les entreprises. Le ressort de cette motivation

Chapitre 3 – « La vraie rencontre, pour faire de jolies maths, c'est la donnée » ^[19]

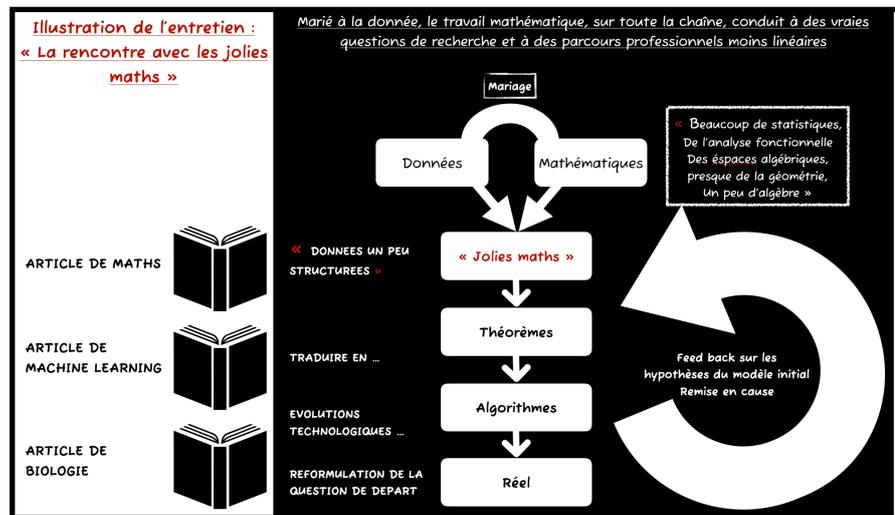
Nous avons vu que les chercheurs qui collaborent avec les entreprises se caractérisent par leur capacité à faire un pas de côté, à passer d'un univers à l'autre, à jouer des différences pour nourrir le travail d'abstraction.

Données numériques, la porte d'accès à la complexité

En France, si l'on devait schématiser le parcours type d'un mathématicien qui s'engage dans les collaborations avec les entreprises, voici les éléments de trajectoire que l'on retrouverait chez un nombre significatif d'entre eux : une formation d'ingénieur de grande école au cours de laquelle se produit une étincelle conduisant le futur chercheur à toucher du doigt que les mathématiques de haut niveau sont un langage universel qui permet d'explorer le vivant dans des contextes différents. L'étincelle se traduit par une volonté de faire un doctorat en mathématique. Le travail de thèse se révèle être un parcours initiatique au cours duquel le chercheur apprend à tourner, seul, autour d'un problème encore mal dégrossi pour le formuler en une question mathématique. Une fois initié, il entre dans LA communauté. Elle l'accueille et le reconnaît comme un pair. Au sein de celle-ci, souvent à travers une expérience à l'influence américaine plus ou moins directe, la représentation classique des mathématiques de haut niveau s'élargit et anoblit le travail d'application. C'est souvent une rencontre avec la donnée qui oblige à faire ce pas de côté. Cette étape ouvre la brèche à d'autres domaines théoriques, aux approches statistiques, probabilistes ou au traitement numérique des données. Considéré comme une vraie rencontre ; elle est souvent à l'origine d'un « turning point », d'une bifurcation profonde dans l'esprit du parcours de recherche. A l'américaine, tout devient alors possible. L'aventure commence.

Ce type de parcours aboutit à découvrir la capacité de marier des mathématiques de haut niveau et

la data. Cette rencontre conduit à réviser la manière dont on envisage le travail mathématique : 1/ élargissement de l'approche, 2/ optimisation sous contrainte des questions posées avec le feedback de l'implémentation, 3/ renversement de certains paradigmes épistémologiques, 4/ éclatement des mondes sociaux. L'aventure est totale. Elle est transformatrice. C'est de ce voyage qu'on ne revient pas.



En quoi les mathématiques qui rencontrent la donnée sont-elles « jolies »^[20] ? Les « jolies » maths, dans la tête des mathématiciens que nous avons rencontrés, sont des mathématiques très abstraites. Les problèmes posés par le traitement de la donnée ont cet intérêt de confronter le chercheur à un problème auquel, seul, « il n'aurait pas pensé. »^[21]

Le chemin vers les approches multi-maths

Le numérique, à travers sa capacité à saisir des phénomènes complexes posent des questions dont le cadre théorique dépasse celui d'un domaine mathématique donné. Ce travail permet de marier plusieurs domaines de la discipline comme les statistiques, l'analyse fonctionnelle, la géométrie, l'algèbre. L'universalité du support numérique

« C'est à toi d'aller chez Monsieur Bricolage pour trouver l'outil, te former, prendre contact avec le concepteur, et peut-être collaborer avec lui sur le sujet. C'est très enrichissant. Ça te permet de rencontrer des collègues et de découvrir leurs outils. Tu n'aurais peut-être pas eu l'opportunité de t'y frotter en faisant une carrière universitaire classique. Tu aurais creusé ton propre sillon. Alors que les collabs t'apprennent à creuser sur le côté. Elles t'ouvrent à d'autres domaines. C'est très enrichissant. Obligé de jongler avec des outils, je n'hésite pas à apprendre. Je n'hésite pas à dire que je ne sais pas. Je peux le dire car je sais que je peux me débrouiller seul. En faisant une thèse et des collabs, tu deviens un vrai 4x4 ! »

Extrait d'entretien

« J'ai étudié leur problème... J'ai essayé de le résoudre - partiellement ! Ce projet m'a permis de faire une communication dans une conférence internationale. »

Extrait d'entretien

« Avec l'entreprise, on a des réunions régulières. On se dit: 'ça s'est possible. Ça ce n'est pas possible. Un match de tennis. La collaboration doit être interactive !

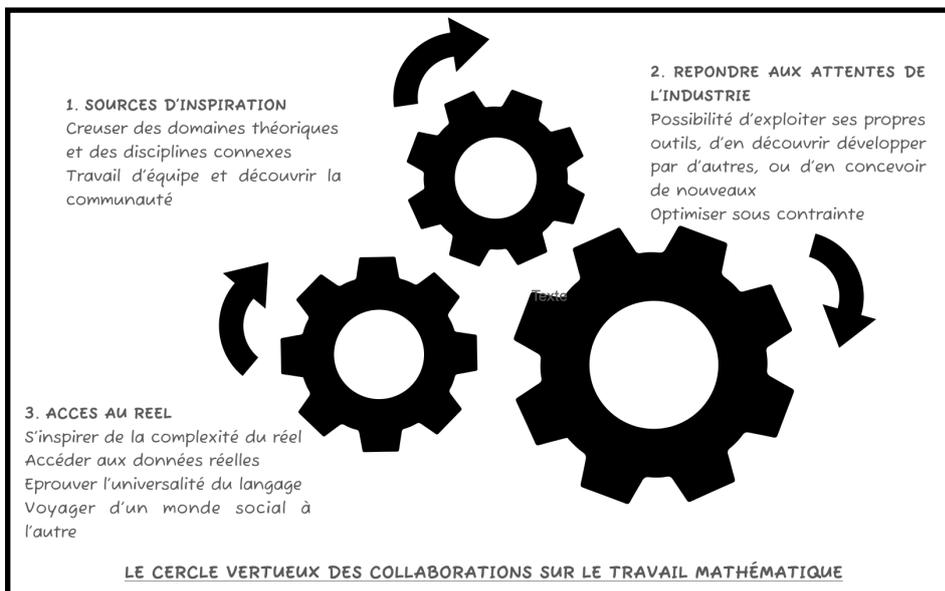
Extrait d'entretien

« Dans le café soluble, il y a des traces de la coque qui entoure la fève. Si tu laisses des traces, tes produits contiennent du gluten. **** voulait se positionner comme le seul fabricant mondial garantissant du sans gluten en optimisant le calibrage de la coque »

Extrait d'entretien

rend possible une diversité des approches mathématiques conduisant à arbitrer entre elles, ou lorsque cela est possible, à les combiner, ce qui rend féconds les dispositifs d'équipe avec une variété de profils de mathématiciens. Dans la pratique, les combinaisons sont compliquées, « *compliquées culturellement, compliquées dans les outils* » car la donnée autorise, sur les mêmes terrains d'application, des approches philosophiques parfois très éloignées.

en cause et posent de vraies questions de recherche. Les questions mathématiques qui lui sont posées par un réel très ouvert et mouvant, pilotent le fil rouge de la recherche et construisent des parcours professionnels moins linéaires. « Dans cette logique, chaque tournant est le résultat d'une combinaison entre des évolutions personnelles, le fruit de rencontres, soit de personnes, soit avec la communauté au sens plus large, soit aussi avec des évolutions technologiques. La technologie change et donc, les questions changent » Les collaborations et ses parcours de recherche enrichissent la boîte à outils.



lutions technologiques. La technologie change et donc, les questions changent » Les collaborations et ses parcours de recherche enrichissent la boîte à outils.

Enrichir sa boîte à outils

Par ailleurs, travailler sur les données réelles confronte ce qu'invente le chercheur avec ce qu'il obtient en pratique. Ce feedback permet de **valider ou d'invalidier les hypothèses de départ**. Difficile alors d'éluder la pertinence de la formulation de départ - ce que certains chercheurs considèrent comme étant un défaut de la discipline. Le feedback rendu possible par la donnée oblige à formuler des hypothèses et des questions de départ avec une rigueur plus grande. Il permet de travailler l'ensemble de la chaîne. Mesurer les petites différences constatées entre l'algorithme et l'implémentation peut être fondamental du point de vue conceptuel. Le feedback qu'autorise l'environnement numérique contraint à préciser la question théorique que le chercheur se pose. Or, c'est le problème de chaque chercheur de se demander ce qu'il cherche. Le fait de voir ce que ça donne à la fin permet de valider ou d'inférer les hypothèses initiales. Souvent, elles sont à remettre

Force est de constater que les finalités envisagées par les entreprises et par les chercheurs à travers une collaboration diffèrent fondamentalement à court terme. Elles ressemblent parfois à l'union de la carpe et du lapin. L'entreprise cherche une solution rapide à un problème concret quand le chercheur cherche un problème ayant une profondeur justifiant une publication. Pour les chercheurs qui aiment « rendre des comptes au réel » afin d'éprouver l'universalité du langage mathématique, les collaborations offrent un terrain fertile. « *L'on abstrait lorsqu'on pense à l'état isolé ce qui n'était point fait pour exister isolément. Le concret, par opposition, est une totalité qui peut exister par soi seule.* » C'est pourtant bien sur le fil qui relie ces deux réalités que les collaborations s'établissent. Leur vocation est même de joindre ces deux polarités.

« On ne sait jamais, sur un malentendu, ça peut marcher. » [24]

Le chercheur et l'entreprise sont chacun en recherche d'une création de valeur inédite. Des deux côtés, la collaboration explore une zone à défricher pour laquelle ni l'un ni l'autre ne détient encore d'outil. Pour faire simple, à l'heure du rapprochement contractuel entre le chercheur et l'entreprise, il n'existe aucune lunette pour regarder le problème qu'on cherche à appréhender. Si les lunettes n'existent pas, mais qu'on parvient, à travers la collaboration, à en élaborer une paire, ça signifie pour l'entreprise qu'elle sera la première, et la seule pendant un temps, à répondre à un problème rencontré par d'autres. Elle aura donc un avantage stratégique qui, dans certains cas, peut s'avérer déterminant pour son positionnement.

Chacune des parties prenantes arrive sur une zone grise qui lui est, au moins en partie, inconnue, acceptant de croiser et d'associer leurs regards, l'un myope et l'autre hypermétrope, pour inventer le verre correcteur qui, lui, révélera peut-être l'objet qui nous apparaît encore flou. On comprend qu'il faille accepter d'avancer à tâtons. Dans ces conditions, l'intensité de l'interaction, la qualité de la communication et la possibilité de se faire une confiance mutuelle seront essentielles à la conduite de la collaboration. C'est pourquoi, ces expériences sont aussi perçues comme des aventures humaines : responsabilité, rencontres, confrontation, prise de risque, incertitude sont les composantes inhérentes d'une collaboration.

Ces **logiques d'action différentes** jouent rôle fondamental dans la construction de sa boîte à outils. Celle-ci embrasse trois dispositifs :

- **Un dispositif technique** : l'acquisition des règles de l'art pour la formulation d'une question mathématique, construire un objet, dans son domaine et dans les domaines connexes, pour jouer de cet ensemble en créant de nouveaux outils ; le travail devient un mélange d'enquête, de formalisation, de création, d'orchestration.

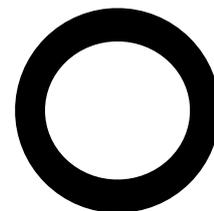
- **Un dispositif humain** : voyager, traduire, se laisser inspirer par les problèmes, coopérer, jouer de la contrainte, ... tout en approfondissant son propre axe de recherche, intersection de l'œuvre individuelle et de l'œuvre collective.
- **Un dispositif social** : créer les passerelles entre les mondes sociaux, s'y mouvoir, savoir appréhender et jouer des normes, savoir s'en affranchir pour en inventer de nouvelles.

Autant de dispositifs qui jouent sur les différences conceptuelles, sociales, organisationnelles. La rencontre entre les mathématiques et la donnée conduit le mathématicien à découvrir d'autres mondes sociaux, que ce soit à l'intérieur de la discipline, de la communauté ou dans le monde socio-économique. Le monde social peut être pris comme **un réseau** de perspectives et de perspectives sur des perspectives, relativement stabilisé et clos sur lui-même, avec une distribution de rôles et de statuts, des idiomes partagés, de participation, une allocation de droits et de devoirs, une concession de privilèges pour **les insiders** et une régulation de l'accessibilité pour **les outsiders**[25]. Autour de la donnée, les mathématiciens jouent à la fois la partition d'insiders et celle d'outsiders.

Construire un regard « méta » et abandonner les postures de surplomb

Travailler sur une collaboration vise à construire un objet pour un problème spécifique. Pour se faire, le chercheur construit des outils (la lunette adaptée permettant de révéler l'objet et de s'en saisir). Au fur et à mesure des collaborations, le chercheur construit ce qu'il appelle « sa boîte à outils » : plus elle est riche et variée, plus le chercheur peut espérer répondre à des questions, même mal formulées. Il acquiert une expérience dans la construction des outils. Par ailleurs, il apprend à développer sa veille. Il se renseigne sur l'existence d'outils répondant au problème exprimé. Cet exercice est l'occasion de rencontrer de nouveaux collègues travaillant en dehors de son

cercle habituel. Les collaborations apprennent à interagir avec une grande variété de personnes. Chacune apporte la vision à travers son prisme. Savoir « tourner autour d'un problème » requiert de savoir changer de lunettes : multiplier les prismes développe sa capacité à saisir les modes de représentation d'un objet. Pour transposer l'analyse réalisée par Pierre-Michel Menger et ses co-auteurs^[26], nous pourrions émettre l'hypothèse que les collaborations font jouer à la pratique mathématique un rôle identique à celui qu'elle a dans les sports ou dans l'apprentissage musical. Elles déclenchent dans ces activités une forme particulière de socialisation et d'implication exigeante qui stimule la recherche. S'y mêlent, le plaisir éprouvé à résoudre des difficultés par le consentement à y parvenir, et la rivalité avec les collègues pour s'entraîner à conquérir une habileté graduée par des apprentissages motivants. **Une dynamique de co-investissement** avec les partenaires de l'entreprise et ceux de la communauté, prise au sens large, opère. Elle permet la transmutation de l'apprentissage des besoins de l'entreprise en une activité de recherche exprimant pleinement son potentiel d'inventivité. Cette dynamique développe l'habileté à concevoir des outils et à s'adapter aux contextes. En résumé, s'engager dans une démarche de collaboration en matière de recherche avec les entreprises transforme la manière d'appréhender le travail mathématique.



‘La vraie rencontre pour de jolies maths, c’est la donnée !’

Extrait d’entretien

« Quelles sont les rencontres, conceptuelles et humaines, qui ont jalonnées et façonnées votre parcours ?

Après mes études d’ingénieur, j’ai choisi de faire une thèse en mathématique statistique pour travailler sur la génomique. J’aimais beaucoup la biologie. Je ne venais pas d’une famille de scientifique. Mais c’est le moment où j’ai compris que les mathématiques de haut niveau permettaient d’explorer le vivant. Ça m’a passionné. Au cours de ma thèse, j’ai rencontré le domaine du machine learning. C’est une communauté que je ne connaissais pas. J’ai fait bifurquer mon travail de thèse dans cette voie. A l’ENS [Ecole Normale Supérieure], on abordait le domaine sous un angle très mathématique.

J’ai été influencé par X. Il était arrivé à un niveau de maths exceptionnel, et s’intéressait néanmoins aux applications du traitement de l’image. Cette capacité à marier des mathématiques de haut niveau et la data a beaucoup résonné en moi. Il y avait là de jolies mathématiques qui se traduisaient en algorithmes et qui permettaient de résoudre des problèmes de biologie.

En quoi ces mathématiques étaient-elles jolies ?

Il y avait beaucoup de statistiques, de l’analyse fonctionnelle (pour prendre des espaces de fonctions), presque de la géométrie, un peu d’algèbre. On s’intéressait à des données un peu structurées pour les regarder dans des espaces algébriques. Il y avait vraiment de quoi marier les différentes disciplines mathématiques, aboutir à des théorèmes, puis à des algorithmes complétés sur données réelles. Ça m’a toujours plu, et je suis toujours resté dans ce domaine, en variant les périmètres d’applications : biologie fondamentale, recherche contre le cancer, ... Coté informatique, je ne suis qu’un utilisateur. J’invente des algorithmes principalement. Ce qui m’intéresse - ce n’est pas trop dans la culture mathématique -, c’est de confronter ce qu’on invente avec ce que ça donne en pratique. Souvent on se rend compte qu’entre l’algorithme et son implémentation, il y a de petites différences qui sont importantes. Quand on confronte l’algorithme aux données réelles ou simulées, on obtient un précieux feedback sur le modèle initial. Si on s’arrête à la première étape, ça fait un article de maths. Si on développe un algorithme parce qu’on pense que les données ont certaines propriétés et qu’on l’implémente, ça fait un article de machine learning. Ensuite, on peut le tester sur des données biologiques, et voir si ça résout le problème ; et là, on peut faire un autre type d’article. J’aime beaucoup travailler sur l’ensemble de cette chaîne. J’aime cette notion de feedback car, finalement, une des choses qui me chagrine en mathématiques pures, c’est la

tendance à éluder la formulation de la question de départ. Quelle est la question qu'on se pose vraiment ? Qu'est-ce que je cherche ?

C'est le problème de chaque chercheur de se demander ce qu'il cherche. Moi, j'ai trouvé une solution qui m'évite de passer trop de temps à y réfléchir, c'est de motiver mes directions de recherche en fonction d'une utilisation finale. Dans ce cadre, par exemple, si on développe une nouvelle théorie statistique, le fait de voir ce que ça donne à la fin permet de valider ou d'inférer les hypothèses initiales. Souvent, elles sont à remettre en cause. Et ça, ça pose de vraies questions de recherche. Ce qui fait aussi que je n'ai pas un parcours parfaitement linéaire. J'adapte mes outils à mes recherches. Dans cette logique, chaque tournant est le résultat d'une combinaison entre des évolutions personnelles, le fruit de rencontres, soit de personnes, soit avec la communauté au sens plus large, mais aussi le résultat de rencontres avec des évolutions technologiques. La technologie change, et donc, les questions changent. Ces rencontres avec la technologie ouvrent des potentiels énormes de recherche.

En ML, aujourd'hui, ce ne sont plus les mathématiques qui insufflent de nouvelles idées. Le deep learning n'est plus très compliqué. Pas besoin d'avoir fait 10 ans d'études de maths pour l'implémenter. C'est justement parce que c'est tellement simple qu'on a autant de gens qui font ça. Mais ils observent en ML, ce faisant, de nouveaux phénomènes - proches du vivant. Ce sont plutôt ces nouveaux algos produits de manière plus ou moins aléatoire, et avec une sélection naturelle pour retenir les meilleurs qui posent de nouveau des questions mathématiques. On était initialement sur de la statistique, on va maintenant vers de la géométrie, de l'optimisation de formes. Le temps, en la matière, n'est pas linéaire. Le succès du deep learning est aussi la part de quelques-uns qui ont su creuser leur sillon. Il faut une capacité morale pour le faire. Le deep learning est multi-domaines aujourd'hui, mais ironiquement c'est vrai grâce à quelques personnes qui ont eu des convictions. Elles ont approfondi leur domaine quand plus personne n'y croyait encore. Les chercheurs sont assez suiveurs en général. Quelqu'un a une bonne idée, et la majorité suit. Ça diminue la variété des approches. En revanche, il y a maintenant quelque chose de nouveau qui soutient les changements brusques : on peut évaluer quantitativement la performance des approches. Un inconnu peut donc très vite changer la donne et se faire repérer. C'est ce qui fait que cette discipline est très mouvante. Il faut être très réactif. »

[1] « Algo » pour algorithme, à l'oral



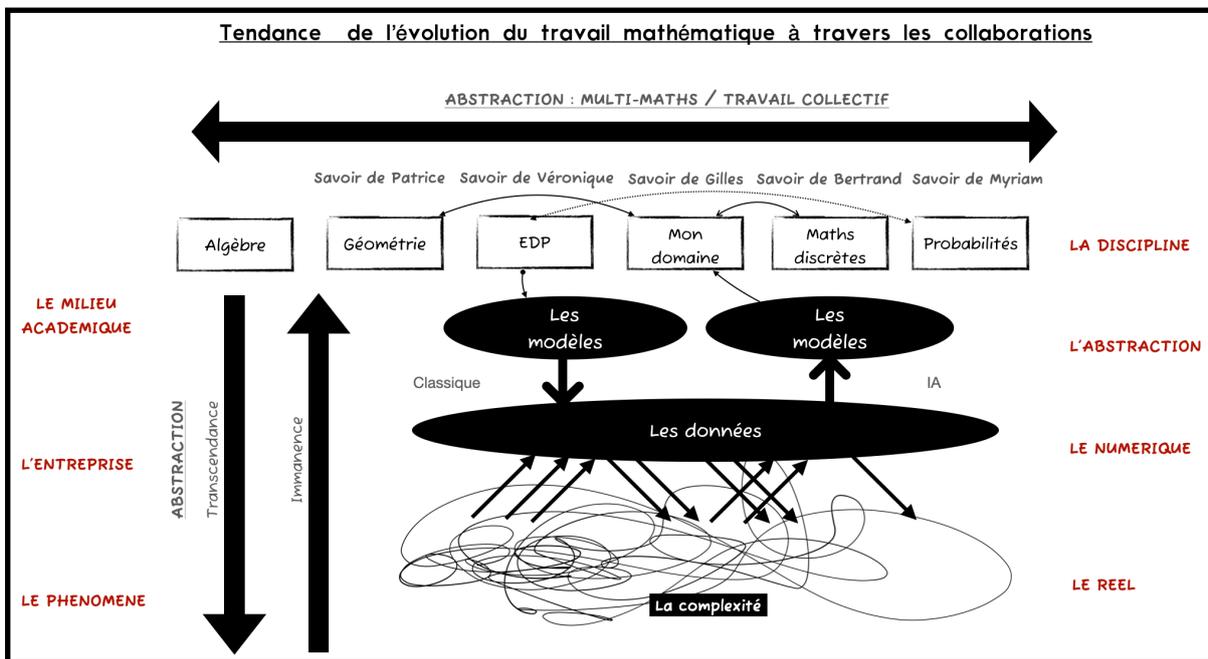
En fait pour résoudre les problèmes actuels, un problème sociétal, un challenge industriel, ... un vrai problème, quoi ! Eh bien, à un moment, il faut accepter qu'il y ait plusieurs solutions. Il y a différents types de mathématiques qui pourront entrer dans la solution du problème.

C'est une libération que de se dire que, finalement, ce que j'ai appris toute ma vie n'est pas forcément ce qui va marcher. Je ne peux pas mettre mon savoir à toutes les sauces ! Depuis mes années d'étudiant, j'ai toujours pensé qu'on cloisonnait trop les domaines. Depuis, on voit émerger des problèmes multi-maths qui permettent de regarder les problèmes sous des angles différents et voir comment chaque domaine peut contribuer à imaginer des solutions. »

Extrait d'entretien

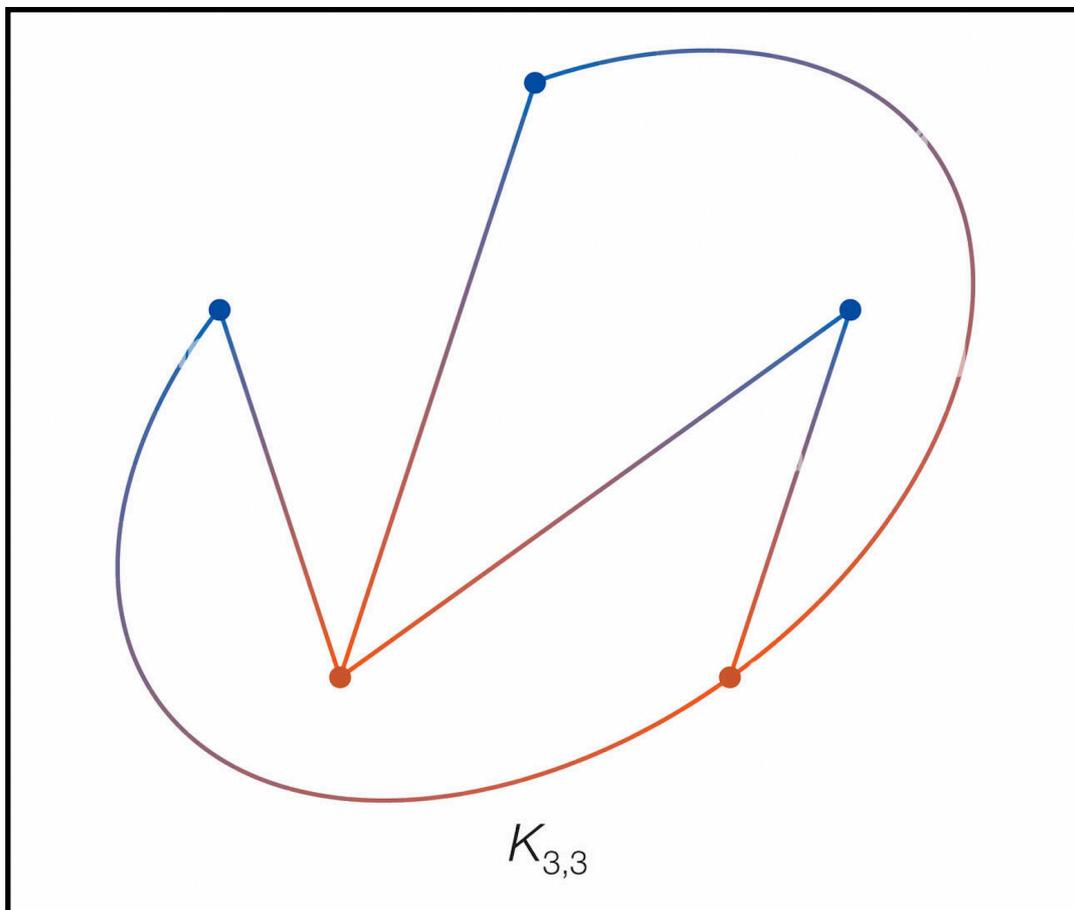


En résumé,



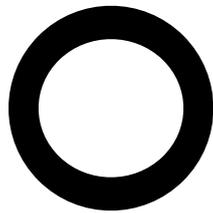
DEUXIÈME PARTIE :

Le monde numérique, une géographie pour la mathématique



« Pratiquement et logiquement, il serait absurde de relier ce qui n'était pas d'abord séparé et qui, d'une manière ou d'une autre, le demeure. Conformément à cette formule, donc, les deux fonctions s'allient dans les entreprises humaines, tantôt c'est la connexion et tantôt la séparation qui sont, à notre sens, données de nature et notre tâche est alors, selon nous, de passer de l'une à l'autre, c'est en cela que résident toutes nos activités. »

Georg Simmel, Pont et porte, extrait d'une conférence de 1909



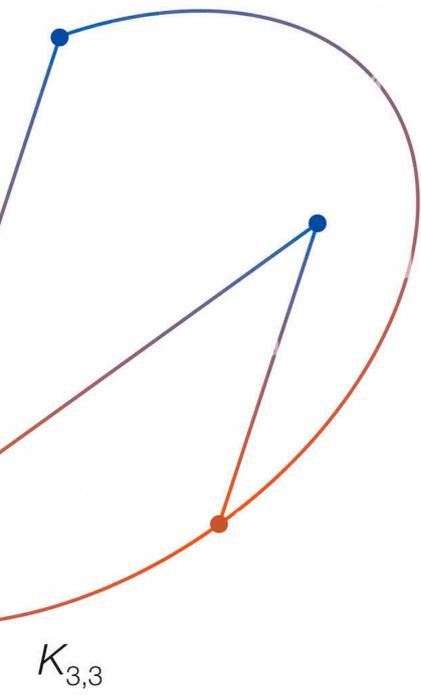


En France, les statistiques sont apparues récemment développant un continuum entre les aspects très théoriques et les aspects appliqués. L'émergence de ce continuum a modifié profondément la discipline. Cette évolution s'est accélérée avec le Big Data.

Il y a plusieurs façons de devenir mathématicien, mais une des raisons est de chercher à se créer un monde dans lequel les choses sont pures : ce n'est pas le cas dans la vie ! Pourtant de plus en plus de mathématiciens sont interpellés par des applications numériques parce qu'elles exigent d'intégrer des choses théoriques très poussées.

Ça passe beaucoup par les probas, les stats et l'informatique évidemment. Mais des questions interpellent qui requièrent de chercher du côté de la géométrie, de l'algèbre parce qu'on en a besoin. C'est valorisant parce que - bon- faire ses petits théorèmes dans son coin, c'est bien, mais savoir que des choses fondamentales s'appliquent sur de vraies données ... C'est absolument fascinant ! C'est un plaisir qu'on n'a pas tous les jours ! Ce sont de nouveaux champs qui s'ouvrent. »

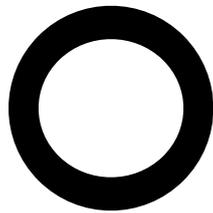
Extrait d'entretien

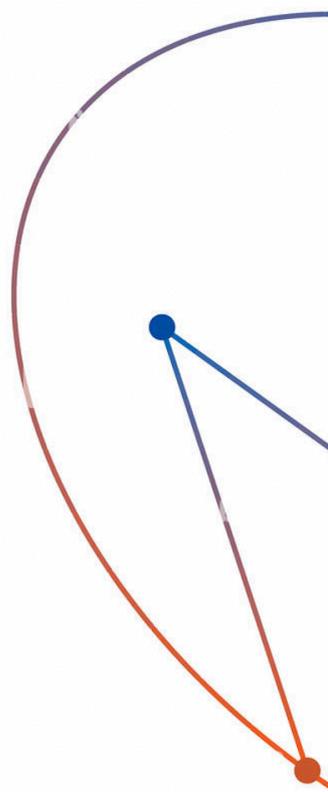


Les boards ne connaissent rien à la plomberie

« La mutation provoquée par le monde de la donnée massive, érige les mathématiques à un niveau inédit d'interaction avec le réel. Le numérique n'est pas qu'une technologie, c'est le vecteur capable de produire, traiter et absorber de la donnée qui circulent un peu partout, en permanence. Elles transportent avec elle de larges composantes stratégiques. Ces flux sont vitaux. Comprendre comment fonctionnent les tuyaux devient une question stratégique ... mais force est de constater que les boards ne connaissent rien à la plomberie. »

Extrait d'entretien





1 + 1 = 3

« Les labos sont évalués toutes les 4 ou 5 ans par l'HCERS. L'HCERS avait dit que xxx était un excellent labo mais qu'il manquait d'ouverture sur l'industrie. Je suis parti là-bas. Ça a été dur mais ça a été très enrichissant. Ces chercheurs ne savaient pas ce qu'était une application. Mon expérience m'a apporté la capacité à interfacer deux milieux et, à travers une application, à faire avancer les dimensions théorique et concrète avec des mathématiciens très théoriques... Vraiment, on fait des choses où 1+1 fait 3 !»

Extrait d'entretien

Depuis la fin du 19^{ème} siècle, les mathématiques opèrent un double mouvement de clarification du paysage conceptuel précisant les frontières des domaines théoriques et de suppression des clivages sociotechniques et humains dans lesquels elles évoluent. Stéphane Mallat rappelait, dans sa leçon inaugurale au Collège de France, que les mathématiques appliquées ont le charme des choses à la frontière. Elles ont pour vocation d'apporter une vision et un langage commun à des univers scientifiques et techniques différents. « *Faire des mathématiques*, disait aussi Poincaré, *c'est donner le même nom à plusieurs choses différentes* ». Elles permettent de voyager d'un univers à l'autre. Cette raison est invoquée par plusieurs chercheurs pour expliquer leur goût pour les collaborations. « Elles te font voyager », elles permettent d'éprouver l'universalité du langage, ... **La frontière** peut être qualifiée comme **le site des différences** qui interagissent. Encore une fois, le numérique amplifie cet effet. L'informatique est une technologie tellement universelle ayant une propension à se diffuser spontanément qu'elle véhicule des possibilités de voyage et de mises en correspondance. En particulier, elle donne à la discipline **une frontière universelle** qui rend praticable les espaces de différences. Et les traitements en quasi-temps réel permet de capter les phénomènes dans leurs déploiements offrant aux mathématiques d'appréhender **les épousailles de la structure, du mouvement, de la forme, du nombre et de la grandeur ; ces fameuses jolies maths qui titillent le chercheur.**

Chapitre 1 – Rendre « praticable » la frontière entre les domaines théoriques

Le numérique, une nouvelle frontière universelle

Une fois numérisée, toutes les informations prennent la forme unique de suites de nombres. Cette numérisation permet de s'affranchir de l' ancestrale dépendance d'une information vis-à-vis de son support. En combinant différents types d'algorithmes, l'information peut désormais être transportée, indépendamment du contenu, ce qui était impossible avec les représentations analogiques classiques. Un cap était franchi dans la capacité d'abstraction. La numérisation offre ainsi aux différents domaines mathématiques **une frontière universelle** qui facilite la mise en dialogue d'univers conceptuels éloignés.

Comment expliquer cette révolution ? Comprendre cette histoire nécessite de se plonger dans les crises qui ont marquées l'histoire de la discipline mathématique depuis la fin du 19^{ème} siècle. Elle débute par la « crise des fondements », à l'origine de la naissance de l'informatique. Les travaux successifs de Cantor, Boltzmann, Hilbert et Turing ont revisité la pensée déterministe de Newton. Ils ouvrent progressivement la voie à une pensée plus ouverte, dynamique qui, articulée à une logique de mathématiques 'discrètes', rend possible une numérisation systémique des phénomènes. L'histoire de la refondation se poursuit avec les apports de l'école d'algèbre allemande, qui se prolonge du côté des mathématiques fondamentales par les travaux de Bourbaki et, du côté des mathématiques appliquées, par des approches pluridisciplinaires développées dans le contexte de la seconde guerre mondiale.

Lorsqu'elle peut tout – ou presque – numériser, la technologie offre **un miroir** au réel. Dynamique, ouverte et interactive, elle permet de saisir – et construire – une représentation dynamique et fine. Elle investit tous les champs de la vie : sociaux, physiques et techniques. Cette numérisation systémique des phénomènes et des notions rend la frontière entre le réel et les domaines mathématiques continue. Même si la pratique démontre quotidiennement que le potentiel de combinaison soulève de nombreuses et profondes questions techniques ou épistémologiques, la mise en correspondance des réalités, y compris conceptuelles, devient, en théorie, possible. En renforçant le continuum entre mathématiques appliquées et mathématiques fondamentales, cette nouvelle frontière rebat les cartes du travail mathématique et l'ordonnement de la hiérarchie entre les domaines de la discipline. L'application exige d'appréhender un panorama de connaissances fondamentales élargi. L'universalité du numérique permet à des mathématiciens très abstraits de découvrir soudainement – pour peu qu'on les guide – que leurs travaux peuvent être appliqués sur des données. **Des liaisons inédites s'établissent. De nouvelles ramifications théoriques au sein de la discipline se tissent. Les liens de filiation entre les concepts au sein de la discipline**

se brouillent. L'entreprise étant la principale, voire l'unique, porte d'accès au monde numérique, collaborer avec elle change la manière d'appréhender le travail.

^[1] Mark Alizart, Informatique céleste, page 97.

^[2] Cédric Villani, Les mathématiques la poésie des sciences, page 53.

Donnée et mathématique, point de rencontre ou ligne de fuite ?

« Je suis un vrai mathématicien. Les ordres de grandeur, je ne connais pas ! » ^[1] En général en mathématique, la donnée n'existe pas. Faire de la mathématique fondamentale à partir de la donnée renouvelle profondément, par étapes successives, la discipline depuis l'émergence de la technologie informatique. Pourquoi ? Comment ? **Intégrer le traitement des données dans la pratique du travail** marque une révolution à l'origine de bifurcations : **bifurcation épistémologique pour la discipline et bifurcations professionnelles dans les trajectoires individuelles.**

En fonction des problématiques étudiées, au fil des rencontres, les chercheurs peuvent éprouver le besoin, ou le désir, de changer leur fusil d'épaule. L'apparition de la donnée massive et la puissance des ordinateurs ont soutenu le développement et la refondation des approches statistiques et stochastiques au cours des dernières décennies. Elles suscitent un vif intérêt chez un grand nombre de chercheurs. Culturellement, la mathématique, en France, s'est pendant un temps, tenue éloignée de cette conception. « *Bourbaki s'est écarté des probabilités, les a rejetées, les a considérées comme non rigoureuses et, par son influence considérable, a dirigé la jeunesse hors du sentier des probabilités. Il porte une lourde responsabilité (...) dans le retard de leur développement en France, du moins pour tout ce qui concerne les processus, c'est-à-dire les développements modernes.* » ^[2] avouera Laurent Schwartz. Cette influence a pesé dans l'héritage culturel de plusieurs générations de chercheurs. Leur découverte peut être à l'origine de profonds changements d'orientation dans les axes de recherche qui nécessitent de désapprendre un domaine théorique pour s'orienter vers les statistiques. Le sujet reste le même, mais la grille de lecture change.

En effet, les cultures de modélisations analytique et statistique diffèrent par le statut qu'elles accordent aux données : moyens de valider une modélisation analytique respectant les principes physiques ou source même et justification de la modélisation statistique. **Transcendance contre immanence, droit romain contre découverte des règles par « commun law »**, dans tous les cas, deux pays séparés par le miroir d'Alice au pays des merveilles. On comprend que la donnée bouleverse les pratiques au sein de la discipline, ouvre de nouvelles voies, soulève des questionnements et des sujets d'inquiétude légitimes. A ce jour, son statut demeure encore une chose relativement ambiguë. Ambiguïté conceptuelle, mais également ambiguïté institutionnelle au regard de la reconnaissance de sa place au sein de la communauté.

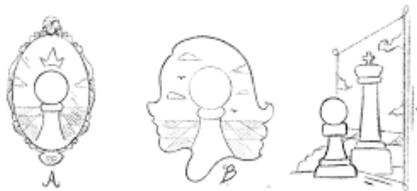
Anecdotique, mais symptomatique, elle s'illustre par exemple dans le choix de l'appellation initiale du réseau regroupant les laboratoires de mathématiques au niveau régional pour structurer l'offre de collaborations recherche avec les entreprises - appellation elle-même inspirée du réseau européen correspondant : MSO pour Modélisation Simulation Optimisation, trois termes se rapportant à l'univers de l'analyse quand une part de plus en plus importante des problèmes posés par les entreprises sont des questions qui portent sur le traitement de la donnée. Depuis, le nom officiel du réseau contient une référence à la science des données : MSO-DE, avec l'ajout de DE pour préciser « in a Data-rich Environment ». Cette évolution des noms révèle des distorsions entre les tendances observées sur le terrain des collaborations et la manière dont la communauté s'en empare pour les inscrire – ou pas – dans une tradition. Elle révèle aussi, dans une certaine mesure, les enjeux de représentation et de place symbolique que la communauté accepte de céder – ou pas - à la donnée et aux statisticiens en son sein. Peut-on articuler statistique et analyse ? Les modèles hybrides ont-ils une vraie réalité opérationnelle ou ne sont-ils encore que de simples tentatives abstraites pour rapprocher deux conceptions de la représentation. Le « deep learning » complexifie la donne – c'est le cas de le dire - en 'floutant' et renversant les liaisons classiques entre réel, construction de l'objet, abstraction. La frontière entre l'objet et les outils s'estompe. Dominique Cardon

retrace, dans son article « La revanche des neurones » le vertige du renversement de paradigme qui se profile.

« C'est pas forcément des gens qui font de la logique formelle, mais c'est des gens qui sont quand même dans cette idée qu'il faut comprendre, qu'il faut savoir expliquer pourquoi on met les branches comme ça et qu'on raisonne comme ça, et que l'on avance comme ça, et qu'il faut toute cette intelligence des « features »^[3] qui va avec et qui aide à dire que l'on comprend parfaitement ce que l'on fait et que l'on sait pourquoi c'est là. Et le mec, il arrive avec une grosse boîte noire de « deep », il a 100 millions de paramètres dedans, il a entraîné ça et il explose tout le domaine. "Est-ce que vos modèles sont invariants si l'image bouge ? Le gars, il n'a même pas compris la question ! C'est Le Cun qui répond : "Alors, ces modèles sont invariants parce que..."^[4]

Pour transposer l'image de l'impact sur les mathématiques à celle du droit, on basculerait d'une philosophie de **droit romain** à une logique processuelle de **Common law**. La règle n'est plus **transcendante**. Désormais **immanente**, la modélisation surgit d'un jeu plus incertain avec le concret et se renouvelle avec lui. L'immanence est au fond être soi-même comme deux, la forme se développe comme un serpent. La physique statistique, l'héritage de Boltzmann— ont introduit des passerelles entre ces conceptions transcendantes et immanentes des outils mathématiques. Boltzmann a marqué une génération de mathématiciens. Le droit romain, c'est finalement la modélisation analytique plus traditionnelle, à partir de lois de l'univers qui s'applique au réel dans un sens du haut vers le bas. Alors que dans le monde des données massives, on part du bas, des données brutes, pour révéler une modélisation. L'application pratique du « droit romain » était issue d'une interprétation par la scolastique. C'est qu'en effet, au Moyen Âge, seuls les clercs réguliers avaient la « scholé », c'est-à-dire le loisir d'étudier, laissant aux autres (le clergé séculier, les laïcs, etc.) le soin — réputé subalterne — de s'occuper des affaires matérielles. De l'interprétation des clercs s'appliquent des prescriptions aux cas concrets. Dans le système juridique du common law, les règles sont principalement révélées et édictées au fur et à mesure des décisions de justice. Avec le numérique, les mathématiques se réconcilient avec la donnée : abstraction du raisonnement et traitement statistique d'un réel envisagé sans a priori conceptuel. La donnée pose la question de comment traverser le miroir de la représentation pour construire autrement de « bons objets ».

Cette découverte est, pour certains mathématiciens, une révélation. Pour d'autres, ce 'floutage' pose une interrogation épistémologique sur la place à accorder – ou non - à la machine pour modéliser au risque de supplanter les facultés humaines de compréhension par le raisonnement grâce au traitement massif de données. Dans la pratique industrielle, elle suscite autant d'engouement que de frustration de la part des entreprises. Dans tous les cas, elle devient incontournable et pose mille questions (Voir l'extrait d'entretien: « dialogue entre un EDPiste et un statisticien : du statut de la donnée et de son usage », page 76).



Comment traverser le miroir d'Alice au Pays des merveilles ?

Sur le terrain des collaborations, la statistique, les équations dérivées partielles et les probabilités se retrouvent souvent dans cette zone grise où il faut arbitrer entre différentes approches. Celles-ci ne feront pas jouer le même rôle à la donnée dans le processus de modélisation.

Elle est le miroir dans lesquels les domaines se réfléchissent d'un côté, ou de l'autre.

Domaine	Principe d'analyse	Philosophie	Type d'accès à la donnée	Applications / méthode	Risque : « over-fitting »
EDP	Loi -> Comportement	Transcendance	Indirect / calibrage & bruit	Espaces de dimension très grand / régularité / état du système	Faire entrer, aux forceps, la réalité dans le modèle
Statistique	Comportement -> Loi	Immanence	Direct / modélisation	Irrégularités	Modéliser des absurdités

Beaucoup d'espoirs sont placés dans la possibilité de les hybrider. Nombreux sont ceux qui évoquent les jumeaux numériques. C'est un grand enjeu pour les mathématiques de pouvoir rapprocher ces domaines. Mais dans la réalité, « *tu vas connecter des gens qui pensent en dimension finie et croient en la régularité avec des gens dont les méthodes viennent de dimensions plus réduites et font l'économie du manque de régularité. Culturellement, ils sont tête-bêche !* » Quand les mathématiciens parviennent à unifier leurs équipes, à l'exception des GAFAM, ou des entreprises approchantes, la réalité opérationnelle des entreprises rend ces approches souvent impossibles : rareté des données, temps de calcul trop long, coût technique et financier pour les obtenir. Elles rencontreraient de nombreuses difficultés à fournir, en pratique, la matière suffisante aux équipes.

Chapitre 2 – Redessiner les frontières et pulvériser les clivages, la force d'un héritage

Redessiner les frontières, l'héritage Bourbaki

« **Pluraliser**, disait Jacques Derrida, c'est toujours se donner une issue de secours jusqu'au moment où c'est le pluriel qui vous tue »^[5]. Foisonnement intellectuel, nouvelles ramifications des connaissances, multiplicité des contextes d'application, le numérique pourrait faire peser une menace d'éparpillement à la discipline. Après la première guerre mondiale, plusieurs jeunes mathématiciens français avaient pressenti la tendance à l'hyperspécialisation de leur discipline - eux qui, faute de principes directeurs solides, voyaient leur science en péril de se décomposer en **une sorte de tour de Babel** mathématique^[4], ainsi que l'explique la « notice de la vie Bourbaki ». Le groupe met en évidence le fait que la rigueur se construit en définissant les « bons objets », dans le bon cadre, au bon niveau de généralité et en introduisant la bonne structure sous-jacente au problème étudié. Le groupe de mathématiciens a apporté une réorganisation, une clarification, et une unification des fondements mathématiques. Initiés avec des sujets d'analyse, puis étendus aux notions de la théorie des ensembles, de topologie et d'algèbre moderne à la manière de l'école allemande, ses travaux sont devenus le « paquet abstrait », édifice d'une profonde unité, hiérarchisé dans les termes de structures abstraites.

Souvent associé aux mathématiques pures, le groupe Bourbaki a pourtant largement contribué à clarifier les frontières entre les domaines théoriques et a fourni l'armature d'un langage suffisamment robuste et universel pour supporter l'explosion des mathématiques inhérentes au monde numérique. Ironie du sort, Bourbaki, réfractaire aux applications des mathématiques, a pourtant construit les bases du corpus et des frontières entre les domaines lui permettant aujourd'hui de soutenir ce foisonnement de manière féconde. Son apport axiomatique donne à la notion de **frontière** la possibilité d'appréhender l'espace des différences, **autorisant ainsi les rapprochements, les couplages, sans risque d'affaiblir la puissance des concepts**. Ces objets étant bien posés, la frontière compose la base permettant les combinaisons, sans confusion. Il ne s'agit pas, pour comprendre **le travail mathématique**, de tracer les frontières d'un nouveau domaine, mais plutôt de partir des frontières et d'enquêter sur la façon dont la théorie, dans la pratique, crée **cette « chose de la frontière »**, que Stéphane Mallat nomme « l'auberge espagnole », où cohabite des approches différentes et se nourrit d'interactions. La frontière peut être qualifiée comme le site des différences, qui autorise la représentation du paysage et la navigation d'un espace à l'autre, sans risque de s'égarer chemin faisant. **Les frontières deviennent le site des interactions possibles.**

Si les approches dites 'multi-maths' peuvent se déployer aujourd'hui, sans risque d'éparpillement, c'est sans conteste grâce à la robustesse du corpus et à la rigueur de l'axiomatique que le groupe Bourbaki a su construire. Ce travail a permis de propager une vision unifiée des mathématiques et imprégner la culture d'une bonne partie de la communauté internationale. La fortification de ce corpus, cœur du langage, autorise ensuite la communication, la diffusion de la connaissance et stimule la créativité. Elle a permis de construire la « carte » d'un paysage mathématique bien dessiné.

^[4] Bourbaki, une société secrète de mathématiciens, Maurice Mashaal, page 123.

Je ne pouvais faire ça autrement que par l'estimation statistique



Quand j'ai débuté ma thèse en analyse, il s'agissait de comprendre la variabilité de forme des images. Nous avons des outils pour quantifier les différences et évaluer la variabilité. Le souci était que ces mesures se faisaient toujours par rapport à une image donnée. Malheureusement quand on changeait cette image « de référence », nous obtenions des résultats conduisant à des interprétations divergentes.

Je cherchais à estimer cette image de référence comme une sorte de moyenne des autres, non bruitée, sans résolution définie et de sorte qu'elle soit représentative de la population considérée. Je ne pouvais faire ça autrement que par de l'estimation statistique. Pendant ma thèse, j'ai décidé de bifurquer vers les stats. Ça m'a amené à d'abord définir des modèles statistiques puis à proposer des algorithmes stochastiques pour voir les garanties théoriques qu'on pouvait obtenir. »

Extrait d'entretien



Sa vision consistait à utiliser des données pour construire des algorithmes et surtout paramétrer ces algorithmes à l'aide de données... 20 ans plus tard, c'est l'âge d'or de cette manière de faire. Et à l'époque, il y avait pourtant peu de puissance de calcul, pas de grosses bases de données... Qu'un mathématicien 'pur' s'investisse dans cette voie avait quelque chose de visionnaire. »

Extrait d'entretien

Pulvériser les clivages sociaux, l'héritage de Jacques-Louis Lions

En parallèle des travaux menés par l'équipe Bourbaki, les Américains conduisent une autre mutation qui favorise, elle, les hybridations et le travail pluridisciplinaire. Aux Etats-Unis, la période de la Seconde Guerre Mondiale a rapproché mathématiciens, physiciens, ingénieurs, et sciences-sociales. Les scientifiques, dont beaucoup d'immigrés juifs, formés à la flamboyante école d'algèbre allemande, ont fui la menace hitlérienne. Ces mathématiciens, confrontés à l'urgence des défis, acceptent de contribuer à des recherches appliquées. Les mathématiciens les plus « purs » changent de domaines de spécialité, infléchissent leurs objectifs : les problèmes des ondes de choc provoquées par les avions, les questions de la balistique, donnent le coup d'envoi aux recherches de Von Neumann sur la dynamique des fluides. Le contexte de la guerre a pulvérisé les clivages entre le « pur » et « l'appliqué ».

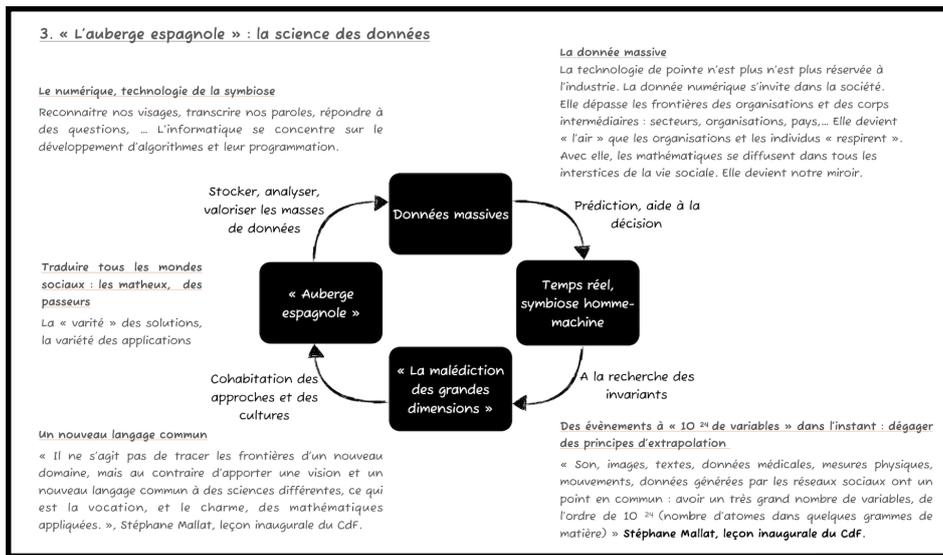
Après la guerre, les domaines issus de ces nouveaux problèmes sont les équations aux dérivées partielles, la théorie des ondes et des phénomènes de choc, l'étude des vibrations et de leur stabilisation, la turbulence hydrodynamique... Une reconfiguration entre hydrodynamique, ordinateurs et analyse numérique émerge de tous ces travaux. Elle se caractérise par des interactions fortes entre mathématiciens, physiciens et ingénieurs. Elle brouille les frontières entre ce qui relève clairement des mathématiques et ce qui n'en relève pas. L'ordinateur conduit à un renouvellement profond de l'analyse. Avec le « Statistical Group of Columbia » regroupant des statisticiens remarquables dont Dantzig, William, Friedmann, Wiener, Nash, les statistiques s'élèvent dans le rang de la hiérarchie interne de la discipline. Enfin, la communauté décentralise ses structures de recherche, permettant à plusieurs courants de coexister.

En France, Jacques-Louis Lions fait la synthèse entre ces deux courants qui ne se rejoignent pas. Son travail articule l'héritage de Bourbaki, un travail de purification des mathématiques et l'intégration des méthodes numériques et probabilistes. Il ouvre la communauté aux problèmes concrets et l'élargit à d'autres acteurs : industriels, ingénieurs et physiciens. Ils s'organisent en tribu. Formé l'ENS Ulm au moment de la grande époque Bourbaki, Jacques-Louis Lions s'en nourrit, tout en s'en affranchissant : il se tourne vers les probabilités (dédaignées par Bourbaki) et s'inspire des courants qui se développent outre-Atlantique. Il développe l'art de la modélisation à partir de la simulation numérique. Les domaines d'application sont nombreux et variés (aérodynamique, météo, écoulement sanguin, ...). On recherche la présence d'instabilité ou de singularités (chocs, discontinuité, événements rares). Cette manière de travailler ne vise pas seulement le travail applicatif. Elle permet des avancées théoriques significatives, notamment en matière de modèles réalistes de phénomènes non linéaires. Le maître mot de son travail devient *interaction*. Avec lui, la technologie devient une véritable caisse de résonance entre le réel et les mathématiques fondamentales. La large tribu qu'il fédère s'élargit au monde industriel.

La science des données, l'« auberge espagnole » des mathématiques

Une troisième étape a été franchie dans le déploiement horizontal du travail mathématique et de la pluridisciplinarité avec l'émergence de la donnée massive caractéristique du numérique 4.0, technologie de la symbiose avec le réel : reconnaître des visages, transcrire des paroles au fil de l'eau, répondre à des questions ouvertes, tout cela nécessite de décrypter des phénomènes complexes et largement aléatoires, de façon dynamique. Le temps réel et la symbiose réel-machine-signe permettent de tracer numériquement des événements (son, images, textes, données médicales, mesures physiques, mouvements, données générées par des réseaux sociaux) de l'ordre de 1024 variables : les modèles cherchent à dégager des principes d'extrapolation.

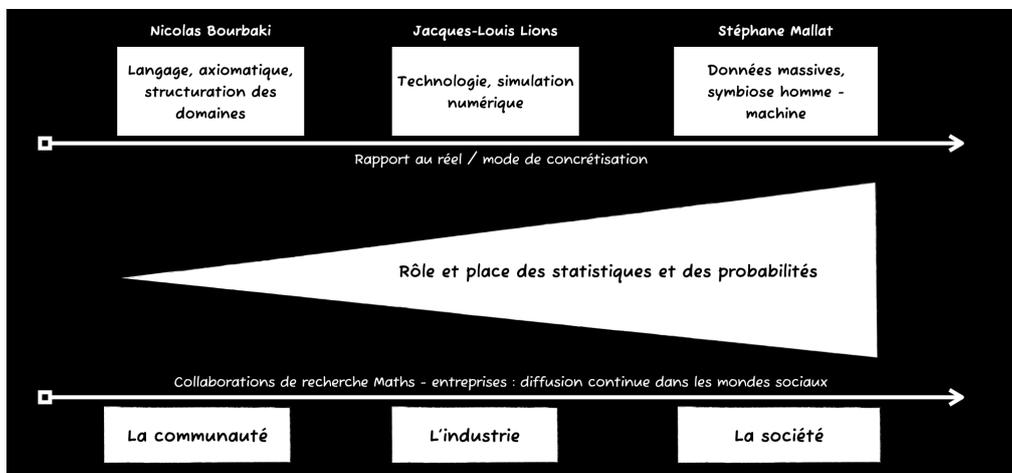
La donnée se diffuse. Elle infuse dans toute la société. La technologie numérique n'est plus circonscrite au monde industriel. Elle dépasse les frontières des corps intermédiaires. Elle devient libre comme l'air. Avec elle, les mathématiques circulent dans les interstices de notre vie et prennent une **dimension performative**. Le couplage maths-données relie entre eux des domaines très abstraits, comme la géométrie ou le traitement du signal, en y incorporant des traitements statistiques. Après avoir longtemps été cantonnée à



une position périphérique, la statistique occupe dans ce paysage une position phare. La géographie des domaines s'étend autant du côté de l'abstraction (théorie des nombres, topologie, ...) que du côté du traitement statistique de la donnée brute. On assiste à une cohabitation inédite des approches et des cultures scientifiques.

L'analyse automatique des données numériques doit faire face à la diversification et à la multiplication exponentielle de celles-ci. L'Assemblée du Collège de France a décidé en 2018 de créer une chaire entièrement consacrée aux sciences des données, domaine fondamental qui non seulement bouleverse des pans entiers de nos économies et de nos sociétés, mais ouvrent aussi de vastes perspectives scientifiques et technologiques. Stéphane Mallat vient pourtant du monde de l'analyse : il a consacré sa recherche aux mathématiques appliquées au traitement du signal, puis à l'étude des algorithmes d'apprentissage et des réseaux de neurones profonds, mais c'est lui qui est nommé titulaire de cette nouvelle chaire. L'intitulé de la chaire et le parcours de son titulaire illustrent de façon emblématique la recherche de convergence des outils mathématiques autour de la donnée.

Synthèse historique du « TRIALOGUE » entre les domaines théoriques, la communauté et les mondes sociaux



En synthèse, ces trois étapes d'interaction entre les domaines théoriques, la communauté et leur rapport à l'environnement ont progressivement contribué à la robustesse et à la diversification des outils. Parmi eux, les domaines de la statistique et des probabilités ont progressivement conquis un rôle transversal et une place centrale dans le dispositif.

Chapitre 3 – Un monde dans lequel s'exprime la créativité du marginal sécant

Nous pourrions conclure cette partie en partageant le constat exprimé par Pierre-Louis Lions lors du séminaire organisé par Pierre-Michel Menger au Collège de France en 2018 : « *Les mathématiques aujourd'hui sont tellement variées, avec des profils de mathématiciens tellement variés que **les réponses peuvent également varier d'un mathématicien à l'autre**. Comment je me situe, moi personnellement, par rapport aux mathématiques ? Je me situe dans une extraordinaire variété des mathématiques. D'ailleurs, parler des mathématiques, c'est au pluriel. Je me méfie beaucoup des singuliers, le roi, le Je préfère nettement les pluriels parce que les mathématiques, il y en a de toutes sortes. Je voudrais aussi tordre le cou à cette classification « mathématiques pures », « mathématiques appliquées ». Ça n'a absolument aucun sens. Mais il y a des motivations, **des mentalités qui peuvent varier d'un individu à l'autre**, et qui peuvent aussi **varier au cours du temps**. On peut **alterner** entre des périodes de travail classique et des périodes de travail de mathématicien appliqué. L'immense variété des mathématiques et de leurs domaines d'application exige une profonde humilité. J'insiste sur **le pluriel** et j'insiste sur cette **notion d'ouverture**, sans nier le fait qu'on a aussi besoin des mathématiciens pour développer les outils, pour développer ce champ de connaissance dans une logique purement interne. Société qui devient numérique, vie qui devient numérique de plus en plus, et donc des problèmes de maths qui apparaissent **de tous les côtés**. Parfois, **les frontières sont floues** entre les mathématiques et d'autres disciplines. Bien évidemment, la **discipline cousine** germaine, voire petite sœur, est l'informatique ou plutôt les sciences de l'informatique. Où s'arrête l'informatique, où commence l'informatique ? Personne ne peut le définir. ». « Varier d'un individu à l'autre », « varier dans le temps », « alterner », « pluriel », « ouverture », « de tous les côtés », « frontière », « flou », « cousin », « sœur », « tordre le cou à la classification », « immensité » : la sémantique parle d'elle-même de la réalité sociologique qui traverse le monde mathématique. Questions culturelles, questions épistémologiques, questions de trajectoires individuelles se trouvent imbriquées.*

Les propos de Pierre-Louis Lions font écho aux témoignages des chercheurs interviewés au cours de l'enquête. Ils résonnent également avec ceux de Barbara Cassin dans son « Éloge de la traduction » : sa méfiance dans un rapport à la vérité avec un grand V, sa préférence pour une vérité avec un v minuscule, et si possible au pluriel. S'ouvrir à la dimension de la vérité comme vérités variables qu'elle nomme en condensant les deux mots « *variété* », est une étrange expérience mathématique. Paradoxalement, le continuum des mathématiques s'ouvre sur des manières de les appréhender dans leur multiplicité. Elles évoquent un panthéon plus qu'une église. Un travail sans frontière, ou un travail à la frontière, donne de l'importance à la créativité et au collectif. Les liens de filiation et la hiérarchie des domaines sont bouleversés. En écho, les trajectoires professionnelles sont moins linéaires et plus personnalisées, rythmées par une alternance d'appariements, pour tirer le fil intrinsèque des travaux de recherche. Construites dans l'interaction, elles répondent à des dynamiques où la rencontre joue un rôle essentiel : quelle soit humaine, conceptuelle ou technologique. Un pied dans plusieurs univers à la fois, il devient ce que la sociologie nomme un « marginal-sécant ».

Le marginal sécant, un acteur à la croisée des chemins

Selon les sociologues Michel Crozier et Erhard Friedberg, le **marginal sécant** est « *un acteur qui est partie prenante dans plusieurs systèmes d'action en relation les uns avec les autres et peut, de ce fait, jouer un rôle indispensable d'intermédiaire et d'interprète entre des logiques d'actions différentes* ». En résumé : se mettre en position de répondre aux besoins élargis des entreprises n'ayant pas l'habitude de travailler avec le milieu académique à l'échelle nationale, et faire sauter les verrous culturels qui freinent le rapprochement du milieu académique

et celui des entreprises. Élargir le périmètre des collaborations et stimuler la communauté des chercheurs et les jeunes doctorants, proposer des outils adaptés. Les collaborations maths-entreprises constituent un apprentissage multidimensionnel sur le plan individuel, collectif et méthodologique. Cet apprentissage place le chercheur à l'interface, à plusieurs points d'intersection, faisant de lui un marginal sécant. L'organisation sort de la verticalité. Elle s'appuie sur des individus, dispersés, et organisés en réseau. Cet apprentissage fait appel à la créativité et à la force de la différence plus qu'aux savoirs établis et aux structures formelles.

Des initiatives ont été lancées pour structurer ces démarches spontanées et hétérodoxes. Elles sont nées du terrain et ont été portées par des figures de la communauté mathématique, confrontées à la problématique concrète du changement de philosophie et à la question du passage à l'échelle : construire un travail d'abstraction de très haut niveau à partir de problèmes concrets (mal)posés par une multitude d'acteurs, favoriser le travail collectif sans uniformiser les approches. Ces individus ont tenté, en petits collectifs, d'apporter des réponses pragmatiques, mais ambitieuses, à des enjeux d'interface, de proximité, de partage de philosophie, de transmission et d'établissement de courroies de transmission. Ces réponses se sont progressivement formalisées pour aboutir à la création d'AMIES, l'Agence pour la diffusion des Mathématiques innovantes en interaction avec les Entreprises et la Société. La sémantique, « *Diffusion* » et « *Interaction* », démontre la justesse de la qualification des besoins et la pertinence de la vision de ses fondateurs. Il s'agit de se mettre en ordre de marche !

AMIES, un laboratoire d'excellence (Labex) : une réponse aux besoins des entreprises

Créée en 2011, AMIES se propose de fédérer, de décentraliser, sans uniformiser, un réseau de collaboration entre 90 laboratoires de recherche en mathématiques répartis sur l'ensemble du territoire, en stimulant localement la communauté des mathématiciens pour soutenir le tissu économique. Les grandes entreprises ayant traditionnellement accès au monde de la recherche, AMIES promeut les collaborations entre les mathématiques académiques et les ETI, PME et start-ups, celles-ci n'ayant pas les moyens d'avoir des équipes de chercheurs à demeure ou ne partageant pas la culture scientifique. L'agence tient trois rôles clés : s'adapter au terrain, jouer un rôle d'interface, transmettre une philosophie.

La structure s'appuie sur le réseau « MSO » au niveau régional (à l'échelle des laboratoires), ce qui forme ainsi deux niveaux d'organisation des collaborations maths-entreprises. Le niveau national permet aux acteurs régionaux de se rencontrer et d'échanger sur les bonnes pratiques ou sur leurs difficultés. L'histoire a voulu que ce soit, et c'est déjà une innovation en soi dans le paysage français, **une initiative régionale**, MaiMoSiNe, spontanément lancée par quelques visionnaires, qui a ensuite inspiré ce dispositif au niveau national.

« En France, la recherche a trop tendance à vouloir vendre aux entreprises des solutions sur lesquelles elle a travaillées, non pas pour répondre aux besoins des entreprises, mais pour rentabiliser ses propres travaux. »

Extrait d'entretien

Répondre aux besoins des entreprises

MaiMoSiNe, une structure régionale, vise à promouvoir les bénéfices d'une approche spécifique par les mathématiques, sans imposer de transferts technologiques aux entreprises, mais en se penchant plutôt sur



On s'est pris une claque !



On s'est pris une claque pour dire les choses clairement ! En disant que les ordinateurs allaient remplacer notre profession, nous avons été obligés de nous remettre en question. Je pense qu'aujourd'hui que les radiologues ont un temps d'avance par rapport aux autres spécialités médicales parce qu'on s'est déjà pris la claque. C'est très bénéfique. Ça nous a obligé à nous recentrer. Notre métier va au delà, et tant mieux ! : « au fait qui suis-je ? A quoi je sers, etc.... ? ». On s'est rendu compte qu'on n'étaient pas là juste pour dire « tiens, il y a un truc, là, sur l'image ». Ça, c'est l'ordinateur qui le dira.

Qu'est-ce que ma pratique ? Qu'est-ce qui fait que je suis médecin, et non pas un technicien ? C'est quelque chose qui est difficile pour un radiologue... On a tendance à dire « je suis juste responsable de gérer l'image ». Mais en fait, non ! On est responsable de la générer à bon escient ...la bonne image pour le bon patient, au bon moment.... Pour l'interpréter, la contextualiser, etc... et il y a toute une réflexion dans les sciences cognitives sur le travail du radiologue et la notion « d'interprétation ».

Extrait d'entretien

leurs « vrais » problèmes. L'idée est de se coordonner en amont pour mutualiser les efforts du monde académique vers les entreprises, en s'appuyant sur les réseaux existants : SATT, Pôles d'excellence et de compétitivité, IRT^[6], Chambres de commerce et de l'industrie, les incubateurs, les laboratoires. Ces structures servent de filtres pour identifier et se faire connaître, auprès des entreprises ayant des besoins potentiels sur des sujets mathématiques. L'originalité est de sortir de la logique de « transfert de quelque chose d'existant vers » à une logique de « *réponse à un problème inconnu posé par une entité inconnue* ». MAIMOSINE part de la problématique de l'entreprise, puis cherche le laboratoire de mathématiques qui sera potentiellement le mieux à même de traiter le sujet.

Jouer un rôle d'interface

Une autre particularité d'AMIES, par rapport à d'autres structures similaires de type SATT^[7], outre celle de se spécialiser sur un volant mathématique, consiste à valoriser le socle académique existant, à faciliter les synergies des forces existantes. Potentiellement, tous les domaines, tous les labos, sont appelés à répondre à des besoins de collaborations. Pour reprendre les termes d'un des fondateurs, « *deux écueils sont à éviter : vouloir aller au-devant de toutes les entreprises (même si toutes, potentiellement, sont touchées par des problématiques mathématiques), et standardiser les structures territoriales* ». En matière de diffusion de la recherche mieux vaut se concentrer sur la réponse aux besoins exprimés par les entreprises avec les forces académiques déjà en présence. Ceci n'exclut pas des actions de communication plus générale pour promouvoir la visibilité de l'interface.

Transmettre une philosophie

Le GDR [Groupement De Recherche] Maths-Entreprises a été initié en 2010 pour travailler sur la dimension culturelle des collaborations et rapprocher entreprises et monde académique en partant du cœur du travail mathématique. Il s'agissait de donner envie « aux collègues » du monde académique du collaborer avec les entreprises en transmettant l'expérience d'un savoir-faire de haut niveau construit à partir des problématiques concrètes rencontrées par les entreprises. « *Une large plage de progression demeure dans la prise en compte par le monde académique de domaines applicatifs émergents, comme – réciproquement – des développements conceptuels profonds peuvent provenir de besoins très largement partagés par les entreprises, y compris les plus petites, en termes de méthodologie générale* ». ^[8]

Le GDR visait à élargir les collaborations qui existaient déjà (impliquant la plupart des grands groupes industriels et des équipes de mathématiciens) aux domaines applicatifs émergents et à **encourager des développements conceptuels profonds provenant de besoins largement partagés par les entreprises** ou par l'émergence de technologies nouvelles. Il avait vocation à identifier l'ensemble des acteurs académiques effectivement, ou potentiellement, impliqués dans les interactions avec les entreprises, au sein de la communauté mathématique et à les associer aux projets susceptibles d'exercer une influence sur la nature de leur activité. Une fois les acteurs identifiés, le GDR les encourageait à mutualiser leurs expériences, à mettre en exergue les plus fécondes et à réfléchir à leur transposition au niveau national. Ces rencontres ont conduit à la mise en œuvre des « Semaines Maths-Entreprises », transposition d'une pratique provenant d'Angleterre, sur le principe suivant : des entreprises apportent des questions ouvertes, présentées en une demi-journée, suivie de 4 jours de réflexion impliquant des chercheurs, des doctorants, des étudiants non aguerris aux collaborations avec les entreprises. La semaine se termine sur un bilan pouvant conduire à des collaborations plus pérennes.

AMIES et le réseau MSO sont une déclinaison opérationnelle, au niveau national, des inspirations croisées prenant leurs sources dans la philosophie et les expériences de ces deux initiatives pionnières. Ces dispositifs s'emploient à faciliter l'engagement dans un cadre protégé en encourageant l'autonomie et le travail en équipe. Les initiatives sont portées par la « bonne volonté » de quelques individus, un engagement personnel parfois relayé par les pouvoirs publics, deux niveaux d'impulsion qui tentent d'embarquer l'institution académique sur de nouvelles voies. Aucun surplomb donc, mais la mise en œuvre d'une réflexion subtile qui mêle axes de travail mathématique et réponses concrètes aux défis économiques dans une forme d'organisation souple à la fois nationale, territoriale et collaborative.

Être pris dans une dynamique d'horizontalité

Le numérique insuffle une dynamique d'horizontalité au travail mathématique. Au sein de la discipline, la numérisation matérialise un continuum entre les domaines théoriques qui renouvelle la possibilité de leur mise en dialogue. **Elle « écrase » la pyramide hiérarchique des domaines théoriques anoblissant les statistiques et les probabilités comme des domaines transversaux, désormais incontournables.** L'usage et le traitement de la donnée renverse également le rapport « god driven » que la théorie, et l'abstraction, entretient en général avec le réel, ouvrant des questions sur la place de la machine dans le mode d'appréhension du réel. Les collaborations avec les entreprises et la société permettent aux chercheurs d'accéder à cet environnement méthodologique, posant des questions fondamentales et épistémologiques, voire philosophiques. Elle élargit considérablement le champ de la pratique, non seulement sur le plan applicatif pour l'entreprise, mais aussi – et surtout du point de vue un académique – sur le plan théorique.

C'est pourquoi, pourrait-on dire, que la pratique des mathématiques aujourd'hui **passse de l'histoire à la géographie**. On se garde des lectures uniquement verticales de la discipline et des trajectoires linéaires des parcours de recherche. **Non bien sûr que l'espace soit plat. Refuser la verticalité n'est pas nécessairement marcher en plaine.** Il faut pouvoir garder la profondeur de chaque domaine de la discipline. C'est de façon différente, savoir se tenir à hauteur d'étendue. Cette posture n'est jamais qu'**une autre forme de mise en relief** : « la géographie n'est autre chose que l'histoire dans l'espace, de même que l'histoire est la géographie dans le temps. »^[1] Le travail « à la frontière » et la capacité de mise en interaction deviennent les sources de la créativité.

Cette horizontalité marque aussi la défaite des surplombs. Le savoir ne se diffuse pas du monde académique vers l'environnement. Le chercheur qui collabore avec les entreprises le construit dans la rencontre. Il s'élabore : le chercheur extrait un savoir autant qu'il n'abstrait des concepts à partir de la donnée. Composé d'opportunités, d'initiatives individuelles à prendre, d'apprentissages collectifs à construire, d'expérimentations de terrain et de symbiose avec l'environnement (y compris technologique) à trouver, ce savoir se construit de façon circulaire. **Il passe désormais davantage par des canaux sinon concurrents, du moins transversaux aux organisations institutionnalisées existantes, dans des formes d'horizontalité qui s'opposent « aux silos » des organisations. Cela modifie la relation entre les individus, les groupes mobilisés et les acteurs institués qui entendent porter une parole collective. Loin d'être une fatalité entropique, l'absence de maître souverain apparaît au contraire comme la condition de possibles nouvelles organisations.**

Aristote compare le navire à la Cité. Comme **le navire, la Cité des mathématiques** appliquées au numérique est une, mais elle est gouvernée par **un équipage diversifié**, dont chaque membre exerce une fonction propre. Le marin est membre d'une communauté. Si les marins excellent dans leurs fonctions particulières, ils poursuivent tous une même fin. Chacun joue néanmoins un rôle limité. Certains sont aux machines, d'autres à l'entretien, d'autres encore à la cuisine. Chacun, en fonction de son talent, rend à la communauté des services différents.

[1] Extrait d'entretien

[2] Laurent Schwartz, un mathématicien aux prises avec le siècle, page 142

[3] « Variables explicatives »

[4] L'enquête de Dominique Cardon exploite trois entretiens anonymisés réalisés avec des chercheurs français en informatique qui ont participé à la renaissance des réseaux de neurones.

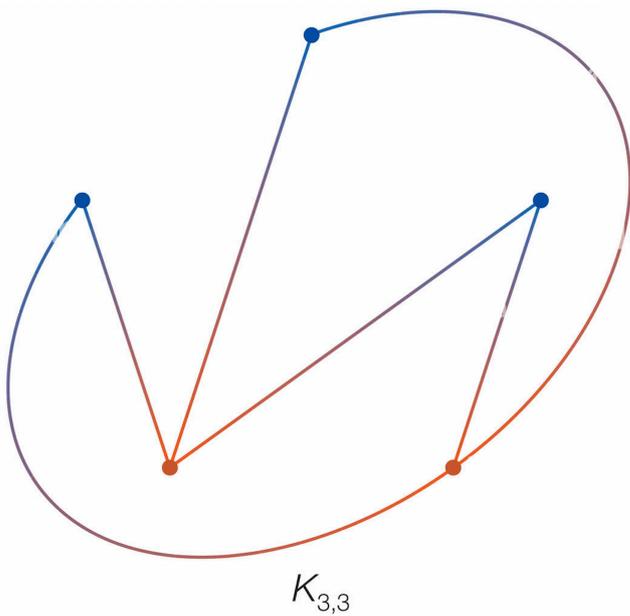
[5] Jacques Derrida, L'Écriture et la différence, op. cit., p.261-262

[6] Instituts de recherche technologique labélisés par l'État dans le cadre des investissements d'avenir

[7] Sociétés d'Accélération du Transfert de Technologies organisées en réseau en France

[8] Présentation du GDR Math rédigée par Bertrand Maury

[9] Au vouloir ! Anarchisme et philosophie, Catherine Malabou, page 45, Hors Collection.



« Et pour parler d'un point en lien avec AMIES, nous avons monté... enfin... on nous a demandé de monter en 2011 un GDR, un Groupement de Recherche, monté et financé par le CNRS, **un groupement transversal, une structure avec très peu de moyens matériels mais beaucoup de bonne volonté !** »

Extrait d'entretien

« Initialement pour héberger AMIES, ce n'est pas Grenoble qui était en vue, c'était Orsay. Évidemment, on demandait à un laboratoire parisien de prendre la responsabilité d'un projet de ce type, comme d'habitude !

Mais Orsay a décliné la proposition. Grenoble s'est alors porté tout de suite volontaire : on avait le projet MAIMOSINE. Ça nous permettait de monter une structure qui devenait la tête de pont entre la communauté mathématique et les entreprises, pour tous les laboratoires. »

Extrait d'entretien

Des bifurcations de trajectoires induites par la donnée

Extrait d'entretien

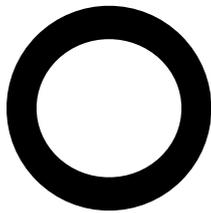
« Quand je suis entré l'ENS (1960s), j'étais passionné par des mathématiques très abstraites. J'ignorais même que les mathématiques appliquées pouvaient exister. C'était le cas des jeunes gens qui aimaient les sciences à l'époque. Après ces trois années à l'ENS, je me suis orienté vers des sujets abstraits, en particulier celui de la géométrie algébrique, un domaine dans lequel il n'y a que très peu d'applications. Elles n'ont émergé que plus tard. [redacted]

Entre temps, j'ai bénéficié d'une bourse pour aller étudier aux **États-Unis**, à Harvard. J'ai commencé à suivre des cours un peu au hasard. Et j'ai découvert les cours absolument passionnants de Leontief, prix Nobel d'Économie, qui a notamment travaillé sur des modèles d'économies des pays sous-développés. Il travaillait sur des modèles macro-économiques qui simplifient et divisent l'économie en grands secteurs pour comprendre les relations entre production et matières premières des différents secteurs permettant de construire ce qu'on appelle les matrices de Leontief **à partir des données**. [redacted]

Ce qui était surprenant pour moi était de voir des choses qui partaient de la donnée parce qu'en mathématique, il n'y a pas de donnée, en général. C'était un homme brillant. J'ai beaucoup apprécié ces cours. Les mathématiques m'ont paru assez simples, mais elles étaient utilisées de manière absolument brillante ! Et ça m'a poussé dans des directions différentes : j'ai suivi des cours de probabilités qui m'ont passionné. J'ai toujours été passionné par les événements imprévisibles. Je trouvais étonnant qu'on puisse faire des mathématiques sur des domaines comme ceux-là. Je me suis rendu compte qu'il y avait **quelque chose d'assez magique dans l'utilisation des probabilités appliquées** : on arrivait à donner des **résultats très tangibles alors qu'on observe des phénomènes aléatoires**, en particulier ce qu'on appelle le théorème limite central qui indique pourquoi beaucoup d'observations aléatoires peuvent être représentées par la courbe de Gauss. Cette chose m'a séduit. Mais c'est par la voie de la théorie que j'ai commencé à comprendre comment on appliquait ces choses à des données. C'était encore assez pur. [redacted]

J'ai travaillé là-dessus pendant 10 ans. Puis, je me suis intéressé aux phénomènes très rares. J'ai beaucoup travaillé dans ce domaine. Les années 80 ont été celles de profonds changements dans mon travail. En 82-83, j'ai lu un article portant sur certaines applications des probabilités dans le domaine de l'analyse automatique d'images. Alors là... pour moi... **ce moment a été absolument fondateur**. Ce sujet est lié à celui de la vision artificielle. Je n'y connaissais rien et j'ai été **absolument passionné** ! Ça a brusquement changé ma manière d'envisager les mathématiques. [redacted]

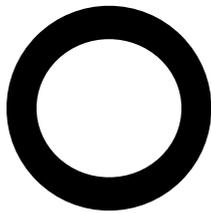
Mais il **faut un certain temps pour modifier son comportement de mathématicien** car si vous avez passé **du temps à acquérir un savoir-faire en profondeur** dans un domaine, l'abandonner prend également du temps.» [redacted]





« Les collaborations te font quitter ton milieu et voyager dans d'autres environnements. Ça réveille les neurones. Les biologistes disent qu'une plante, si tu la déterres et que tu la plantes dans une nouvelle terre, elle deviendra peut-être une nouvelle plante. C'est merveilleux ! Plutôt que se dire, je suis universitaire et ne connaîtrai que le monde universitaire, j'ai la chance de pouvoir voyager d'un univers à l'autre et de pouvoir apprendre de chacun d'eux ».

Extrait d'entretien



TROISIÈME PARTIE :

Au-delà des frontières, le nomadisme des mathéma- ticiens



« L'ambiance, dans Bourbaki, était une ambiance de respect pour la personne, une ambiance de liberté – c'est ainsi que je l'ai ressenti – et elle était de nature à décourager et à atténuer tout penchant vers des attitudes de domination ou de fatuité, qu'elles soient individuelles ou collectives. »

Alexandre Grothendieck, *Récoltes et semailles*, page 163

Les équipes multidisciplinaires de recherche sont un modèle de plus en plus plébiscité par le monde économique et par les chercheurs eux-mêmes. Plus les chercheurs prennent l'habitude d'interagir entre spécialistes de disciplines différentes, plus ils apparaissent capables de communiquer efficacement avec le monde de l'entreprise. Cette thèse est notamment développée par N. Nayaradou et V. Simart dans leur ouvrage « *La collaboration université / entreprise : le cas du management de la recherche aux Etats-Unis* ». ^[1] Nos entretiens font largement état de cette expérience.

« En développant la collaboration entre chercheurs de disciplines différentes, on les incite à trouver un langage commun, un terrain d'entente, des éléments de consensus pour que les recherches de l'un ou de l'autre soient comprises par l'autre. Chacun est invité à communiquer pour se faire comprendre de l'autre pour que les projets communs puissent aboutir. Cette façon de décloisonner les disciplines et de faire parler et collaborer entre eux des chercheurs qui, la plupart du temps, s'ignorent est le meilleur moyen de sortir de l'isolement stériles des équipes entières de recherche en les confrontant à « l'autre » que constituent les chercheurs des autres disciplines avec lesquelles ils doivent travailler pour rendre la recherche plus innovante. »

Dans ce contexte, pour les chercheurs comme pour les industriels, le réseau devient un atout stratégique essentiel. On se fédère autour d'un sujet. En termes d'appariement, l'organisation passe au second plan. La coopération prend une forme multidimensionnelle, largement informelle. L'action collective résulte d'une combinatoire de mécanismes de coordination qui privilégie le travail mathématique réel, à cheval entre les organisations instituées que ces dernières saucissonnent. ^[2]

La dimension performative du travail mathématique dans un contexte numérique rend l'accès au « vrai » monde incontournable. Faire les choses « pour de vrai » à partir de données produites par des entreprises représente une porte d'accès au travail scientifique. **Les données se révèlent être la source du travail mathématique autant que sa possible finalité applicative. On interagit dans l'environnement pour accéder à cette source.** Simultanément, le traitement mathématique de la donnée exige d'actualiser ses connaissances fondamentales. Maintenir le lien avec le monde académique reste fondamental. S'alimenter à ces deux sources, la donnée réelle et la connaissance théorique de pointe, conduit à cheminer entre les deux mondes : celui de l'entreprise et celui du monde académique. **Quittant une source pour s'abreuver à l'autre, les mathématiciens ont des parcours professionnels de nomades.**

Les trajectoires professionnelles deviennent des processus moins linéaires, plus ouverts et plus interactifs. Elles n'obéissent plus uniquement aux logiques institutionnelles. Elles répondent à la dynamique intrinsèque du travail mathématique pris dans les ressorts du monde numérique. Elles résultent d'un **tissage de liens** disciplinaires et d'**expériences** de terrain où l'action relève **de la « trans »-« action »**. La concrétisation repose sur des capacités à créer des passerelles et à se désencastrer des structures bureaucratiques. L'organisation du travail de collaborations Maths – Entreprises combine un mode de coopération qui **s'inscrit à la fois dans une perspective verticale intra-organisationnelle, avec une lecture fonctionnelle hiérarchique et pyramidale, et dans une perspective de coordination ubiquitaire facilitant la transitivité de la coopération.**

A ce changement qualitatif s'ajoute un changement quantitatif. Les besoins investissent tous les secteurs. Les petites entreprises sont autant concernées que les grands groupes. Dans chaque secteur se constitue **un archipel d'acteurs socioéconomiques** autour de la question des mathématiques. Le contexte de l'économie conduit les chercheurs à **se disperser** dans le paysage socio-économique. Or, malgré un léger recul de sa position dans le monde depuis 2000, la recherche française conserve son rang de deuxième pays mathématique au monde. ^[3] Son excellence reste très convoitée, y compris par les entreprises américaines et, parmi elles, les plus friandes en mathématiciens de très haut-niveau que sont les GAFAMs. Mais le nombre de mathématiciens impliqués dans les collaborations recherche reste stable. Mécaniquement, la pression qui repose sur chacun d'entre eux augmente.

Dispersion des acteurs, large pénétration des mathématiques de haut-niveau, enjeux de pluridisciplinarité et de travail collaboratif du point de vue du travail réel, tradition jacobine, verticalité et cloisonnements du point de vue institutionnel ne facilitent pas l'intégration des mondes académique et de l'entreprises en France. Dans notre pays, c'est l'esprit de la communauté qui supplée

au cloisonnement et à la verticalité des institutions. Très vivante, mais informelle, elle occupe une fonction stratégique essentielle dans les collaborations recherche. Pour reprendre les propos de Gilles Stoltz, « elle est l'arme secrète des mathématiciens pour offrir des collaborations utiles et de qualité, sans y perdre leur âme ». ^[4]

Chapitre 1 – Intervenir dans un paysage social et disciplinaire diversifié

Dans le cas des relations maths et entreprises, l'activité créatrice s'établit en grande partie dans un système de relations interpersonnelles. La capacité d'interaction est la pierre angulaire des collaborations. Le contexte du numérique a profondément renouvelé les modalités d'interaction et la place qu'y jouent à la fois les individus et la technologie.

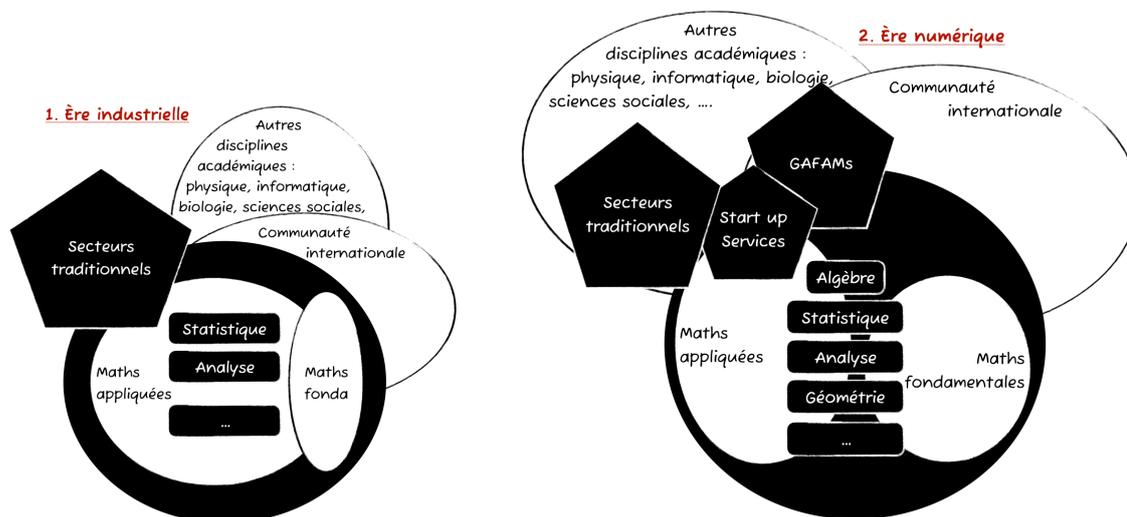
De la concentration à la dispersion des acteurs

Depuis les années 60-70, sous l'influence de Jacques-Louis Lions, les collaborations Maths-Entreprises sont montées en puissance. « Elles impliquent pour la plupart de grands groupes industriels et des équipes de mathématiciens appliqués, au sein des universités et d'EPST [d'organismes de recherche] comme l'INRIA^[1] ou le LCPC^[2], construites sur une histoire déjà longue d'interactions et de développements mathématiques ou numériques spécifiques. »^[3] A cette époque, les équipes sont petites. Elles se regroupent dans des laboratoires spécialisés. Elles se concentrent essentiellement autour de grands groupes industriels positionnés sur des secteurs stratégiques et des technologies de pointe comme l'aéronautique, l'aérospatiale, la défense, l'énergie...^[4] Les notions de systèmes et interactions caractérisent déjà des problèmes complexes, vus sous un angle multi-mathématiques, notamment à travers des couplages analyse numérique et probabilités. Les partenaires industriels et académiques partagent une proximité d'identité : culture scientifique et sensibilité aux intérêts régaliens et de biens communs. Les acteurs se côtoient régulièrement et travaillent ensemble sur la durée. Ils évoluent dans des institutions : des organisations structurées, stables, relativement fermées. Les contrats de collaborations étaient encadrés entre structures formelles claires. Organisations et institutions dialoguaient en vis-à-vis, de corps à corps. Les laboratoires de mathématiques appliquées ou les organismes comme l'IRIA (ancien nom d'Inria), dédiés aux collaborations, du côté académique, avaient comme interlocuteurs les directions de R&D de quelques grandes entreprises ou administrations.

L'ère numérique dans laquelle la société tout entière est entrée a ouvert subitement des horizons complémentaires à ce mode de collaboration traditionnel et solide. Des entreprises désormais très diverses, y compris petites ou de taille intermédiaire, disposent de gisements de données qui rendent les frontières praticables entre la réalité industrielle et l'abstraction mathématique. Les acteurs se sont dispersés tant du point de vue sectoriel que du point de vue culturel. Les mathématiciens se sont aventurés sur des terres nouvelles. Ils se confrontent à des mondes sociaux moins familiers. De l'agriculture à la vente en ligne, en passant par les biotechs, la mobilité douce, les services à la personne, la cybersécurité, les jeux vidéo, l'imagerie médicale, l'optimisation des semi-conducteurs, le marketing, les sciences cognitives, les fédérations de sport, l'aérospatial et les GAFAM, tous les secteurs partagent le même besoin d'extraire l'intelligence latente contenue dans la donnée numérique. Le paysage des collaborations maths-entreprises, tant du côté des entreprises que du côté académique, s'atomise.

Une autre logique des collaborations s'est mise en place, comme réponse à un problème inconnu posé par une entité inconnue. La question de son organisation se complexifie. Il déborde le cadre traditionnel du dialogue entre corps intermédiaires. Les collaborations deviennent plus volatiles, plus ponctuelles. Cela nécessite d'entretenir de façon continue un réseau moins structuré et plus large. On assiste à un double mouvement de standardisation et 'créolisation' des mondes touchés par les mathématiques : les mondes de l'entreprise, les identités culturelles, les enjeux politiques, les modes de représentations, via le numé-

rique, transportent des visions du monde qui s’entrechoquent. Les cultures s’interpénètrent, s’entrelacent, nécessitant – et permettant - un déplacement de l’imaginaire. Le mathématicien voyage à travers ces archipels où la dispersion permet le rassemblement. Il transporte les mathématiques dans ses bagages.



Types de collaborations : comparaison entre l'ère industrielle et l'ère numérique

Ere	Secteurs	Types d'entreprise & organisations	Cultures	Sujets	Domaines	Travail collaboratif	Qualités requises
1. Industrielle	Industrie (aéronautique, armement, spatiale, énergie, transport...) Economie et finance	Grandes entreprises Services publics	Industrie Intérêts régionaux Scientifique	Modélisation Simulation numérique	Analyse EDP Physique théorique	Porté par des laboratoires dédiés Collabs au long cours Institutionnel et stable Dédié Maths applis	Persévérance Expertise Travail d'équipe
2. Numérique	Tous	Toutes (ETI, start up, entreprises de services BtoC, agriculture, environnement, transport...) Service publics GAFAMs	Numérique Grande consommation Start up Enjeux sociaux Sciences sociale	Modélisation Simulation numérique Traitement du big data Prédiction Reconnaissances Crypto / sécurité	Tous Physique statistique Probabilités Théorie des nombres, Théorie des ensembles, Géométrie Statistique,	Porté par les individus, Travail en réseau sur des projets ad hoc Dispersion, volatilité, variété	Communication Traduction Productivité Capacité d'engagement Autonomie Créativité Transversalité

Cette nouvelle logique pousse encore d’avantage le mathématicien en dehors de sa zone d’évolution naturelle, qui se situait souvent en surplomb. En ce sens, cette logique consiste en une approche « bottom up » s’opposant à des vœux pieux « top-down » de transfert technologique.

La genèse d’AMIES et du réseau MSO illustre la volonté, insufflée tant par les instances de pilotage (Ministère, CNRS, INRIA) que par la communauté mathématique elle-même, de transmettre et de mettre en œuvre efficacement cette philosophie de réponses à des besoins industriels. Il s’agit, en complément des collaborations maths-entreprises « accidentelles », suscitées par le hasard des rencontres personnelles, de pouvoir structurer la capacité de la communauté mathématique à démontrer et à mettre en œuvre ce qu’il est convenu d’appeler la « déraisonnable efficacité des mathématiques ». Très sollicités, le nombre des mathématiciens engagés dans ce travail reste pourtant stable, voire en léger recul. Les statistiques produites par AMIES sur la période de 2010 à 2014 montrent que 11% seulement des mathématiciens^[9] travaillent dans le secteur privé, avec, parmi eux, une prévalence pour ceux qui ont un double diplôme d’ingénieur. Du côté académique, sur 3500 mathématiciens répertoriés, environ 15% des chercheurs collaborent avec les entreprises. Une proportion qui reste stable sur un effectif total en baisse (-12% entre 2010 et 2020). La pression qui pèse sur chacun des mathématiciens engagés dans les collaborations recherche augmente.

C’est là qu’intervient l’arme secrète des mathématiciens : la communauté !

‘Sociologie fractale’^[10], réputations individuelles, et travail collaboratif

Dans ce contexte, le réseau confère un atout stratégique essentiel, telle une flotte mobile de partenaires-coéquipiers-relais possibles lorsqu’un sujet le requiert. La diversité des acteurs, des problèmes, et des approches méthodologiques invitent le chercheur à entreprendre selon une orientation auto-construite ou co-construite : domaines, problématiques, types d’entreprise, collègues, partenaires. Il ne s’agit plus seulement d’avoir une expertise, de la persévérance, des collègues et le goût des choses appliquées. Le chercheur doit proposer un axe, initier des canaux de collaborations, fédérer, flairer les bonnes liaisons théorie-problématiques-enjeux-réseaux en s’affirmant dans une mise en musique personnelle. Les mécanismes de coordination s’horizontalisent.

Chaque contact représente un lien-ressource. Les « Meet up »^[11] ou les conférences sont les lieux-ressources : les chercheurs viennent présenter leurs travaux, même ceux qui sont sensibles, pour trouver un écho auprès des « collègues » travaillant sur des sujets connexes. C’est souvent auprès d’eux, plus qu’au sein du laboratoire ou de l’entreprise, que l’idée trouvera un écho et une chance de la faire rebondir. **Tel mathématicien travaillant pour un grand industriel français constate que le fait de présenter ses travaux aux États-Unis se révèle être le plus court chemin pour promouvoir, en interne, ses propositions peu considérées par sa direction : les collègues académiques américains s’en saisissent, ils diffusent le concept. Le leader mondial et principal concurrent industriel de son employeur français, les adopte, les applique, les industrialise. C’est seulement à ce stade que l’industriel français s’empare de l’outil, conçu pourtant en son sein, sans même faire le lien entre les travaux de son chercheur et l’innovation du leader américain. En bon scientifique, notre chercheur, incrédule, réitère l’expérience plusieurs fois pour valider les hypothèses de sa stratégie. Et, tristement, ça marche !**

La substance relationnelle de l’action individuelle se définit par la perspective qu’adopte chaque acteur sur le comportement d’autrui. Les acteurs peuvent être définis comme une somme de situations potentielles de collaboration, dont la réalisation dépend d’évènements qui surviennent en fonction des initiatives prises par les uns ou les autres. Les collaborations s’inscrivent dans une perspective processuelle et relationnelle très ouverte. Dans nos économies de la connaissance, l’échange avec autrui est une ressource indispensable, un foyer d’alliances et de réciprocité, avant d’être un champ de compétition. **C’est une « sociologie fractale »**^[12] dans laquelle la valeur de **certains contributeurs agit multiplicativement sur le résultat de l’ensemble. Elle se nourrit de la densité des échanges au sein de la communauté.** C’est ici qu’apparaît un socle de réciprocité indispensable à l’accroissement de l’inventivité : c’est la sollicitation permanente des liens de collaboration, de ‘mentorat’, de parrainage, de don et de contre-don. En science, chaque chercheur est une matrice de liens internes et externes à son organisation, chaque équipe entre dans des relations de collaborations d’intensité et de récurrence variable avec un réseau de partenaires. Les interactions, les échanges et les collaborations sont de subtils mélanges de coopération, de concurrence et de transmission. La réciprocité s’inscrit dans ce réseau d’équilibres. Ces relations d’échange et de collaboration se structurent par un mécanisme d’appariement ou d’attachement préférentiel : **les individus ou les groupes se cooptent** sur la base de ce que leurs qualités identifiables laissent espérer de bon pour la collaboration. Mais les relations interpersonnelles jouent le rôle en sus. Ces chercheurs ont le choix. Ils ont le luxe de pouvoir privilégier des affinités électives – gages de relations durables et d’explorations moins attendues.

Ce mécanisme agit comme **un amplificateur des chances d’accumuler des compétences et des savoirs nouveaux**, quand les collaborations sont réussies. C’est une écologie sociale du travail. Comme il peut aussi être optimal pour un individu de s’engager dans un projet avec des partenaires moins expérimentés ou moins spécialisés que lui, non seulement parce que le projet paraît plus novateur, plus risqué, plus formateur que les collaborations prévisibles, mais aussi parce que la diversité de l’équipe apportera plus que son homogénéité. Sans cette dynamique, on ne comprendrait pas comment les carrières sont couplées à l’innovation, ni comment la diversité peut s’introduire dans un système stratifié. L’écologie de l’inventivité n’est pas celle de la concentration oligopolistique. Mais sans l’analyse des structurations à valeur multiplicative, on ne comprendrait pas les mécanismes de cooptation. **Les collaborations maths-**

entreprise s'organisent de manière capillaire, au sein de la discipline et en dehors du milieu académique.

Chapitre 2 – La communauté, un vecteur d'unité et un tremplin pour la dispersion

Dans le cadre des collaborations avec les entreprises, et dans le contexte du numérique, cette **logique de sociologie fractale** est encore **démultipliée** par la variété des acteurs socio-économiques. Elle est **complexifiée** par les interdépendances (domaines théoriques, domaines d'application, secteurs d'activité) et densifiée pour le nombre d'acteurs restreints sur qui repose la disproportion entre les besoins socio-économiques et la rareté des 'engagés' du monde académique. Cet environnement devient le royaume du mouton à cinq pattes. Nous verrons les **trois mécanismes qui fondent l'organisation capillaire** des collaborations de recherche et permettent de répondre à ces deux objectifs apparemment contradictoires de dispersion et d'unité : l'ethos de « **l'Autrui généralisé** » inspiré par le groupe Bourbaki, la philosophie du « **Soi multiple** » promue par la culture américaine et l'usage du soft power sous-jacent à **l'open innovation** promue par les géants du numérique, les GAFAMs.

Les mathématiciens évoquent fréquemment la « **Communauté** ». Elle est une spécificité du monde mathématique. En France, son ethos a été sublimé par le groupe Bourbaki qui a posé, de manière collective, les fondements unifiés des mathématiques modernes. **Elle est un monde social à part entière qui, eu égard au rôle pris par la discipline dans la société, peut avancer sur les terres des autres mondes sociaux traversés par le numérique, sans s'y perdre.** Elle soutient cette recherche d'ubiquité des connaissances et des outils propres au monde numérique, dans lequel le pouvoir et la valeur se redistribuent en écosystèmes. **Ce mode de structuration des organisations déplace le centre de gravité des sociétés vers les individus et vers les acteurs stratégiques** et fait écho à la généalogie de l'internet conçu par l'ARPA comme un réseau décentralisé : « *un réseau centralisé est intelligent au centre et idiot à la périphérie* »^[13]. Le projet d'internet vise à créer un réseau intelligent à la périphérie dans lequel chaque nœud a la possibilité d'être créatif et innovant. L'organisation de la communauté mathématique correspond à cette idée. Elle s'appuie sur les mécanismes de coopération spontanée, plus que sur les modes d'organisation. Le réseau internet a favorisé l'intelligence collective parce qu'il est, lui-même, le fruit de cette intelligence. Internet obéit à cette **manière incrémentale de faire avancer la connaissance** à travers les contributions de la communauté parce que sa genèse s'inspirait largement des processus de travail utilisés dans les sciences exactes^[14]. Pas étonnant, dans ce contexte, que les mêmes ressorts soutiennent les collaborations entre mathématique et entreprises aujourd'hui.

La Communauté, un monde social à part entière

On entre dans la communauté en tant que doctorant, on signe son appartenance à celle-ci en devenant docteur quel que soit l'environnement social dans lequel on évoluera ensuite. Il s'agit d'un groupe informel, mais vivant et très actif. Cette communauté rassemble en son sein des sensibilités culturelles qui se déclinent par grandes nations mathématiques (Etats-Unis, Russie, Chine, Italie, France, ...) et par sous domaines théoriques (géométrie, statistique, analyse, ...). **Forte de ces sensibilités**, elle se reconnaît comme **un Autrui généralisé** : que le mathématicien choisisse une carrière dans l'industrie, dans le milieu académique, ou dans l'administration, qu'il s'établisse en France ou à l'étranger, quel que soit son domaine de recherche et la forme qu'il choisit de donner à sa trajectoire – y compris à des postes de management – le mathématicien entre, et reste, dans la communauté :

- Elle dépasse les frontières conceptuelles, organisationnelles, nationales.
- Elle tolère et respecte les clivages et les sensibilités qui la traversent.
- Elle favorise le travail collectif tout en s'attachant à l'autonomie de ses membres.

- Elle s'inscrit dans un héritage, mais encourage son renouvellement et garantit la place des plus jeunes.

S'appuyant sur sa communauté, le mathématicien peut devenir **un nomade** des mondes sociaux. Quel que soit son appariement social, il appartient à **la tribu** des mathématiciens. **Dans le contexte actuel, l'existence de cette communauté permet à ses membres de se disperser tout en restant attachés à elle puisqu'ils l'incarnent.** De ce fait, la communauté structure le groupe de manière souple et efficace. Elle est **vectrice d'unité et de diffusion**, au-delà des frontières institutionnelles. Plus que les institutions, elle constitue le socle sur lequel les chercheurs s'appuient concrètement pour organiser collectivement le travail mathématique dans un monde numérique décentralisé. Dépassant les structures formelles et les identités culturelles, son esprit fédère les acteurs, favorise la circulation des idées, tout en maintenant l'exigence de rigueur de la discipline. **Comme des étrangers**, les chercheurs qui collaborent avec le monde industriel font l'expérience de **la prise de distance** avec leur groupe social d'origine. Ils construisent leur **identité fondée sur le passage**, la marge, la distance. Ils développent une posture qui consiste à **regarder** plus qu'à voir, à **s'interroger sur les pratiques pour les comprendre**. Ils fournissent un **effort constant d'interprétation**. Ils centrent leur activité sur l'efficacité intrinsèque du travail.

« Le non-localisme » et un anarchisme d'éveil

Nous reprenons l'hypothèse développée par l'équipe de Pierre-Michel Menger « *qu'une telle norme exprime une conception universaliste de la pratique scientifique qui dispose d'un langage aussi puissamment abstrait qu'universel* » ^[15]. Les bannissements du localisme et de la culture du mandarinate dans les recrutements garantissent le renouvellement des idées et des individus. En effet, le rejet de l'endorecrutement dans les laboratoires et la règle de publication par ordre alphabétique des auteurs sont devenus des normes régulatrices qui permettent la mobilité géographique, institutionnelle et générationnelle de ses membres. L'analyse montre même que les mathématiques sont plus cosmopolites que les disciplines d'enseignement des langues et que, parmi toutes les disciplines scientifiques, seule la physique théorique est plus internationalisée, au niveau professoral. En 2014, un maître de conférences sur quatre et un professeur sur trois sont de nationalités étrangères au sein de la section des mathématiques pures. L'analyse avance différentes hypothèses pour interpréter ces données : une plus grande universalité de la langue mathématique ; une communauté de mathématiciens mondialisée depuis longtemps ; des mobilités plus fréquentes que d'autres disciplines, rendues possibles par le haut degré de consensus scientifique au sein de la communauté et par la très faible intensité capitalistique de la recherche mathématique ; une attractivité internationale plus forte des mathématiques pratiquées en France, du fait de leur réputation. ^[16]

Cette communauté vise à maintenir la cohérence des mathématiques tout en autorisant l'épanouissement des individus et leur renouvellement. Elle permet de se reconnaître au-delà des particularismes, qui ne sont pas interdits mais éprouvés. A l'hypothèse de non-localisme, nous proposons d'en ajouter une supplémentaire, celle de l'influence d'une tradition de **sensibilité anarchiste** qui se transmet parmi ses membres :

- Refus de toute contrainte découlant des institutions pour développer **une société où les individus coopèrent librement dans une dynamique d'autogestion** ;
- **Proposition d'une société basée sur la solidarité et la complémentarité.**

Il s'agit d'un monde politique qui cherche non pas à réduire les différences opposant les membres constituants de la société mais à associer des forces autonomes et contradictoires. Ce monde social se caractérise à la fois comme une communauté soudée, dans laquelle peuvent exister des figures et des idées de « **Soi multiple** ». **Cette conception ouvre sur des solidarités dans des environnements qui débordent les limites de leurs ancrages de base.** Elle permet de comprendre, maîtriser, s'orienter et agir dans des situations sociales aux perspectives non alignées. Avec le numérique, on vit dans la communauté mathématique un moment de transition profonde où les lignes se brouillent : certaines normes apparaissent comme contradictoires avec celles issues de la tradition, les parcours sont moins balisés. Mais les

individus savent coopérer librement dans une dynamique d'autogestion et de déplacement qui les aident à absorber les défis de la pluridisciplinarité et de la diffusion des mathématiques sur des terres socio-économiques nouvelles.

‘Comme un seul homme’, l’héritage Bourbaki

En la matière, l’héritage du groupe Bourbaki a su sublimer cette philosophie. Il a su articuler universalisme et anarchisme d’éveil. Rappelons que l’aventure Bourbaki naît d’une entreprise collective spontanée rassemblant des amis, en dehors de toute commande institutionnelle. La personnalisation du groupe, dont les membres restent anonymes, transcende l’aspect collectif de l’aventure. Le fonctionnement du groupe privilégie à la fois :

- La contribution collective, le renouvellement des membres et leur jeunesse pour garantir la modernité du projet ;
- Et la cohérence du travail intellectuel à travers la dé-propriétisation systématique et renouvelée du travail de rédaction des travaux pour assurer l’essentialisation de la version finale.

La dynamique collective se fait, se défait, se refait autour du travail d’abstraction : « *Aimer dieu est la seule façon de ne pas avoir de maître* » disait Paul Claudel. Bourbaki était dépourvu de hiérarchie, mais le groupe était constitué de fortes têtes. Cette méthode de travail démontre une volonté, même pour des grandes figures des mathématiques, à poursuivre une œuvre collective qui présente un caractère d’unité. L’anonymat du groupe est remplacé aujourd’hui par la stricte attention à citer explicitement et systématiquement les auteurs d’un concept et à tracer la paternité d’une idée. Le travail dans les sciences est immergé dans l’évaluation^[17]. Le jugement, la comparaison et l’attribution différentielle de valeur sont les ressorts de l’organisation des carrières. Même si la concurrence interne est omniprésente, ce profond respect et la reconnaissance des contributions individuelles de chacun à l’œuvre collective favorisent la confiance et autorisent les collaborations fécondes entre collègues. La concurrence constitue un ressort de professionnalisation. La réputation personnelle est fondée sur la somme vérifiable des réalisations accomplies ou créditées. Ces mécanismes renforcent l’universalité d’un langage et favorisent la construction de passerelles entre les organisations.

Nous considérons que cette **double capacité de la communauté à se disperser physiquement sur un territoire géographique et culturel étendu mais aussi à se transcender dans un langage autour d’un travail collectif cohérent répond aux défis posés par les collaborations mathématiques et entreprises du monde numérique**. A la fois vectrice d’unité et tremplin pour une dispersion des acteurs, elle permet, en France, de suppléer au manque de porosité institutionnelle entre les mondes socio-économiques et le monde académique. Elle participe à la digestion des renversements de paradigmes épistémologiques qui la traversent. L’esprit de la communauté française permet ainsi de faire circuler les concepts sans

« Personnellement, je n’ai jamais réussi à collaborer avec des entreprises qu’aux travers de relations amicales. ‘Amicale’ dans le sens ‘affinité’ ou ‘confiance’ suffisante pour discuter de manière informelle et libre. Il faut qu’il y ait une forme de désir, je pense : un désir réciproque, ... une envie de rencontre, ... parce que ce n’est pas naturel, en fait. »

Extrait d’entretien

noyer leur essence. L’esprit de la communauté américaine, en revanche, permet de faire l’apprentissage de la fécondité du terrain et de l’hybridité des domaines. Pour réussir les nécessaires rapprochements et obtenir la fluidité relationnelle entre le milieu académique et les entreprises dans une société numérique, les esprits de ces deux communautés sont vertueux, nécessaires et complémentaires.

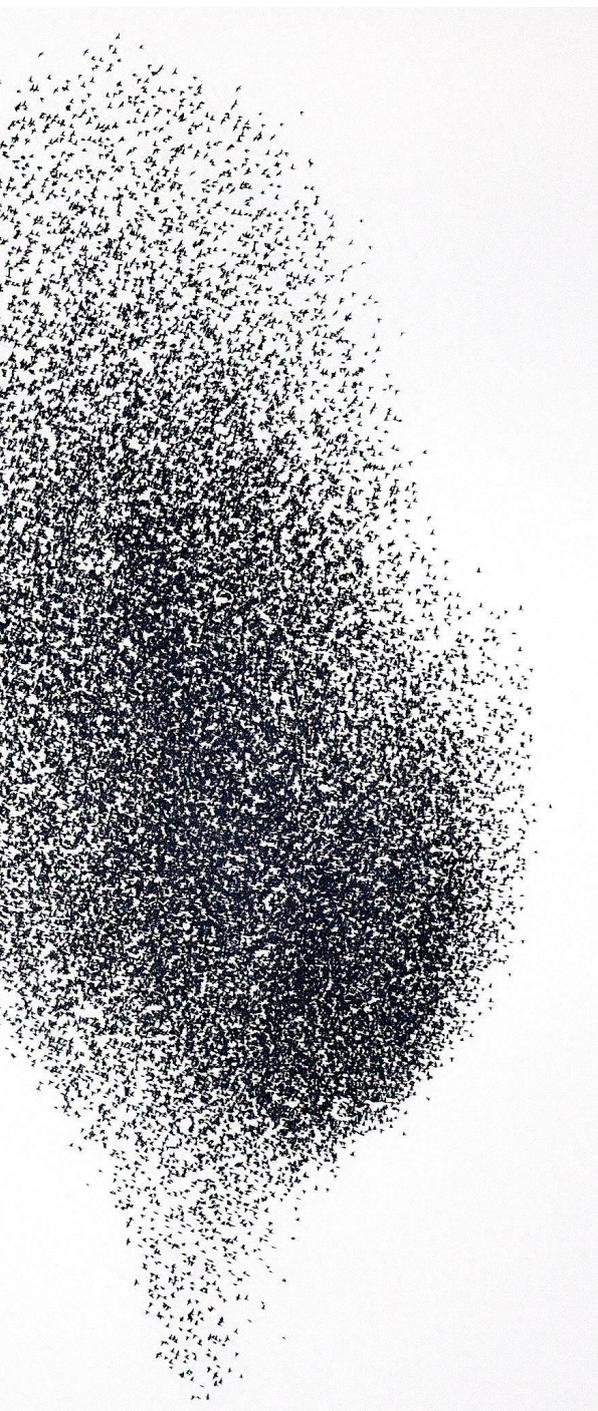
« A l'américaine, tout est possible ! » : le soi-multiple et les défis de la pluridisciplinarité

Nous avons vu précédemment que le numérique et le traitement de la donnée conduisent à des approches dites multi-mathématiques, pluridisciplinaires et collectives. La liste des signataires des articles s'allonge. L'expansion des communautés professionnelles va de pair avec la segmentation des activités. Le maillage des liens et la fréquence des hybridations disciplinaires interdisent au demeurant de considérer que cette segmentation juxtapose simplement des silos de spécialisation. L'individualisation de l'activité et de son signalement est non pas l'opposée, mais la matière même d'une certaine forme d'organisation collective du travail créateur analyse Pierre-Michel Menger.

Aux Etats-Unis, l'enseignement incite les étudiants à s'ouvrir à une grande variété de disciplines et à construire un parcours personnalisé à partir d'éléments disciplinaires disparates. Il place sur un pied d'égalité les matières appliquées et les domaines théoriques. Cette forme d'enseignement valorise l'art de la mise en pratique autant que la capacité à théoriser. A ce titre, l'informatique et le traitement de la donnée ne souffrent pas d'une image dégradée par rapport à la discipline mathématique. La France, encourage et valorise, au contraire un enseignement théorique et une forte spécialisation dans une discipline. Dans le domaine mathématique, l'excellence des deux communautés, française et américaine, a vocation à se compléter parfaitement sur ce point : l'une creuse, l'autre élargit. Savoir passer de l'une à l'autre de ces philosophies, et plus encore savoir les combiner, constitue un bagage précieux. C'est pourtant souvent une expérience américaine qui, au cours des entretiens, est rapportée comme le moment de la prise de conscience qu'un parcours mathématique de très haut niveau peut être aussi être tourné vers les entreprises et les applications. Ces « expériences américaines » amènent les chercheurs à élargir leur conception du travail et les sources de créativité pour l'enrichir, en y intégrant notamment la technologie. Cette philosophie valorise l'originalité, la prise de risque et l'innovation de rupture. La situation évolue en ce sens en France, même si la culture académique reste profondément imprégnée par des valeurs de spécialisation.

Le témoignage présenté ci-dessus illustre la manière dont la culture américaine permet de revisiter le travail en profondeur. A l'époque de Bourbaki, la pensée, en France, est marquée par le structuralisme qui influence l'ensemble des disciplines : anthropologie avec Levi-Strauss, philosophie avec Michel Foucault, sociologie avec Bourdieu, psychanalyse avec Lacan. A la même époque, la pensée américaine explore la systémique, parallèlement à la cybernétique et à la théorie de l'information. Avec le travail sur les données, la combinaison de ces deux formes de pensée qui apparaissaient en mathématique comme des antipodes (structure / événements) trouve toute sa puissance. L'informatique permet de les articuler. On attribue souvent la révolution numérique à une dimension technologique sans souligner que sa puissance se niche dans la pensée stochastique. Lorsqu'elle rencontre les fondements d'une pensée « à la française » – structure – principes abstraits – essence -, *l'esprit américain* – prise sur le réel – grande dimension – monde ouvert – action - rend particulièrement féconde la combinaison des approches. Ce sont des moments vécus comme fondateurs dans la vie des chercheurs sondés. Peut-être expliquent-ils pourquoi le numérique rapproche autant la France et les États-Unis dans les domaines de la recherche scientifique aujourd'hui. Cette manière de combiner plusieurs disciplines ou de les appliquer facilite l'exercice de transposition de la connaissance mathématique aux enjeux des acteurs économiques, puisqu'elle conduit à aborder un champ par le prisme d'un autre.

L'intitulant « Les défis de la pluridisciplinarité », Jean-Philippe Bouchaud commençait sa leçon inaugurale au Collège de France en expliquant que s'aventurer dans une discipline qui n'est pas la sienne ressemble à bien des égards à une immigration vers un pays dont on ne connaît ni la langue, ni la culture, et qui n'attend pas grand-chose de nouveaux venus, surtout quand ceux-ci ont la naïveté ou l'arrogance de croire qu'ils apportent un regard nouveau, des outils différents, une représentation du monde complémentaire. Pourtant, comme le disait René Char, celui qui vient au monde pour ne rien troubler ne mérite ni égards, ni patience. Pour les mathématiques, le traitement des données vient troubler les cultures et les langues.



« **À** Harvard, c'est comme dans les films de Jacques Tati ; à l'américaine. Tout est permis ! Brusquement dans la même université, avec le même groupe de gens, vous aviez la possibilité d'étudier des choses très abstraites en mathématique, ou en physique, et la possibilité d'écouter des gens qui faisaient des applications très éloignées du cadre théorique. Vous aviez **ce mélange concret et pur** propre à l'esprit américain. En France, cela ne se faisait pas. Pourtant Harvard était une université de très haut niveau. C'était passionnant de découvrir tout un univers qui était totalement occulté en France, pour les mathématiciens en tous cas.

Extrait d'entretien

« **C**'était une super opportunité, un cadre de travail inouï que je conseille depuis à énormément de monde. C'est une autre culture. C'est l'image du Far West. Vous avez une colline, vous ne savez pas ce qu'il y a derrière cette colline, l'américain va aller voir ce qu'il y a derrière la colline. En France, ou même en Europe, on a tendance à se dire « on est bien là ». Vous savez cette fameuse idée de la zone de confort... Mais **les choses se passent quand on en sort !** Il ne s'agit pas de se torturer mais les choses se passent là.

Extrait d'entretien

Plus fréquentes, les occasions d'immigrer d'une discipline vers une autre ne se banalisent pas pour autant. Elles requièrent d'apprendre à déconstruire son savoir autant qu'à le construire. C'est un apprentissage en soi qui ne dilue pas la connaissance théorique mais, au contraire, la consolide dans ses fondements et assouplit son usage. La pluridisciplinarité reste un geste épistémologique. Elle oblige à constituer une cartographie des différentes sciences, en capitalisant sur le savoir des traducteurs. Le monde commun devient une visée, non un point de départ. Ce savoir explore le lien entre le mot, l'idée, la pratique.

C'est donc au sein-même du travail de chaque chercheur que la communauté s'incarne, s'incorpore et se retravaille.

Selon la formulation de Donald Campbell, les activités créatrices requièrent un travail intensif d'accumulation de matériaux, un mécanisme générateur de recombinaison d'idées, un processus de sélection et un mécanisme de préservation et de reproduction des variations sélectionnées. Les approches pluridisciplinaires et les collaborations avec les entreprises permettent d'activer ce type de travail. Il y a une sorte de nomadisme introspectif et intellectuel qui s'opère. Il joue de la mise en relation ou en tension des univers entre eux. Il repose sur le couple travail-incertitude. Ce couple active une rationalité indirecte dont la réussite sera obtenue de manière essentiellement dérivée et qui aboutit à une individuation du style, aboutissement d'une multiplicité de structurations concurrentes et simultanément possibles.

Sur le plan institutionnel et culturel, la France peine à intégrer les mondes académiques et celui de l'entreprise – par opposition à la situation constatée par de nombreux sondés lors de séjours aux Etats-Unis. La communauté supplée à ces fragilités. Au sein de celle-ci, nous soulignons les rôles individuels remarquables d'une petite partie de la communauté mathématique, et notamment des membres qui jouent le rôle de pilote-intercesseur. **C'est autour d'eux que se « fractalisent » les acteurs de la communauté et des entreprises. En revanche, la communauté française est moins prompte à jouer de la technologie comme d'un soft power.** Sur cette question, une fracture au sein de la communauté internationale se manifeste. La France cultive une tradition classique de haute-couture et de sur-mesure permettant de répondre à des problématiques de haut-vol - un penchant qui peut la conduire à « réinventer la roue »... Dans un environnement d'accélération des publications et d'obsolescence rapide des découvertes, la maîtrise des moyens technologiques comme moyens de faire connaître les outils et ancrer leurs usages se révèle être un atout stratégique majeur que les grands acteurs américains du numérique maîtrisent à la perfection. Les acteurs français alimentent et consomment ces outils, mais ils ne parviennent pas à en prendre la maîtrise.

Le soft power des briques technologiques et de l'open innovation

Les GAFAMs ont une excellente compréhension de l'environnement global et de sa dynamique de fonctionnement. Ils ont su se positionner en apportant des réponses aux défis économiques et académiques, qui renforcent leur positionnement et se nourrissent l'un l'autre. Les GAFAMs impactent et créent l'écosystème. Si les ressemblances prévalent sur le plan scientifique, les GAFAMs et le monde académique divergent sur le plan culturel et stratégique. La culture numérique et une vision globalisée du monde prévalent chez les GAFAMs. Le milieu académique reste attaché à une culture institutionnelle et à une préférence nationale. Mais surtout, les GAFAMs ne considèrent pas l'informatique comme un simple outil technique. **Les outils ont une fonction culturelle et politique : ils servent à l'acculturation des acteurs.** Ils sont un soft power. Les briques technologies libres de droit sont utilisées comme le moyen de faciliter l'adoption et l'apprentissages des acteurs socio-économiques et ceux du monde académique. **En devenant incontournables pour ces acteurs, et pour des raisons pratiques et techniques, les équipes finissent par graviter autour des GAFAMs et s'intègrent plus ou moins dans leur galaxie.**

Pour devenir leader mondial dans le domaine du « Machine Learning », l'intérêt de X [une GAFAM] n'est pas d'être la seule à savoir l'utiliser. Ne pouvant impacter seule tous les nouveaux domaines techniques et étendre leurs usages applicatifs, les GAFAMs souhaitent que le plus grand nombre d'acteurs se forment à leurs outils. Leur intérêt bien compris va vers l'accès libre aux outils et le partage des compétences. Ces

briques technologiques sont un vecteur efficace de diffusion et de cohésion de la communauté, axée autour du traitement de la donnée. Industrialisation versus haute couture, la communauté académique française cultive une tradition de collaboration « sur-mesure ». On capitalise sur les connaissances, mais on capitalise peu en matière d'outils technologiques. Peu habituelles, les initiatives françaises de ce type,

LE SOFT POWER

« il y a tellement de choses à faire en ML [machine learning] qu'une entreprise, aussi grosse soit elle, ne peut pas tout faire. Elle a intérêt à laisser d'autres avancer avec elle dans cette voie. Aujourd'hui, il y a une guerre des talents. C'est dur de recruter. Avoir une image positive d'ouverture et de recherche, ça attire. Je suis venu chez X [une GAFAM] aussi parce qu'on me garantissait que je continuerai à faire de la recherche très ouverte. Sinon, je ne serais pas venu. Je suis un exemple parmi beaucoup d'autres. Je sais que d'autres entreprises qui ne sont pas comme ça ont beaucoup de mal à recruter, même parmi les fleurons de l'industrie. X ne fait rien d'autre en mettant à disposition des outils internes de programmation. Ce partage leur donne un avantage compétitif. Tous les étudiants, à la sortie de l'école, savent déjà programmer avec leurs outils. C'est du soft power. »

Extrait d'entretien

souvent inspirées par une expérience américaine, restent isolées et sont insuffisamment relayées. Nous savons faire de la dentelle, mais nous réinventons parfois la roue.

Les plateformes permettent pourtant de répondre à **la question de la reproductibilité de la science**, question sensible et enjeu capital. L'extrait d'entretien suivant évoque un projet de ce type, ses sources d'inspiration, son principe de fonctionnement et ses finalités. On saisit les opportunités de mutualisation et de capitalisation qu'il pose. À l'ère des plateformes, les outils technologiques à visées académiques pourraient contribuer à fédérer les acteurs et à renforcer la communauté. Pour comprendre et accompagner les innovations apportées par l'IA, il n'est donc pas suffisant de lister les domaines d'application les plus probables ; il est capital de comprendre le processus qui va faire naître ces applications et la façon dont elles devraient se propager dans l'écosystème des entreprises de marché. Les travaux de David (1989) offrent une grille de lecture de ce processus : il faut voir l'Intelligence Artificielle comme une « technologie générique » (*“general purpose technology”* en anglais) au même titre que la machine à vapeur et l'électricité ont pu l'être. ^[18] En France, les instituts interdisciplinaires d'intelligence artificielle (3IA), créés à la suite du rapport Villani, sont des structures destinées à stimuler les innovations secondaires en favorisant les contacts et les projets autour d'un pôle d'experts de l'IA et des sciences des données : chaque industrie peut y faire héberger des projets innovants, portés par des experts du domaine d'application. **L'open innovation et la technologie** utilisée comme soft power constituent **le talon d'Achille de la communauté française**. Des initiatives françaises existent, mais elles sont peu connues et reconnues. Sur ce point, il existe un véritable choc des cultures entre la culture française et la culture américaine.

Chapitre 3 - Les ressources d'un univers paradoxal

La vie des collaborations en mathématiques s'organise au rythme de la vie de la communauté. Organisation informelle qui unit les mathématiciens au-delà des organisations d'appartenance, **cette micro-société conjugue esprit d'initiative, cohésion sociale et autonomie individuelle**. Elle offre le visage d'un univers paradoxal ^[19] : la variété des entités de rattachement pourrait donner l'image d'un univers décousu. Or, le sentiment de sécurité et de fierté professionnelle domine, donnant tous les signes d'une communauté soudée qui contribue à faire circuler les mathématiques d'un monde à l'autre. Elle as-

socie les traits de la tradition et de la modernité. **Hors du temps, plongée dans un mythe originel, cultivant la fidélité à une tradition, elle témoigne néanmoins d'une formidable capacité de renouvellement.** Elle offre un espace de filiation, au sein de laquelle les individus se transmettent un patrimoine du savoir. Elle se réfère à des figures, emblèmes et incarnations d'une histoire jugée remarquable. Certaines figures, ou leurs héritiers, sont perçus comme doués de capacités hors du commun au regard du succès de la communauté. Inventeurs, visionnaires, engagés, leur comportement témoigne, aux yeux des membres, de qualités exemplaires, telles que la rigueur, la créativité, l'audace ou la ténacité. La communauté revêt ainsi une dimension sacrée qui allie deux qualités principales :

- L'aspect protecteur, puisqu'en son sein, chacun occupe une place reconnue et respectée ;
- L'aspect nourricier, facilitant la progression de chacun.

Cette force intrinsèque lui permet de se déployer. Son originalité réside dans sa souplesse, fondée sur le recours privilégié à la coopération et à une forte intégration culturelle. Elle opère à plusieurs niveaux : mondes sociaux, pays, domaines, disciplines. Sur le principe du compagnonnage, ses ramifications sont larges. Les rapports hiérarchiques lorsqu'il y en a s'inscrivent sous le sceau de la proximité. Issus des mêmes milieux, les responsables sont à même de comprendre et d'intégrer les contraintes spécifiques des mathématiciens. La coexistence de plusieurs mondes sociaux se double de la cohabitation pour un même « Soi » de plusieurs groupes de référence, ce qui donne souvent lieu à des tensions, à des dilemmes et à des contradictions. Ici comme ailleurs, la problématique de l'innovation a remplacé celle de l'organisation : ce qui caractérise l'activité professionnelle est dorénavant bien plus la capacité à trouver des solutions novatrices à une multitude de problèmes qu'à appliquer des règles venues d'en haut. **Et si l'on parvient aujourd'hui à innover autant, c'est mille fois plus grâce à l'association et à la diffusion de cette constellation de petites initiatives que grâce à quelques décisions rares, fortes, prises par les hiérarchies. De ce point de vue, la communauté répond à cette exigence.**

Mais cette production collective doit pouvoir être **décomposée en contributions individualisées**. Attester la part attribuable à chacun et son importance relative, c'est donner à l'activité son socle de juste reconnaissance. Une composante significative de la rétribution d'un travail complexe est aussi le moyen d'informer efficacement la communauté professionnelle sur les qualités et les responsabilités de chaque contributeur. C'est ainsi que, par l'attribution d'une réputation personnelle, la continuité d'une carrière peut être extraite de la discontinuité des séquences de travail. L'individuation de l'activité et de son signal est ; non pas l'opposé, mais la matière même d'une certaine forme d'organisation collective du travail créateur.

[1] Étude de l'impact économique des mathématiques en France, 2022, page 52

[2] Patrice Duran, action collective : pour une combinatoire des mécanismes de coordination

[3] Étude de l'impact économique des mathématiques en France, 2022, page 52

[4] Gilles Stoltz, MATAPLI, Enquête sociologique

[5] Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique

[6] Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

[7] GDR Math- Texte de Bertrand Maury

[8] Thème évoqué pages 35-36

[9] Pour rappel, le terme « mathématicien » se réfère dans notre enquête aux personnes ayant un diplôme de docteur en mathématiques, pratiquant un travail de recherche dans la discipline, pour le compte d'une entreprise ou du milieu académique. De façon peut être discutable, nous avons étendu cette terminologie aux quelques (rares) personnes ayant un diplôme de docteur en mathématiques qui se sont orientées vers des fonctions de management.

[10] Pierre-Miche Menger, Leçon inaugurale Collège de France

[11] Un meet-up, anglicisme venant de to meet up, est une soirée de réseautage social, centrée, pour les participants, sur un ou plusieurs centres d'intérêt communs. La rencontre découle d'une mise en relation électronique en amont, initiée depuis une communauté virtuelle.

[12] Pierre-Michel Menger, leçon inaugurale au Collège de France, chaire de sociologie Le travail créateur.

[13] Dominique Cardon, La culture numérique, page 35

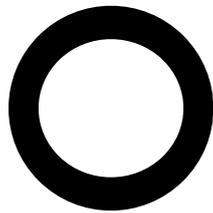
[14] Formations et carrières mathématiques en France : un modèle typique d'excellence ? Pierre-Michel Menger, Colin Marshika, Yann Renision Pierre Verschueren,

[15] Formations et carrières mathématiques en France : un modèle typique d'excellence ? Pierre-Michel Menger, Colin Marchika, Yann Renision, Pierre Verschueren. Cairn info, 2020.

[16] La différence, la concurrence et la disproportion. Sociologie du travail créateur, PM Menger, Leçon inaugurale au Collège de France, 2014

[17] La finance de marché à l'ère de l'IA bon marché, Charles-Albert Lehalle, HAL.

[18] Thème abordé dans le chapitre 1, la communauté, vecteur de diffusion et le chapitre 2, La communauté, vecteur d'unité de la 3^{ème} partie, pages 53-60



« La communauté mathématique n'a pas la culture du mandarinat, mais il faut quand même être vigilant à laisser de la place aux jeunes. Il existe quand même une tendance à être pris, ... et se prendre, au sérieux avec l'âge.

Extrait d'entretien

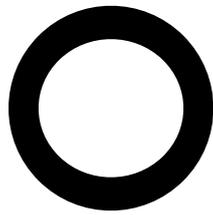
« Les mathématiciens parlent de rester en contact avec le vrai monde, mais ça veut dire quoi le vrai monde ? L'entreprise est associée à ce monde-là. Souvent dans les conférences, on se retrouve entre nous. C'est dommage. J'essaie d'œuvrer pour que les événements rassemblent dans des proportions équilibrées (60/40) des académiques et des industriels.

Une structure internationale, où la France n'était plus représentée, organise un congrès annuel remarquable qui regroupe des industriels et des académiques, mais où tout le monde est dans son 'vrai' rôle. L'ambiance est très ouverte, très accueillante. Ça permet de sortir des configurations d'autoportrait. Pour les étudiants, c'est important de ne pas être formatés dans ce schéma.

En même temps, la logique disciplinaire protège et sécurise un espace de recherche d'approfondissement de la discipline. C'est la force des maths en France.



Extrait d'entretien

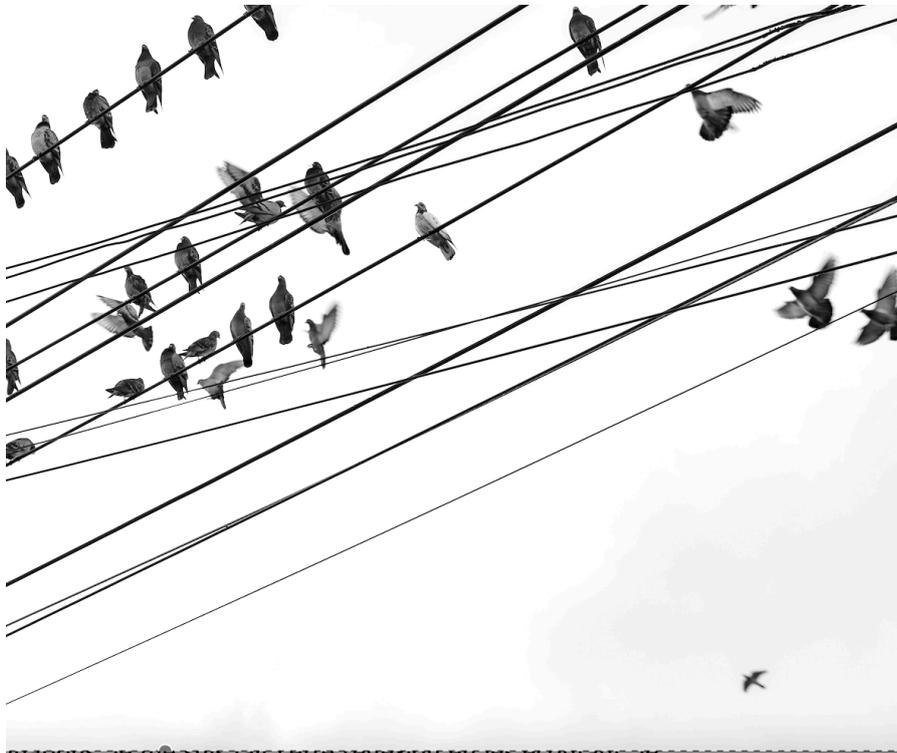


« Cette confrontation des cultures souvent difficile, et parfois brutale, est néanmoins fertile si elle se poursuit sur de longues périodes. Quelles sont ses finalités, ses supposés méthodologiques, ses conventions sociales ? Par exemple, la théorie doit-elle précéder la confrontation aux données ? Ou l'observation doit-elle, au contraire, inspirer la théorie comme c'est souvent l'usage en physique. Qu'est-ce qu'une théorie, un modèle, une loi ?

Termes qui curieusement n'ont pas le même sens, ni le même statut dans différentes disciplines. Cette discussion est d'autant plus importante que les modèles servent souvent de paradigmes, de piliers conceptuels sur lesquels les disciplines se développent.

Certains modèles, certaines théories, creusent dans nos esprits un sillon si profond qu'ils déterminent sur le long terme notre conception du monde. »

Jean-Philippe Bouchaud,
extrait de sa leçon inaugurale du Collège de France, 25 février 2021



Dialogue entre un 'EDPiste' et un statisticien : du statut de la donnée et de son usage

Extrait d'entretien

EDP : La relation aux données est l'origine même du débat. Il est inversé entre les EDPistes et les statisticiens. L'EDP résulte d'un filtre intellectuel que tu as sur la complexité. Il réduit la complexité du problème tel que tu te le représentes. Alors qu'en statistique, la complexité provient du vrai problème dont tu exfiltres des données pour essayer d'en dire quelque chose. Toute la difficulté de communication entre les EDPistes et les statisticiens vient de là ! **Ils ne se réclament pas de la même source.** Il y a une **quête d'absolu** chez l'EDPiste en disant que la physique de départ n'est pas celle qui génère la donnée mais celle que **Dieu** a voulue. J'exagère, mais il y a de ça ! (...)

Statistique : Les probabilités sont aussi de l'ordre de la **transcendance**. Les statisticiens sont, eux, dans l'ordre de **l'immanence**. Les probabilistes aiment se fixer un cadre stochastique et regarder, qualitativement, ce qui se passe. Les statisticiens, c'est le contraire. Les probabilistes donnent **la loi** et essaient de regarder **le comportement**. Les statisticiens regardent le comportement et essaient de déterminer la loi. Ils sont **de l'autre côté du miroir d'Alice**.

EDP : Ce qui revient à se demander... qu'est-ce qu'il y a d'intrinsèquement stochastique dans ce que je suis en train de regarder versus ce qui m'apparaît comme stochastique, soit parce que je n'ai pas compris le modèle de départ, soit ce qui reflète un bruit, ou ce que je n'ai pas compris ? (rires) A posteriori, il est difficile de distinguer ce qui est par essence ou ce de ce que tu n'as pas compris. C'est compliqué quand même ! (Rires complices)

Statistique : Ça me rappelle un débat où nous évaluions avec Socio si oui ou non, les processus stochastiques sont partout. Il me semble qu'il y a encore dans la communauté EDP des problèmes industriels qui se résolvent sans appel au stochastique, non ?

EDP : Oui, bien sûr. Il y a beaucoup de problèmes industriels qui ne s'appuient pas sur du stochastique. Il est souvent évoqué, mais à ceci près que quand tu es sur un problème industriel, il n'y a pas que la qualité de la réponse qui importe, il y a aussi son temps d'exécution. Les gens qui viennent du monde de la mécanique viennent **d'un monde de très grandes dimensions, certes, mais très régulier**. On peut donc dériver. L'approche des stats vient d'un monde où l'on se privait de supposer **la régularité**. Si tu veux rester sur des temps de calcul acceptables, tu es obligé de rester dans des dimensions pas trop fortes. Et **la combinaison des deux est compliquée ! Elle est compliquée culturellement, elle est compliquée dans les outils**. Tu vas connecter des gens qui pensent en dimension finie et croient en la régularité, avec des gens dont les méthodes viennent de dimensions plus réduites et font

l'économie du manque de régularité. Culturellement, ils sont tête-bêche ! Je caricature volontairement.

Socio : Est-ce différent dans le monde de la donnée massive ?

EDP : Non parce que les méthodes coûtent chères. Chez des éditeurs de soft qui avaient l'habitude de faire l'un et l'autre, par exemple, certains essaient de monter un vrai produit hybride. **Sur le papier, ils font tous du jumeau numérique!** En fait, ils viennent te voir et te disent : vous faites comment pour faire bosser des gens qui font des modèles de mécanique avec des gens qui font de la stat ? **Nous, on a des équipes qui sont bons dans les deux domaines. Mais dès que vous les mettez ensemble, il ne se passe plus rien !** Statistique : (rires complices) **Bienvenu dans le club !** Évidemment, c'est ce qu'il faut faire. Il y a quelque chose d'hyper riche à la clé. Mais **on ne parle pas les mêmes langages.** Il faudra 5 ou 10 ans pour que les gens se comprennent vraiment. **On** tend vers ça. C'est dans l'air du temps. Mais on est loin du but. Tu la ressens, toi aussi Statistique, cette difficulté ?

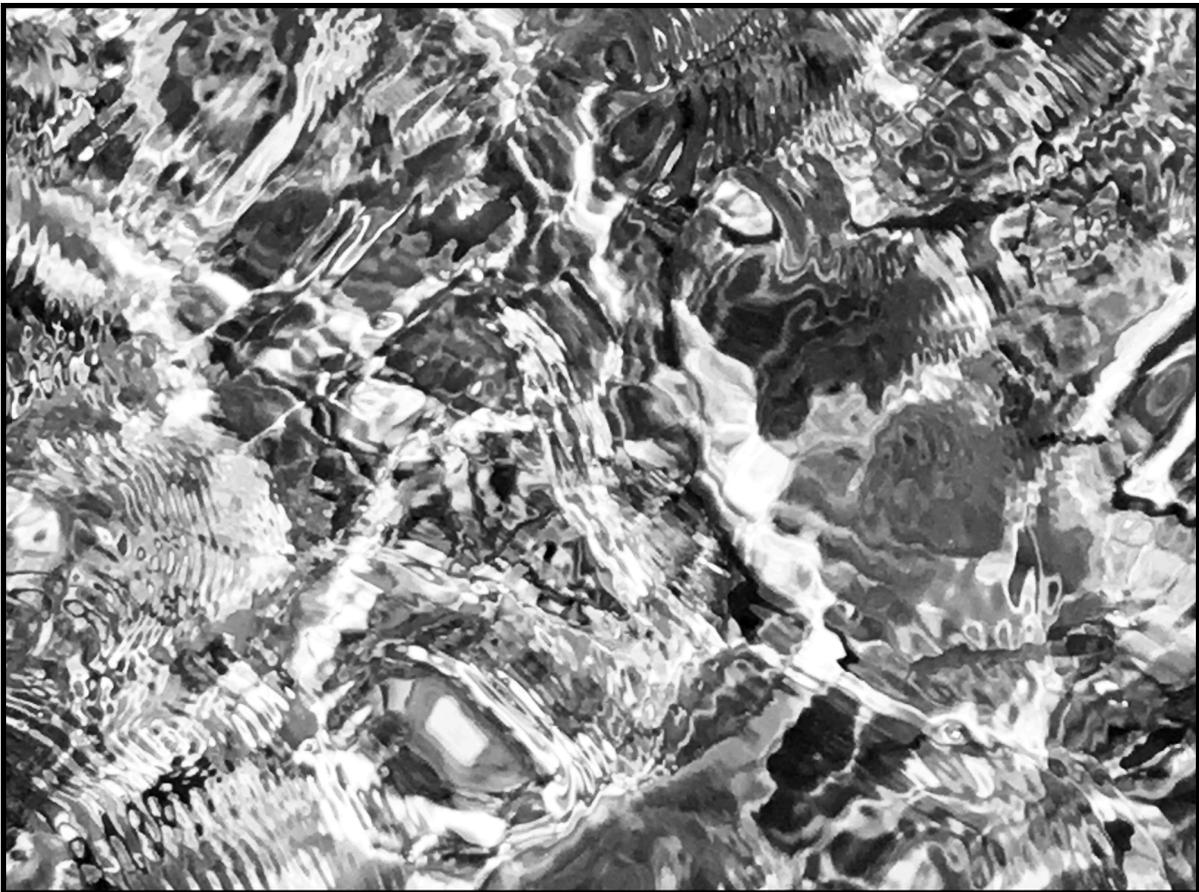
Statistique : Quand Socio posait la question des données, j'imaginai les EDPistes qui modélisent les vagues : jamais, ils ne veulent modéliser la vague de 7 mètres. Ils ne veulent observer qu'un phénomène qui ressemble à celui qu'ils ont modélisé. Il est plus important de se caler avec la représentation du phénomène que de se caler sur les données qui en résultent.

EDP : Il y a des cas dans lesquels c'est vertueux, et des cas dans lesquels ça ne l'est pas. Les cas dans lesquels ça ne l'est pas : c'est quand la donnée essaie de te dire quelque chose sur ton modèle que tu n'avais pas compris. Le cas qui est vertueux, c'est quand, parce que tu as du bruit dans la donnée, elle n'exprime rien mais tu t'évertues à lui trouver un sens. Ça peut te faire **commettre des biais graves** par rapport aux principes qui sous-tendent ta physique. Arriver à faire le distinguo entre ce que la donnée essaie de me dire sur mon modèle et ce que je n'ai pas pris en compte et ce qu'elle n'essaie pas de me dire, mais que je m'évertue à interpréter, c'est déjà en soi un problème majeur.

En France, on a une manière d'enseigner les sciences qui est hyper formalisée et très mathématiques. C'est un problème de base avec les données. La qualité du débat EDP / données est hyper fondateur. Du côté des entreprises, trop souvent, on prend comme référence pour penser à la donnée un monde B to C qui est le monde de Google, un monde de surabondance de données parce que les gens sont prêts à la donner en échange d'un service, car cette donnée ne leur coûte rien. Dans le monde B to B, la donnée est rare et chère parce qu'une donnée, c'est un prototype. C'est un objet que j'ai payé, que j'ai produit, que j'ai testé. Indépendamment de la générer, il faut que je consente à te la donner. Derrière, il y a des sujets de propriété intellectuelle. **L'accès à la donnée dans le monde B to B est rare et cher.**

QUATRIÈME PARTIE :

Maintenir le lien à la source. ... Oui, mais laquelle ?



« Je parle du travail de mathématicien. C'est un travail que je connais bien et de première main. La plupart des choses que j'en dis sont vraies, sûrement, pour tout travail créateur, tout travail de découverte. C'est vrai tout au moins pour le travail dit « intellectuel », celui qui se fait surtout par la tête, et en écrivant. Un tel travail est marqué par l'écllosion et l'épanouissement d'une compréhension des choses que nous sommes en train de sonder. Mais pour prendre un exemple au bout opposé, la passion d'amour est, elle aussi, pulsion de découverte. Elle nous ouvre à une connaissance « charnelle », qui elle aussi se renouvelle, s'épanouit, s'approfondit. Ces deux pulsions – celle du mathématicien au travail, disons, et celle en l'amante ou l'amant – sont bien plus proches qu'on ne le soupçonne généralement, ou qu'on est disposé à se l'admettre.»

Alexandre Grothendieck, *Récoltes et semailles*, page 17

Qu'est-ce qui vous a fait sauter le pas ?

« Il est difficile de mener des applications de façon intensive à l'université : il est difficile d'avoir les ressources pour produire des gisements de données. Si vous voulez travailler sur les données, il faut créer des programmes informatiques, les mettre en œuvre et atteindre un niveau d'excellence opérationnelle.

J'avais besoin de travailler sur toute la chaîne à partir de données réelles de qualité. C'est pour ça, qu'on a créé la boîte. Pour **pouvoir faire de la science**, on s'est retrouvé à proposer des choses sur-mesure à nos clients. Ils étaient contents ! C'était passionnant ! Ce n'est pas comme ça qu'on gagne de l'argent.... »

Extrait d'entretien



« Au fond, un entrepreneur n'est pas si différent d'un chercheur. Il taille son parcours dans la jungle avec quelques collègues, il se perd, tourne, doute, et poursuit une vision, en tentant de convaincre le reste du monde (...). Encourager les allers-retours entre ces deux mondes apporte de l'air frais à tous. »

Stéphane Mallat, Leçon inaugurale du Collège de France

Nous avons vu que le travail mathématique appliqué dans un contexte numérique a souvent une dimension performative. Il faut pouvoir faire les choses « en vrai » sur toute la chaîne afin de formuler une question mathématique et en vérifier les hypothèses. L'accès aux données des entreprises se révèle être une source, plus qu'une finalité.

... Entre le monde académique et les entreprises, mon cœur balance

Nous avons tenté de montrer que les chercheurs accèdent aux collaborations recherche avec les entreprises pour accéder à de « vraies » questions mathématiques, tout en entretenant un lien nourricier avec la communauté, et à travers elle, avec le monde académique. L'économie numérique 4.0 exige de maintenir et d'actualiser le niveau de ses connaissances. Le milieu académique demeure le centre du monde de la connaissance mathématique. Mais désormais, cette connaissance se nourrit au sein du monde numérique, en action. Garantir la permanence du lien implique de conserver un pied dans le monde académique. Il faut équilibrer l'accès à la connaissance, issue du monde académique, et l'accès à la donnée en entreprise. Il est aussi nécessaire de conserver un lien intime avec la science en train de se faire dans le milieu académique - d'où la sinuosité des parcours qui cheminent d'une source à l'autre. Donc maintenir le lien à la source, oui... mais laquelle ?

La communauté permet de relier les deux sources du travail mathématique : l'accès à la donnée et l'accès à la connaissance académique. Si, sur le plan collectif, la stratégie fonctionne, sur le plan individuel, la mise en lien est plus délicate. Suivre le fil rouge d'un travail mathématique de haut niveau à partir de la donnée nécessite de voyager entre plusieurs mondes sociaux pour lui donner toute sa cohérence. Le spectre des réponses ap-

portées par la communauté est large. Il est borné par les plus emblématiques : la réponse des contrats de collaboration recherche classiques qui joue sur la complémentarité entre les deux sources d'une part, et la réponse entrepreneuriale qui conduit à intégrer un accès sur-mesure à la donnée dans le parcours académique hors-norme d'autre part. Entre les deux, la communauté a développé une palette de réponses graduées, qui mixent des stratégies individuelles et des stratégies institutionnelles, adoptant plus ou moins la culture numérique.

Chapitre 1 – Face au dilemme, les réponses les plus emblématiques

Plusieurs stratégies émergent pour réaliser ce besoin de s'abreuver aux deux sources : rester fermement dans le monde académique et l'utiliser comme plaque tournante ; concilier, mais à un niveau modeste, recherche académique et implication entrepreneuriale ; mener des allers-retours entre monde académique et entreprise, en étant soit salarié d'une entreprise, soit son créateur. Une fois posé, ce dilemme explique la non-linéarité de certaines trajectoires professionnelles. Autant la continuité paraît évidente du point de vue du fil rouge tiré dans les travaux de recherche, autant les fonctionnements institutionnels placent ces deux sources aux antipodes. Les mathématiciens, pour rester à leur meilleur niveau, ont besoin d'être intégrés au monde académique.

Le monde académique comme plaque tournante : les projets de collaboration recherche

A. Jouer la carte de la complémentarité

La première stratégie, la plus confortable, consiste à s'appuyer sur le socle académique comme une plaque tournante pour naviguer d'un secteur à

l'autre sur une problématique scientifique donnée, via les projets de collaboration. Les projets sont la raison d'être des passerelles établies entre les entreprises et le milieu académique. On trouve des projets de collaboration recherche de plusieurs sortes :

- Les collaborations au long cours entre grands groupes et laboratoires. Elles peuvent s'étendre plusieurs dizaines d'années, sur des sujets communs qui évoluent au fil du temps.
- Les collaborations qui répondent aux besoins ponctuels d'une entreprise de plus petite taille, orchestrées par AMIES et le réseau MSO
- Les collaborations développées individuellement par un chercheur, ou un petit groupe de chercheurs, autour d'une thématique ou d'un outil avec un portefeuille de partenaires.
- Les missions d'expertise ponctuelles qu'une entreprise peut solliciter, en dehors d'applications concrètes.
- Les transferts de technologies promus par des laboratoires ou des SATT.

L'initiative de la démarche revient soit au monde académique (transfert de technologie), soit à l'entreprise, soit à l'action de structures d'interface comme les SATT. Elles répondent à des stratégies opérationnelles qui offrent des opportunités concrètes de coopération : solutions pour l'entreprise, publications pour le chercheur. L'objectif de résultat permet d'apprendre à se connaître : contexte d'application, questions théoriques, partage d'outils, fonctionnement des équipes, méthodologies, mise en œuvre, risques... Les projets sont des co-constructions et des apprentissages collectifs : confrontation d'expériences, itérations encadrées par le feedback du réel. Le besoin de financement n'est pas la motivation principale, coté académique, pour monter une telle collaboration. Les entretiens sont muets à ce sujet, aucun sondé n'ayant réellement évoqué ce point. Les collaborations recherche sont en effet des engagements réciproques vers un but scientifique commun, pour lesquels les entreprises n'offrent qu'une petite contrepartie financière au laboratoire. L'idéal est que la collaboration débouche sur une solution pour l'entreprise et une publication pour l'équipe académique. Ce cadre de collaboration recherche tranche avec celui des prestations plus classiques, où un laboratoire peut être rémunéré par une entreprise pour mener à bien une œuvre scientifique, souvent moins ambitieuse et au résultat plus garanti : dans ce cas, le coût com-

plet du projet est pris en charge par l'entreprise, qui fixe le cap de travail et ses échéances.

Au contraire, les projets de collaboration de recherche Maths – Entreprises sont des opportunités de réciprocité. Ils fabriquent des apprentissages collectifs et une part de risque pour chacune des contreparties. Prenons l'exemple du fonctionnement d'IMOSE, un des deux nœuds MSO de l'Île-de-France, un premier cercle de 3 personnes travaille sur des collaborations de manière permanente. Mais un second cercle d'une quarantaine de personnes peut être sollicité parmi les enseignants-chercheurs et chercheurs, les post-docs ou même les étudiants (exemple d'un étudiant ayant travaillé sur l'atterrissage des drones en 2ème année d'École Centrale) : « On pioche en fonction des disciplines et des affinités personnelles ». En général le projet est porté par une seule personne, encadrée par les responsables. La récurrence de travail avec l'entreprise n'est pas la norme pour ce laboratoire, à part avec quelques instituts qui ont des sujets réguliers de recherche ou avec les laboratoires de grandes entreprises (EDF, Airbus, CEA) pour qui la frontière entre recherche académique et recherche interne n'existe presque pas.



Personnellement, j'aime passer d'un univers à l'autre. J'aime ce moyen de renouveler mes idées. Par ailleurs, j'aime enseigner. »

Extrait d'entretien

B. Limites et malentendus

L'expérience montre que ces projets rapprochent les équipes. Mais ils les confrontent aussi à des limites et à des sources de malentendus récurrents.

- a. L'accès au réseau et la visibilité des chercheurs

Tous les chercheurs ne sont pas égaux devant les collaborations. Certains manquent de visibilité auprès des entreprises. Si le laboratoire, ou l'université, n'est pas dans une démarche active, comment faire connaître son expertise auprès des entreprises ? Rompre l'isolement et accéder au réseau dans la communauté devient le préalable pour mettre le pied à l'étrier et dépasser les aspects dissuasifs de ces projets.

Contextualiser

« Ils me disent « euh ben non... pourquoi ? Quand on me donne des données, je travaille dessus ».

Je me disais : mais ce n'est pas possible ! Ils ne se posent pas la question de savoir si la donnée de référence est pertinente. Leur modèle n'aurait aucun sens si elle est biaisée. Cette dimension ne les intéresse pas du tout. Tous les mathématiciens ne sont pas comme ça, mais il y en a pour qui c'est un autre monde. Par exemple, j'ai fourni des données à une équipe. Je lui ai expliquée le contexte etc, Ils sont revenus genre ...un an plus tard avec des résultats. Je leur ai dit ... c'est joli ce que vous avez fait, mais on s'en fiche. Médicalement, c'est stérile ! C'est un vrai sujet car les données parlent toujours : on arrive toujours à leur faire dire quelque chose. Mais quand on travaille sur le terrain, on sait la manière très imparfaite avec laquelle elles ont été produites. Il est important de le garder à l'esprit. C'est **d'autant plus dommage que le mathématicien pourrait préconiser des approches pour intégrer cette imperfection**. Je suis tombé des nues ! Ce n'est pas facultatif ! C'est le **cœur du sujet !**

Si on ne le fait pas, tes données ne veulent rien dire ... Avec le Deep Learning, on aura des biais à tous les étages. Plus la donnée sera riche, plus il sera complexe de les détecter. Les algorithmes ne savent pas détecter leurs erreurs, évidemment, par définition ! On dit à l'algorithme « répond oui ou non », lui, il répond « oui ou non » ... il n'a aucun esprit critique. Il répondra toujours quelque chose. Les modèles sont intéressants mais si on n'arrive pas à prendre ce tournant, tout va crasher !. »

Extrait d'entretien

Mécénat et collaborations

« Le fonctionnement est compliqué car le tiers du budget doit provenir de mécénat des entreprises, avec un ticket d'entrée à 200 000 Euros. Les entreprises françaises ont du mal à accepter les règles du jeu. **Celles qui sont intéressées voudraient des contreparties sous forme de collaborations. Ce n'est pas ce qui est prévu. Cet institut est dédié à la recherche théorique. Il n'a pas vocation à accompagner les entreprises.**

Or, comme beaucoup d'entreprises ne savent pas par quel bout prendre le sujet, elles attendent une contrepartie et un accès privilégié aux chercheurs. Les GAFAM, elles, ont largement les moyens de financer, en interne et en externe, de la recherche fondamentale sans rien attendre à court terme. En France, on paie le prix d'une dissociation trop ancienne entre recherche et entreprise. »

Extrait d'entretien

« Il y a des chercheurs qui n'ont pas de difficulté à trouver des partenaires pour des projets collaboratifs. Mais quand je discute avec les petites universités régionales, elles me disent que leurs chercheurs ont du mal à se mettre en contact avec un collègue d'une autre discipline, à trouver des partenaires pour répondre à un projet européen, à se faire connaître des entreprises. Ils n'ont pas le réseau nécessaire. » Logiquement, les entreprises s'orientent vers les chercheurs connus et les laboratoires visibles. Des initiatives d'interface comme celles de la plateforme LinkInnov ou celle d'AMIES permettent d'apporter un cadre, un support et une visibilité aux nouveaux entrants, en leur facilitant leur première expérience, mission d'expertise ou collaboration, et en leur permettant d'intégrer un réseau.

b. Les projets de collaboration versus la tentation de la prestation

Dans la liste des malentendus fréquents, figure la question de la posture de l'entreprise : vraie collaboratrice ou simple donneuse d'ordre ? Il peut exister des risques d'asymétrie conduisant à des échecs relatifs lorsque l'entreprise confond collaboration et prestation. L'enjeu n'est pas anecdotique, même si les malentendus restent marginaux. Il arrive que les entreprises cherchent à collaborer pour obtenir les services à bas coût d'un docteur, sans prendre en considération la réciprocité pour apporter suffisamment de matière théorique et d'espace-temps à la « vraie » recherche.

Un deuxième malentendu courant concerne la temporalité du déroulement du projet, entre les échéances à quelques mois voire quelques semaines de certaines entreprises, notamment les jeunes pousses, et les échéances à deux ou trois années du monde académique (et parfois des grands groupes). Des conflits de temporalité peuvent exister, en particulier avec les start-ups sous la pression du court terme. Ces malentendus ne sont que frictionnels : les mathématiciens cherchant des problèmes exigeants, ils apprennent, avec l'expérience, à passer leur chemin face à des problèmes ne les mettant pas au défi.

Enfin, les entreprises considèrent la recherche académique comme du strict domaine de l'État. Il n'est pas dans leur culture de se positionner comme mécène. S'il y a un financement, il y a une contrepartie attendue. Cette attitude tend à maintenir une distance entre des logiques de travail éloignées, alors même que l'intégration de ces différences participe de leur rapprochement.

« Dans les faits les collaborations avec les petites sont plus fructueuses. Les grandes entreprises ont souvent du mal à formuler une question. Elles viennent avec un vague besoin, souvent concernant l'IA parce qu'il faut qu'elles s'y mettent, mais elles ne savent pas ce qu'elles veulent en faire. »

Extrait d'entretien

c. Les questions vagues et le buzz de l'IA

Parmi les chercheurs sondés, il n'est pas rare qu'ils aient exprimé une préférence pour les collaborations avec les petites entreprises. Ils les considèrent plus fructueuses car, même s'il n'est pas parfaitement qualifié, les petites entreprises s'orientent vers la recherche lorsqu'elles ont un problème concret à soumettre - un « vrai » problème. Certaines grandes entreprises ont plus de difficulté à formuler une question précise pour initier une collaboration. Elles s'orientent vers la recherche avec un vague besoin, souvent concernant l'IA parce qu'elles doivent s'y mettre, mais elles ignorent précisément ce qu'elles veulent en faire.

d. La difficulté à contextualiser le problème

La question de la contextualisation du problème paraît être le sujet qui sépare le plus profondément les entreprises et les chercheurs. Contextualiser signifie fournir un effort de compréhension du métier, des processus opérationnels à l'œuvre dans la production des données qu'on cherche à « faire parler ». Des données massives prises hors contexte parleront toujours d'un point de vue mathématique. Mais l'extraction du sens peut s'avérer être parfaitement hors-sujet au regard de l'entreprise. Les données captées charrient des imperfections liées à la complexité de la vie de l'entreprise et de l'environnement dans lequel elle évolue. A la complexité du problème mathématique vient s'ajouter la complexité du monde des organisations et la subtilité des règles de l'art du métier. Le monde des organisations n'est pas un monde linéaire. Il est la résultante complexe de flux qui se mêlent les uns aux autres - parallèles, circulaires. A écouter les sondés, la complexité mathématique des données et la complexité des organisations qui les produisent se mêlent mais ne se rencontrent pas. La divergence de langage ressemble à une sorte de langage de sourd. Or, avant d'attaquer le problème du point de vue mathéma-

tique, il faut pouvoir le contextualiser dans la vie de l'entreprise et le sens que lui donne le métier. Sans cette étape préalable, la formulation de la question mathématique peut passer totalement à côté du problème opérationnel que rencontre l'entreprise. Certaines entreprises (elles sont nombreuses) se plaignent d'être en relation avec des chercheurs académiques qui ne prennent pas la peine de replacer la question dans un contexte opérationnel plus large.

Ce déficit de contextualisation est le premier frein au succès des collaborations de recherche.

Inversement, le renversement de paradigme des traitements statistiques à partir des données brutes requiert que l'entreprise s'adapte aux processus qu'ils induisent. Le travail des équipes de recherche consiste notamment à acculturer la direction et les équipes métier sur ce qu'elles peuvent et ne peuvent pas faire. Dans le cas de l'aéronautique par exemple (c'est vrai pour tous les secteurs), l'IA vient bousculer les processus et ajouter de nouvelles variables inconnues. A la composante « boîte noire » s'ajoute la variété des jeux de données utilisées par l'entreprise et celles de ses clients. L'interaction de la technologie avec l'environnement rend les outils difficiles à tester en dehors des environnements de production.

Avec des systèmes comme ceux d'aide à la décision des pilotes de chasse, la technologie n'a pas un fonctionnement purement mécaniste. Les caméras permettent de réduire les temps d'analyse de l'image et de multiplier les images à disposition présentées au pilote grâce à des temps de calcul beaucoup plus courts. L'impact de la mise à disposition est important puisque ces images sont utilisées dans la prise de décision des pilotes. Les modèles ne sont pas exempts d'approximation. Aujourd'hui, la machine est beaucoup plus fine que les approximations humaines, qui sont moins tolérées. Une part importante du travail consiste à communiquer, à expliquer le fonctionnement des traitements et à en expliciter les limites.

Le sujet n'est pas facile à trancher du point de vue du travail et du rôle du mathématicien. Cette question importante mériterait une étude à part entière afin d'examiner le sujet sous cet angle. Elle nécessite de développer

une vision plus large des enjeux métiers pour l'entreprise.

e. Les approches hybrides analyse-statistique

Une autre limite des collaborations recherche, de nature tout à fait scientifique, a émergé des récits collectés au cours de notre enquête : la difficulté des approches hybrides de modélisation analytique et de modélisation stochastique (traitement statistique). Classiquement, malgré la nécessité des approches multi-maths, se présentait souvent une zone grise de choix de méthodes dans laquelle il pouvait être arbitré entre différentes approches, analytique et statistique. Le désir d'hybrider les deux approches, par exemple pour les « jumeaux numériques », se heurte, sur le terrain, à un choc des cultures mathématiques. En effet, les cultures de modélisations analytiques et statistique diffèrent par le statut qu'elles accordent aux données : moyens de valider une modélisation analytique respectant les principes physiques d'une part, source même et justification de la modélisation statistique d'autre part. Transcendance contre immanence. Dans la pratique, les rapprochements sont encore compliqués et peu féconds. Ces difficultés, de nature tout à fait scientifique, pourraient s'estomper avec le temps.

Le continuum entre mathématiques appliquées et mathématiques fondamentales amène à créer des liaisons inédites entre les mathématiques fondamentales et le monde socio-économique. Ces liaisons renforcent les interdépendances, estompent les hiérarchies et revisitent les regards. Savoir poser un cadre et exercer de fortes compétences de gestion de projet est nécessaire. Le chef de projet ne se contente pas de superviser les étapes. Il élabore une solution d'ensemble en itérant entre vue microscopique et vue macroscopique. Il traduit la partition aux membres de l'équipe. Composition d'ensemble, écriture des parties, orchestration, montée en puissance opérationnelle, le tout exige de l'énergie. De nouveaux rôles émergent au sein de la communauté : les acteurs-relais, les pilotes,

les chefs de projets. Ils développent des capacités de vision « méta », de compétences humaines et qualités d'endurance souvent motivées par le goût du résultat et une appétence pour la technologie. Le pilote-intercesseur^[4] devient un maillon essentiel. Ce sont des moutons à 5 pattes. Avec eux, $1+1=3$. Les réponses qu'ils apportent pour répondre au besoin de rapprocher les ressources sont plus radicales. Elles les engagent personnellement et requiert de développer des compétences éloignées de celles requises par la pratique originelle de leur métier.

Les réponses héroïques – des choix professionnels déraisonnables pour valoriser le travail scientifique

Les pilotes-intercesseur peuvent être vus comme des dirigeants d'une PME académique. Ces PME académiques conçoivent des solutions sur mesure, façon mode haute-couture, et chacun fonctionne selon sa propre méthodologie, dispose de son propre réseau, de ses propres financements, etc. Atomisation et dispersion : ces chercheurs très impliqués recréent, au sein de la grande communauté mathématique, leurs petites communautés. Pour eux se posent souvent la question de la création d'entreprise parce qu'ils « voient » le potentiel de développement industriel ou convoitent un terrain d'application / recherche parfaitement adapté à leurs travaux. Ces chercheurs sont mus par le désir d'intégrer les deux sources : données et connaissances académiques de très haut niveau. La question se pose comme un dilemme.

A. Le mouton à 5 pattes ou le pilote-intercesseur

Certains pilotes-intercesseur se spécialisent plutôt sur du montage de projets multi-maths, d'autres sur le développement de plateformes d'outils, d'autres sur la mise en œuvre de solutions opérationnelles, dans la durée, avec un portefeuille de partenaires industriels multi-sectoriels. Ce profil maîtrise l'ensemble de la

chaîne du travail mathématique : de la capacité à qualifier un problème, à la production d'algorithmes en passant par la capacité à traduire le problème en question mathématique et à fédérer des acteurs sur un problème. Il est capable de contextualisation et de généralisation d'une problématique, il sait jouer collectif et communiquer avec des non-mathématiciens. Il sait être autonome, créatif dans la manière de poser un problème. Il démontre une capacité à creuser son sillon théorique tout en explorant des domaines qui ne lui sont pas familiers. Il collabore avec les entreprises tout en restant soucieux de faire avancer la discipline. Il sait être à la fois rigoureux et à l'écoute. Il est engagé dans le monde social mais pose un regard critique sur l'usage des technologies, etc. Alors, oui, ces profils existent mais ils sont rares ! Ils sont eux aussi confrontés à des limites : taille de l'équipe, niveau de rémunération, temps nécessaire pour la montée en charge, outils, énergie, engagement, ... Parmi eux, quelques exceptions flairent l'air du temps pour booster une carrière (Voir extrait d'entretien page 101).

B. Le chef de projet des approches multi-maths

Les projets de ce type sont encore rares mais sont amenés potentiellement à se développer avec le développement des approches multi-maths ou des jumeaux numériques. Ce sont des constructions complexes qui nécessitent de la gestion d'équipe et du pilotage de programme : elles consistent à construire une vision d'ensemble, fédérer des personnes à partir de finalités centripètes. Elles requièrent de gérer les interdépendances, de zoomer sur des micro-détails tout en garantissant la cohérence de l'ensemble. Il faut orchestrer, anticiper, transmettre sa compréhension, pouvoir rebondir en cas d'échec. Ce type de projet donne à l'entreprise un point d'accès unique à la recherche tout en accédant à des disciplines et à des talents multiples. Garder le cap d'un tel projet sur la durée requiert une grande énergie, beaucoup de résistance et de la créativité. Ces projets nécessitent de trouver le point de charnière et les effets de levier qui

Le chercheur - petite PME



« Il faut trouver le chercheur qui a suffisamment d'aura pour mobiliser une équipe, capable de s'adresser à des différents niveaux hiérarchiques dans l'entreprise, pédagogue, etc..... J'arrive à en trouver, mais ce n'est pas le plus simple. Ils existent, mais ne sont pas nombreux. En fait, les chercheurs, individuellement, sont des petites PME, avec leur mode de fonctionnement propre. Certains restent, dans les collaborations, très très académiques. Ils ne veulent pas descendre au niveau de la contextualisation. D'autres sont intéressés mais ils sont sur-sollicités ! Du coup, ils n'ont pas faim. Un chercheur, à partir du moment où il a constitué son équipe de post-docs et de doctorants, un peu d'argent pour développer ses recherches, il développe son truc. Quand il commence à avoir une petite renommée, il n'arrive pas à développer plus. Ça tourne. Il ne peut pas prendre plus. Humainement, ce n'est pas possible. Il n'a pas les ressources.

Et puis, il y a des chercheurs qui sont très intéressés par le côté spin off ; arriver à boucler une recherche et la transformer en business. Cela étant, ce qui est compliqué, c'est le rôle qu'ils peuvent jouer dans ce business. Pour l'instant dans la législation, ils n'ont pas forcément l'autorisation de le faire, ce que je trouve dommage. Pour eux, ce serait une carotte. Ils n'ont quand même pas des salaires mirobolants par rapport aux salaires qui existent en data science. D'où, la difficulté de les garder... parce qu'il y a ça aussi dans le monde académique en ce moment ... qui est énorme !

Enfin, ils ont besoin de rester dans le giron du milieu académique qui leur donne accès à la science en train de se faire, à la connaissance, au réseau Et aussi, les collaborations avec les industries, au niveau académique, ne sont pas forcément hyper reconnues dans les parcours professionnels. Je me souviens quand j'étais en thèse, ça m'avait super choqué ! C'est une des raisons pour laquelle je m'étais dit « je vais en entreprise » - au moins les règles sont claires. »

Extrait d'entretien

vont permettre à l'ensemble de tenir. Ils constituent des opportunités de rapprocher, autour d'une problématique concrète, des collègues travaillant dans des domaines ne communiquant pas nativement ensemble. Les pilotes requiert de l'expérience et une appétence pour les défis collectifs. (Voir l'extrait d'entretien page 103).

C. Le chef de projet de plateformes d'open innovation

La communauté des mathématiciens en France développe des outils sur-mesure qu'on pourrait apparenter à **de la haute-couture**. Pourtant la technologie permet de construire des « **frameworks** » et de mutualiser des outils. Les plateformes permettent de traiter la problématique de la reproductibilité de la science. Elles nécessitent d'avoir un très bon niveau mathématique et d'être créatif dans le domaine informatique. Leur mise en place nécessite de l'endurance, une excellente compréhension de la culture numérique et la capacité à marcher sur une ligne de crête pour jongler avec des ressources humaines et financières à la marge du système institutionnel (Voir les extraits d'entretiens page 99).

D. Le créateur d'entreprise

Les différents cas de figure décrits plus haut montrent le niveau d'intrication du travail mathématique au contexte numérique et la nécessité de l'appréhender directement sur le terrain pour le travailler d'un point de vue théorique. Par ailleurs, ce qu'il est convenu d'appeler la déraisonnable puissance des mathématiques, couplée à la technologie numérique, inspire des idées d'expérimentation industrielle aux chercheurs. La question de la création de l'entreprise, la fameuse « start up », se pose naturellement dans parcours du chercheur.

i. Comment et pourquoi se pose la question ?

L'origine du questionnement s'inscrit, la plupart du temps, dans la droite ligne des travaux

de recherche. Pour un chercheur confronté aux limites de l'environnement technique du monde académique, la création de l'entreprise peut être considérée comme une option afin de « fabriquer » de toute pièce l'environnement de production numérique dans lequel les travaux théoriques pourront être réalisés. Nous avons vu dans la Partie 2 du rapport, « La donnée et la rencontre avec les 'jolies maths' », que ce type de travail implique d'intervenir sur toute la chaîne de la captation de la donnée d'origine jusqu'à la donnée produite par les algorithmes comme moyen de valider les hypothèses de la question mathématique. Ce processus implique de mener les travaux de façon intensive et dans des conditions réelles de production industrielle. Il exige par conséquent d'atteindre le même niveau d'excellence opérationnelle.

Nous avons rencontré une équipe de chercheurs qui a choisi de se lancer dans l'aventure car la création d'entreprise apparaissait comme le meilleur – et le seul - moyen de financer des thèses dans son domaine. On ne crée pas une entreprise pour effectuer des travaux de recherche... et pourtant ! Ces projets placent le chercheur face à un dilemme. Les travaux reposent sur l'accès aux données et à des données conçues spécifiquement dans la perspective de la recherche initiée. La démarche est audacieuse et scabreuse : créer une entreprise exige un investissement qui va au-delà des projets de recherche. Il faut pouvoir garantir son développement et sa viabilité financière. Il faut embaucher des profils variés allant des personnes capables de vendre à la personne capable de coder. C'est une aventure, une prise de risque. Le risque est d'autant plus élevé que le projet exige de quitter le milieu académique.

Or, maintenir le lien avec la science en train de se faire est aussi une composante essentielle du projet. Le chercheur doit rester en relation étroite avec la connaissance mathématique de haut niveau. L'investissement requis par le développement de l'entreprise l'éloignera d'un environnement propice aux

publications qui peut peser sur sa réputation personnelle. Un projet d'entreprise n'apparaîtra pas forcément dans la somme vérifiable des réalisations accomplies et créditées par la communauté. Face à ce dilemme, on trouve ici aussi plusieurs niveaux de réponse gradués. Certains choisissent de sauter le pas et de se consacrer entièrement au projet d'entreprise. D'autres sautent le pas pour un temps et choisissent de revenir dans le giron académique. D'autres enfin marchent sur une ligne de crête et choisissent de mener les deux en parallèle. Dans tous les cas, le choix n'est jamais simple. Toutes ces stratégies permettent de développer de précieuses compétences de contextualisation et de formulation d'une question mathématique.

ii. Vivre un dilemme

• Faire des allers – retours

Parmi les chercheurs qui sautent le pas, certains se passionnent pour le projet entrepreneurial et s'entourent progressivement de profils scientifiques pour se consacrer au développement de leur entreprise. Ou à l'inverse, ils choisissent des associés qui développent l'activité et se consacrent à la direction scientifique. D'autres choisissent de revenir au sein du monde académique pour boucler la boucle entre l'aspect le plus théorique de leurs travaux et les expérimentations applicatives. Avec leurs retours au sein du monde académique et leurs allers-retours entre le monde de l'entreprise et la science, le monde académique s'enrichit d'expériences et de compétences renouvelées.

• La carrière académique et un projet d'entreprise modeste en parallèle

Concilier les deux, c'est marcher sur la ligne de crête. La seconde stratégie, coûteuse en temps et en énergie, mais peu risquée, consiste à faire les deux : rester dans le monde académique et créer une entreprise scientifiquement ambitieuse mais économiquement modeste.

Chaque chercheur apparaît comme l'entrepreneur de ses propres travaux de recherche : sujet, méthodologie, réseau, financements, partenaires, Tous ces chercheurs du type « mouton à 5 pattes », sont recherchés par les entreprises qui reconnaissent la valeur de leur contribution. En revanche, ce profil peut, en partie, passer sous les radars de la reconnaissance au sein du monde académique français qui, du point de vue institutionnel, valorise moins ces compétences. Sur les plans de la reconnaissance et du besoin de maintenir conjointement les liens avec la donnée et la connaissance, des progrès peuvent encore être imaginés et réalisés. La loi Pacte va dans ce sens. Il semble qu'une grande souplesse et le pari de la confiance doivent présider à la philosophie des dispositifs pour faciliter l'éclosion de projets ambitieux, ou audacieux.

« Au début on a vendu des choses qu'on ne savait absolument pas faire et qu'on devait réaliser en 3 jours. On a joué le jeu. On ne risque rien de toute façon. Je trouvais ça amusant. Au début, on en a bavé. On est super réactifs. On peut installer en quelques heures des capteurs, faire des analyses en quelques heures et les mettre à disposition sur une application web. Pourtant, on ne décolle pas. On est là depuis 3 ans déjà. On ne décolle pas, mais on s'amuse bien.»

Extrait d'entretien

■ Thème évoqué dans la première partie, page 7 et page 12

Chapitre 2 – La palette des voies médianes, individuelles et institutionnelles

Entre les deux positions extrêmes présentées plus haut en matière de collaboration Mathématiques – Entreprises, la communauté met en œuvre une palette de réponses graduées, qui se répartissent

entre stratégies individuelles et stratégies institutionnelles. Toutes peuvent se superposer. Elles ne sont pas exclusives.

Les stratégies individuelles

La construction des passerelles s'appuie sur les mécanismes de « La différence, la concurrence et la disproportion » liées à la sociologie du travail créateur analysée par Pierre Michel Menger [\[1\]](#). La concurrence constitue un ressort de la professionnalisation. La réputation personnelle est fondée sur la somme vérifiable des réalisations accomplies et créditées et sur ce qu'elles promettent pour l'avenir. La réputation contient l'information qui garantit la transférabilité des compétences d'une organisation ou d'un projet collaboratif à l'autre. Le rôle fonctionnel de l'estime des pairs scelle l'influence de la communauté par-delà les murs de chaque organisation. Dans le contexte de l'économie numérique, l'originalité et la capacité à s'engager sur des voies nouvelles participent de cette réputation. Le fait que le travail soit enchâssé dans un réseau et des projets collectifs complique son évaluation. L'allongement de la liste des signatures d'une publication en est une illustration.

• Les liens interpersonnels

Toute une palette d'évènements ou d'actions informelles sont accessibles aux uns ou aux autres à partir du moment où l'on appartient à la communauté. Ce sont les membres et les sociétés savantes qui organisent les évènements. Cette ouverture n'exclut pas une forme d'entre-soi vis-à-vis de ceux qui n'appartiennent pas à la communauté.

« J'ai pris une claque en arrivant dans le milieu académique. J'ai découvert un environnement très hiérarchisé et très politique. Il ne faut pas bousculer les habitudes. Tu fais vite un impair. Il faut avancer doucement pour faire bouger les choses. Lorsqu'on vient de l'extérieur, tu es, pour eux, d'un autre monde. Tu n'es pas un collègue. Ils ne se

parlent qu'entre collègues. Il y a ceux qui vont intriguer contre toi et les quelques-uns avec qui tu peux dialoguer. Ils sont dans leur bulle. Ils ne font les choses que s'ils ont envie de les faire et les font à leur rythme. »

• Les conférences

Entre collègues et industriels, les conférences ou la participation à des évènements ponctuels organisés par le monde académique fournissent les occasions de rencontres : renouer ou entretenir les liens, établir de nouveaux contacts, font partie de la vie du mathématicien. A cet égard, la pandémie de Covid a eu des effets délétères, même si, comme pour tous les secteurs, les supports numériques ont largement pris le relais. Le Covid a cassé la dynamique de l'informel. Or, pour initier une rencontre, quelques mots improvisés à la pause ou à la fin d'une conférence suffisent souvent à établir un premier contact. On retrouve les mêmes types de socialisation dans le « Meet up ». D'autres formes d'interactions plus institutionnalisées existent.

• Les PAST, professeurs associés à temps partiel

Les PAST (professeurs associés en service temporaire) sont des postes universitaires, avec un tiers-temps de service d'enseignement (soit 64h équivalents TD par an), ouverts aux personnes qui travaillent en entreprise, et qu'elles cumulent avec leur fonction moyennant un arrangement avec l'employeur (qui passe parfois par une réduction à 80% du temps de travail en entreprise). Ne sont éligibles que les personnes actives en recherche, ayant déjà des publications à leur actif. Ces contrats sont de 3 ans, renouvelables 2 fois, soit une période pouvant aller jusqu'à 9 ans. Il est demandé aux professeurs de s'impliquer dans les relations entre maths et entreprises au sein du laboratoire de rattachement. Ils dispensent des cours sur des thématiques plus appliquées qui permettent d'expliquer aux étudiants ce que sont les collaborations re-

cherche. Ils aident à trouver des stages pour les étudiants de master. Ils constituent un vrai lien entre le monde académique et le monde économique. Coté académique, ils bénéficient d'un statut officiel et des avantages des postes d'enseignants-chercheurs (bureau, salaire, etc.). L'institution leur donne la reconnaissance financière et honorifique de la fonction. Le PAST est une solution individuelle. Ce n'est pas l'entreprise qui est représentée mais la personne et sa trajectoire : « Nous avons en ce moment un PAST qui travaille chez EDF. Le précédent travaillait chez Thalès. Où travaillera le suivant ? »

Les stratégies institutionnelles

La logique de sociologie fractale comment ciment de la communauté concerne également les organisations. Des initiatives comme les chaires, les instituts 3IA, fleurissent. Elles visent à créer des passerelles institutionnelles entre les organisations et à faciliter l'acculturation réciproque. Parmi ces stratégies, celle des GAFAMs apparaît comme particulièrement efficace. Elle contribue à modifier en profondeur les équilibres entre les acteurs.

- **Les chaires, une efficacité toute diplomatique**

Les chaires sont récentes. Elles sont en quelque sorte des collaborations maths-entreprises à l'échelle des organisations, mais elles portent sur des thématiques plus larges. On essaie d'agréger les forces, de rapprocher les noyaux durs sur un sujet spécifique ou pour un type d'acteurs industriels. Les entretiens n'évoquent que très peu la vie de ces chaires, mentionnant parfois qu'elles sont, certes, stimulantes pour les salariés des entreprises – une sorte de formation continue sur-mesure de bon niveau. Selon les chercheurs interrogés, elles ne débouchent que rarement sur des avancées concrètes et probantes, en particulier lorsqu'elles tentent de rassembler les acteurs stratégiques d'un secteur industriel. Les participants sont aussi des concurrents éco-

nomiques. La synergie n'est pas évidente à trouver.

- **Faire de la recherche en entreprise, ou pour un Gafam**

Faire un véritable parcours de recherche scientifique en entreprise n'est pas simple à garantir. Les deux écueils principaux qui sont rapportés sont une difficulté à construire une trajectoire professionnelle reconnue en entreprise en restant dans une perspective de « faire de la science » et la difficulté pour les entreprises de garantir un environnement propice à la « vraie » recherche. Un manque de reconnaissance professionnelle :

- « J'ai rapidement compris qu'en terme de carrière, continuer à faire de la recherche en entreprise après 5 ou 10 ans était considéré comme un échec. Encore une fois, c'est un choix personnel : on peut l'assumer et considérer qu'on se fout du regard des autres etc... mais c'est quand même particulier d'être dans une entreprise où l'on se sent considéré comme un loser ; le pauvre malheureux qui fait encore de la technique, c'est-à-dire de la science. D'autant qu'en termes de salaire, c'était aussi très net. J'ai donc choisi d'entrer dans un labo de maths appliquées à Paris. »
- Une qualité de l'environnement inadapté aux conditions nécessaires à la recherche : « Je voyais bien que les ingénieurs de recherche avec lesquels je travaillais, à l'époque, n'avaient pas une liberté totale. Ils avaient pas mal de pression. Je n'ai rien contre la pression mais force est de constater qu'elle les gênait pour faire de la science approfondie ; ce n'étaient donc pas des chercheurs. »

En réponse à ces difficultés les GAFAMs ont imaginé un modèle redoutable d'efficacité ! Il démontre au contraire qu'il alimente à la fois

la recherche scientifique et l'innovation technologique dans une forme de réciprocité (d'aucuns diront de « domination »). L'existence de leurs laboratoires n'est pas neutre sur le fonctionnement du milieu académique pour la discipline. Ces laboratoires exercent une force d'attraction / répulsion auprès des chercheurs français qu'ils convoitent. Au-delà de rapports parfois passionnels et toujours critiques, la compréhension de leur mode d'interaction permet de comprendre les ressorts sous-jacents des enjeux des uns et des autres.

« X [une GAFAM] a ouvert un centre de recherche ici, qui est essentiellement un centre de recherche académique. En tant que chercheur, j'ai la liberté de choisir ce que je fais. Une fois qu'on est recruté, on fait ce qu'on veut. Je continue à faire ce que je faisais auparavant. Je travaille sur des applications dans le domaine de la génétique.. »

Extrait d'entretien

Le modèle de la recherche des GAFAMs, contrairement à celui des autres grandes entreprises, a la particularité de ne pas se mettre en orbite du soleil académique. Il se positionne comme une autre étoile dans la galaxie. Les GAFAMs ont réussi à développer des centres de recherche qui n'ont rien à envier aux laboratoires académiques : ils fonctionnent, plus ou moins, sur le même modèle. Étant donné la puissance financière qu'on connaît à ces entreprises, leurs centres de recherche sont à bien des égards des concurrents du monde académique. Le modèle du « Bell Labs », fameux laboratoire qui a réussi à obtenir 7 prix Nobel, inspire ces entreprises. L'environnement est propice à la recherche : infrastructures techniques, investissements, projets, liberté, stimulation, et maintien d'un lien avec le monde académique d'origine. Une philosophie et un environnement protecteur que le management parvient à intégrer pleinement dans la stratégie du business et à faire accepter aux équipes opérationnelles de l'entreprise. La qualité de la recherche des GAFAMs est reconnue par le milieu académique

qui les observe avec un mélange d'amertume, de crainte, d'admiration et de convoitise. Au-delà de ces premiers constats, il est fécond de se pencher sur la compréhension du modèle original qui permet au GAFAMs d'avancer sur ces deux jambes - académique et business - à travers le rôle de plaque tournante qu'ils ont su inventer, en écho à la communauté scientifique académique.

Ces laboratoires mélangent approche académique classique et traitement de la donnée, avec l'immense privilège de pouvoir mettre des environnements de données réelles à la disposition des chercheurs. Toutefois, la culture des GAFAMs demeure plus proche de la discipline informatique que de la discipline mathématique. La création de leurs laboratoires de recherche sur le sol français démontre la volonté de chasser sur les terres des mathématiques. Ils recrutent au cœur du monde académique. Leur intérêt stratégique à long terme n'est pas de tarir la source de ressources – rares. Les talents sont rares et ont besoin de former. Ils encouragent leurs chercheurs à maintenir les liens avec le monde académique. Également, ils ne débauchent pas tous les meilleurs chercheurs académiques, afin que la source se renouvelle. Cynisme ou écologie ? Chacun peut regarder les deux faces de la question. Cet intérêt vif des GAFAMs pour le milieu académique français démontre la qualité de ce dernier. Malgré une asymétrie réelle de moyens et de pouvoirs, cette présence peut être considérée comme du poil à gratter : il stimule les équipes et diversifie les choix de trajectoires possibles.

L'efficacité du 'liant' technologique

Comme nous l'avons vu page 71 (Le soft power), les GAFAMs ont su s'appuyer sur la technologie et inventer des doctrines d'« open innovation » qui leur confèrent un soft power stratégique sur l'ensemble de la communauté. Leur philosophie collaborative est attractive. Les outils sont efficaces et accessibles. La mise à disposition des chercheurs de briques technologiques et d'environnement de don-

nées permet d'initier des travaux de recherche et facilite la construction de liens forts entre les deux sources : données et connaissances.



All images in this story created by Scriberia for The Turing Way community and used under a CC-BY licence.

Elle permet aussi de répondre aux exigences de reproductibilité de la science, ce qui dans l'environnement numérique de la donnée réelle, et privée, peut relever d'une gageure. En Grande Bretagne, des instituts comme The Alan Turing Institute se penchent sur ces questions. Ils réfléchissent à la mise en œuvre d'environnements accessibles aux chercheurs. Ils ne craignent pas de s'afficher comme des hubs à la croisée des chemins, travaillant à la frange de la science et de la technologie.

Ce type de positionnement hybride reste délicat à ancrer dans la culture française. Les instituts 3IA sont des tentatives pour travailler en ce sens. Mais les initiatives qui existent sont insuffisamment reconnues et mises en valeur. Une mécompréhension de la philosophie portée par ces projets freine leur développement. Ces pôles d'ingénierie soutiennent l'efficacité des projets académiques. Mais ils soulèvent une série de questions institutionnelles relatives aux modes de financement, aux contrats de travail des ingénieurs, à la valorisation économique des outils. Par exemple, les ingénieurs sont financés par projet. Les financements sont alternativement publics ou privés, imposant des ruptures contractuelles alors que les développements des plateformes ont besoin de s'inscrire dans une continuité. Des chercheurs confrontés à ces enjeux ont des propositions concrètes pour sédimer la communauté avec des outils technologiques.

Ce défi mériterait la mise en œuvre d'un groupe de travail intégrant les responsables – disons les pilotes-intercesseur – de ces programmes, nés spontanément du terrain. Ils proposent des leviers pour fédérer la communauté et répondent à des enjeux scientifiques. Des solutions en termes de communication, de financement, d'organisation, de recrutements pourraient être discutées afin de les soutenir. Leur variété est née de l'intelligence, de la construction d'une vision et d'une compréhension fine des enjeux, et d'un souci de pragmatisme de la part de chercheurs confrontés à la réalité terrain de la recherche. Ce faisant, les enjeux sont aussi d'ordre culturel. Derrière ces questions se posent celle de savoir comment intégrer la culture numérique dans le fonctionnement institutionnel en dehors de concepts-tout-terrain tel que celui de « start up nation ». De ce point de vue, la technologie pose une série de questions concrètes à la science et aux institutions. Pour ces dernières, les réponses rompent avec leur logique intrinsèque. En matière de collaboration, le mathématicien doit jongler entre ces cultures, faire des choix, tout en garantissant une cohérence au travail réel.

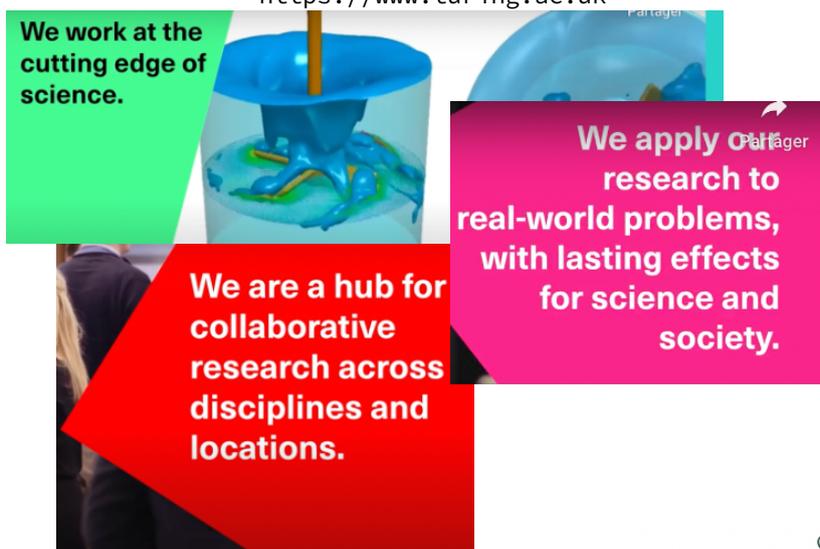
En conclusion, en matière de collaboration de recherche, ce sont les planètes socio-économiques qui gravitent autour du milieu académique. Pour diffuser les mathématiques innovantes au sein des entreprises, il faut pouvoir rester en orbite, plus ou moins proche du soleil. Quelles sont les différentes stratégies pour activer cette sociologie fractale de la communauté autour des entreprises ? Les réponses apportées par celle-ci sont de quatre types : les stratégies de réputation individuelle, les projets collaboratifs de recherche, les stratégies de création de passerelles et d'interfaces institutionnelles entre les organisations, la stratégie des GAFAM pour démultiplier et faciliter l'accès aux outils techno-scientifiques. Dans cette logique de sociologie fractale, les chercheurs recréent des sous-systèmes solaires au sein de la Communauté, « leur » communauté dans la communauté, en per-

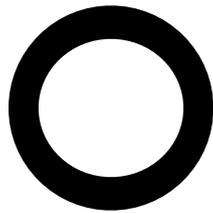
manente reconfiguration. Le chercheur s'entrepren. Il utilise une palette de ressources graduées sur les axes de stratégie individuelle versus collective, et de stratégies informelles versus institutionnelles. Nous nous attachons à analyser les projets collaboratifs, les stratégies individuelles et les stratégies mises en œuvre par les organisations [2].

[1] Pierre-Michel Menger, leçon inaugurale au Collège de France, chaire de sociologie Le travail créateur.

[2] Mot-valise d'origine anglo-saxonne réunissant les mots "cooperation" (coopération) et "compétition" (concurrence). La 'coopétition' désigne donc une démarche qui vise à coopérer à plus ou moins long terme avec des acteurs de la concurrence

Les illustrations ci-dessous viennent du site du Alan Turing Institute
<https://www.turing.ac.uk>







« N'avez-vous jamais été tenté de monter une entreprise ?

Oui, bien sûr. C'est un rêve. On a même été incubé. C'était encore trop abstrait. Aujourd'hui, le client est clair. On a tout ce qu'il faut. Donc, oui, la tentation est là ! On n'a pas encore franchi le pas.

Est-ce que le fait d'avoir un pied dans la recherche et un pied dans l'entreprise favorise l'éclosion de ce type de projet ?

Malheureusement, en France, les chercheurs sont dans un carcan. On présuppose que vous allez tromper le système, [et on vous demande] de vous mettre en disponibilité. En gros, on ne vous fait pas confiance. Ça me paraît ridicule de devoir choisir entre créer sa boîte et rester dans le monde académique. Dans la loi PACTE, certaines choses vont dans le sens de plus de confiance vis-à-vis des chercheurs.

J'aimerais pouvoir créer une entreprise et garder des liens avec ma structure de recherche pour faire des transferts réguliers dans les domaines associés à l'entreprise afin de rester au top. »

Extrait d'entretien

Cosmetic or nor cosmetic, that is the question

« L'effervescence touche surtout les petites entreprises. Ce monde est très différent du monde des grandes entreprises. On vit sans faux semblant. Si on signe un contrat, on embauche, même avec une visibilité à 2 ou 3 mois. Pour ces entreprises, inutile de parler d'intelligence artificielle si l'outil n'apporte rien.

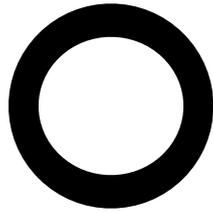
Dans les grandes entreprises au contraire, il peut y avoir un effet de mode et des pratiques cosmétiques : ils ne risquent rien à se faire plaisir. Dans ces grands groupes, leur état d'esprit est quasiment celui de fonctionnaires.»

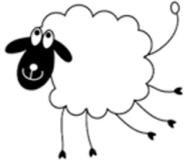
Extrait d'entretien

« Beaucoup d'entreprises seront frustrées à la fin d'une chaire. Elles n'en retireront rien en fait.

Ça permet à leurs employés de travailler avec des scientifiques. Ils font de la veille scientifique... Au final, ça ne coûte pas très cher. C'est une sorte de mécénat. Ça c'est sympa. Les entreprises aimeraient pouvoir utiliser les publications et les mettre en œuvre dans leurs activités. Mais, le transfert techno derrière, on le fait comment ? ... Il n'y a pas tellement d'outils. C'est un vrai sujet. »

Extrait d'entretien





Le pilote-intercesseur

Extrait d'entretien

Comment s'organisait le travail collectif de vos travaux de recherche ?

1 - Accélération, masse critique et dynamique collective

De ce point de vue-là, il y a une question de masse critique. Pour explorer des idées nouvelles qui touchent des applications concrètes, il y a une grosse dose de travail de recherche à mettre en œuvre rapidement car les applications en vision artificielle ne durent pas éternellement. Il faut réagir dans des temps courts pour, simplement, faire partie d'une communauté. Ils travaillent à une vitesse qui n'est pas la même que celle qu'on peut avoir en travaillant sur le théorème de Fermat. 7 ans pour résoudre le théorème de Fermat, ce n'est pas long. Mais dans le domaine où les avancées semblaient être faites par des computers scientists, il y avait une question de vitesse à trouver dans un domaine - où il n'est pas si important de trouver des théorèmes mais plutôt de montrer comment on implémente de bonnes conjectures ou des théorèmes presque prouvés pour obtenir des résultats tangibles. Une façon de répondre à cette question de dynamique accélérée est d'avoir une équipe qui l'aborde simultanément sous différents aspects. C'est d'ailleurs pour cela qu'il y a toujours eu des équipes en physique. Pour les computers scientists, les grosses équipes sont presque inévitables. Il est important de travailler en groupe. J'étais donc confronté à cette question d'avancer vite sur différents aspects du sujet. Il y avait un certain nombre de questions qui émergeaient dans ma tête mais je ne pouvais pas travailler sur toutes celles-là en même temps.

2- L'aspect 'computationnel' : traduction et pluridisciplinarité

Il y a un autre aspect important, c'est l'aspect 'computationnel'. Pour arriver à implémenter des algorithmes nouveaux et les tester sur des cas concrets, le travail de codage représente une autre grosse tâche du travail. Pour comprendre les algorithmes mathématiquement, l'informaticien doit savoir travailler avec des mathématiciens. Il faut savoir coder efficacement. Ce n'est pas le même genre de code que pour bâtir un environnement informatique. Cette double compétence est nécessaire pour travailler.

3- Taille des équipes et travail de coordination

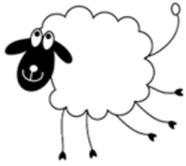
J'ai travaillé avec des groupes qui comptaient entre 8 et 10 personnes. C'est beaucoup plus que pour des mathématiciens purs qui, souvent, travaillent avec des équipes de 2 ou 3 personnes lorsqu'il s'agit de faire des avancées théoriques fortes. Et généralement, ils ne sont pas coordonnés mais se rencontrent sur des problématiques communes. Dans mon domaine, il y a des questions très concrètes à partager qui vont jusqu'à l'échange de code. Est-ce possible de le partager entre plu-

sieurs chercheurs ? Cette question pose des problèmes très pragmatiques et difficiles à résoudre en pratique. [redacted]

5- Vivier de talents et de curiosité pour avancer dans des domaines mixtes [redacted]

Je favorisais les profils qui démontraient des capacités à avancer dans des domaines mixtes. Ces profils multi-spécialités sont capables de naviguer dans des domaines différents des mathématiques. Pour comprendre cette manière de travailler, il faut partir de ce qui se passe du point de vue de celui qui dirige les équipes: on a pas mal d'idées, on a des conjectures. J'avais simultanément plusieurs approches possibles. Il fallait faire le tri assez vite et voir s'il y avait des réponses. Opérer ce tri nécessitait d'avoir plusieurs personnes qui travaillent sur des thèmes et les coordonner : « les coordonner » au sens intellectuel du terme. Ce n'est pas la coordination industrielle. Là, c'est différent. Il s'agit de trouver des réponses à des questions qui se précipitent, interfèrent les unes sur les autres, génèrent d'autres questions, quand toute cette activité se passe dans une seule tête. Il faut pouvoir trouver les réponses à ces questions en même temps, explorer les solutions en parallèle, explorer les erreurs. Il faut pouvoir avancer en groupe. Le chemin n'est absolument pas clair. Il faut éliminer des voies qui ne fonctionnent pas. Vous avez ce lot de questions ouvertes... Ce travail n'est pas démocratique. (...)

Ce travail de détection se passe toujours au cours de développements qui paraissent désordonnés. Ce n'est pas bien structuré. Au contraire, la richesse de travail de découverte est d'être dans une situation où il y a une structure souple, adaptative et vivante. Le fait qu'il y ait une personne au centre, ça aide à maintenir une cohérence, mais une cohérence comme dans la vie, dynamique. Ce qui aide pour être performant est de savoir changer de cap très vite. Il faut savoir reconnaître très vite qu'on n'est pas sur une bonne voie. Il faut savoir tuer très vite la bonne idée pour la remplacer par une autre bonne idée qui est meilleure. Cela demande une grande attention aux détails, mais elle ne peut pas se dicter. Cela marche avec des personnes qui ont une dynamique personnelle. [redacted]



Les promoteurs du « liant » technologique

Extraits de deux entretiens

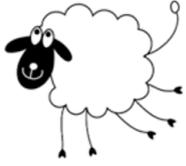
1. On ne faisait pas seulement des mathématiques. On allait au-delà. On poussait l'idée jusqu'à construire les standards permettant de les appliquer d'un contexte à l'autre sans réinventer la roue. Nous avons besoin d'aller vers ça en France. Aux US, c'est ce qui a permis de faire émerger des outils sortis de nulle part, devenus depuis des standards au niveau mondial. **Nous avons besoin, en France, de miser sur des idées originales et d'y mettre des moyens conséquents.**

Nous avons travaillé avec de très grands laboratoires pour tester notre petit outil. J'étais heureux dans cet environnement-là. C'était jubilatoire : travailler avec des personnes fortes en mathématique, certes, mais surtout tellement créatives dans le domaine de l'informatique ! C'est une vraie culture de ce point de vue-là...

Ce moment a été décisif dans ma trajectoire. J'ai créé un framework de calcul pour la résolution d'EDP non linéaires, en open source. Initialement, nous l'avons développé pour partager le code des projets de recherche de doctorants avec l'ensemble de la communauté. **La plupart du temps les codes sont jetés à la poubelle.** Ne reste d'une thèse que la contribution mathématique, la démonstration du raisonnement, couchée sur le papier. Conserver le code est compliqué, mais il y avait un potentiel de valorisation. J'ai créé un environnement, une plateforme permettant au chercheur d'intégrer des outils. Bref, l'idée était de mutualiser les efforts et de capitaliser en construisant quelque chose de générique, robuste, traitant une grande variété de problèmes et s'interfaçant avec d'autres types d'applications.

Elle permet aussi d'adresser la problématique de la reproductibilité en science. Je trouve que c'est un problème fondamental. Être capable de reproduire des résultats, c'est ce qui est demandé de plus en plus - d'où la stratégie d'avoir un noyau mathématique libre et ouvert. On ne cache pas nos résultats, même si on protège nos données. Cette solution prend de l'ampleur. Pas toujours à la vitesse qu'on aimerait, mais clairement, on a grandi : nous avons des outils avancés qui permettent de traiter des problèmes complexes et de faire de la recherche de qualité. Notre la cible était les mathématiciens, mais l'outil est aussi utilisé par des physiciens, des informaticiens, des biologistes.

2. On ne va pas aimer mon idée ! Pour financer nos projets, nous aurions besoin d'une sorte de fongibilité entre fonds publics et fonds privés pour fournir aux ingénieurs une visibilité sur plusieurs années et leur offrir une sorte de CDI. Actuellement, on signe des contrats tous les 4 matins, soit parce qu'on a récupéré des fonds publics, soit parce qu'on a reçu des fonds privés. Si on pouvait décoller le contrat qu'on passe avec l'ingénieur de l'argent qu'on reçoit pour les projets, ce serait un gain formidable. Ça permettrait de développer des pools d'ingénieries.



La gestion des projets 'multi-maths': passionnante et éreintante

Extrait d'entretien

Actuellement, ces projets d'envergure sont souvent un mélange de simulation et de modélisation physique, et de traitement des données (analyses statistiques avancées). Le mélange de deux mondes qui caractérise les jumeaux numériques. Les constructions sont complexes. C'est déjà complexe dans chaque domaine. C'est d'autant plus complexe qu'on essaie de prendre le meilleur des deux pour répondre à une problématique. Tout le jeu est de voir comment les articuler de manière efficace, en faisant des maths par-dessus !

Comme orchestrez-vous ce type de projets ?

On fait du sur-mesure sur chaque projet. On monte une équipe. Là, on parle de project management : une feuille de route, étapes clés, points critiques, reporting, etc. Par exemple, le projet de xxx que j'ai évoqué est un projet de grosse envergure. On couvre à la fois des aspects d'informatique, d'ingénierie, différents types de mathématiques. On utilise tout un tas d'autres outils. Travailler comme ça n'est pas dans la culture de la recherche. Ça nécessite de l'expérience, une vision d'ensemble, une forte capacité à mobiliser des équipes, de l'endurance. Il faut discuter avec les uns et les autres, avoir une vision d'ensemble. J'aime cette dimension. Je vois les interconnexions. Parfois, on se rate parce qu'on n'a pas pensé à une problématique qui s'avèrera cruciale par la suite. La difficulté est de faire passer la vision d'ensemble aux membres de l'équipe et que chacun joue sa partie.

Ça peut être des étudiants, des ingénieurs, des collègues. Je travaille avec certaines personnes depuis très longtemps ; avec elles, ça va très vite. Avec les autres, ça peut être compliqué. L'image du chef d'orchestre est bonne. Il faut transmettre la compréhension de la partition et que chacun joue sa ligne. Cela nécessite de collaborer avec des personnes qui aiment travailler dans un groupe. Tous les chercheurs ne travaillent pas forcément comme ça. Il faut aussi garantir que les doctorants aient leur petit pré carré. Ils ont besoin d'avoir suffisamment de matière pour leur travail de thèse. Il faut trouver un équilibre entre pré-carré et effort collectif.

Ce type de projet donne à l'entreprise un point d'entrée unique à la recherche tout en accédant à des disciplines multiples. On n'a pas tous les jours des projets de ce type. Ça prend du temps d'arriver à un rythme de croisière. On fait beaucoup d'efforts pour que les gens montent en compétence. Le management de projet exige beaucoup d'énergie. C'est éreintant ! Après des projets comme ça, on a envie de revenir à un mode plus standard de travail.

Quels sont les bénéfices que vous observez dans cette méthode ?

C'est de pouvoir attaquer des choses ambitieuses, de découvrir des gens avec qui on n'aurait pas eu l'occasion de discuter parce qu'on n'avait pas les outils, la connaissance, le recul ... C'est ouvrir de nouvelles portes ! Et c'est passionnant.

Voilà une réponse : c'est passionnant et excitant !

CINQUIÈME PARTIE :

Les institutions,... et
moi, et moi, et moi ...



« La chose cependant qui me paraît essentielle pour la qualité de toute recherche, qu'elle soit intellectuelle ou autre, n'est aucunement question d'expérience. C'est l'exigence vis-à-vis de soi-même. L'exigence dont je veux parler est d'essence délicate, elle n'est pas de l'ordre d'une conformité scrupuleuse avec des normes quelles qu'elles soient, de rigueur ou autres. Elle consiste en une attention extrême à quelque chose de délicat à l'intérieur de nous-mêmes, qui échappe à toute norme ou à toute mesure..»

Alexandre Grothendieck, *Récoltes et semailles*, page 165

Nous avons vu que la notion d'interaction, qui suppose brassage et combinaisons, prenait une place conséquente dans le travail mathématique : sur le plan théorique en mettant en œuvre une dynamique de refondation et dégroupage - regroupage des sous-domaines académiques de la discipline, mais aussi à travers le dialogue que cette dernière entretient avec la société numérique. Cette tendance déplace le centre de gravité du travail vers ce qui était pour les mathématiques, sa périphérie, à savoir les statistiques, l'informatique, les applications. Elle modifie la relation que la discipline et les mathématiciens entretiennent avec le réel et leur environnement. Collaborer avec les entreprises amène les chercheurs à s'agencer entre les mondes sociaux, entre le réel et le théorique, entre l'abstraction et la donnée, entre le monde académique et le monde socio-économique. Ils endossent simultanément plusieurs rôles professionnels et identités sociales. Ils opèrent à la lisière de nouveaux territoires et incarnent la croisée des chemins des mutations à l'œuvre dans la société. Cette nouvelle posture exige de la malléabilité et une mobilisation subjective importante.

Technologie et organisations obéissent aux dynamiques d'interaction qu'elles entretiennent avec leur environnement. Par son ampleur, la révolution digitale s'inscrit dans les « technologies de l'être ensemble », qui changent les formes de pouvoir et de socialisation. Pour reprendre les termes de Régis Debray^[1], l'informatique fait partie des « mystères performatifs des signes ». La société numérique s'inscrit dans cette perspective historique des transitions successives du signe en acte. Elle succède à la société industrielle qui cultivait une organisation pyramidale, centralisée, multipolaire. Elle s'appuie sur le malléable et le ductile^[2]. L'organisation sans organigramme trouve sa place dans un air du temps qui remplace le gouvernement par la gouvernance, l'institution par l'association, la loi par le contrat, le vertical par l'horizontal, pour répondre, ou tenter de répondre, à une multitude de problèmes parcellaires, qui organisent un milieu marqué par l'interdépendance et le co-développement. Les organisations tentent de répondre à ces contraintes en déployant des formes d'intelligibilité, de décentralisation, de différenciation dans leurs modes d'intervention. Renaud Sainsaulieu^[3] explique que le XXI^{ème} siècle se trouve confronté à un vrai problème pratique de changement des institutions dont il faut pouvoir repenser les modalités de légitimation, adaptées à un monde plus ouvert. Dominique Cardon^[4] souligne que la culture numérique déplace le centre de gravité des sociétés vers les individus et fait émerger une culture participative. Pierre Veltz évoque un monde communicationnel et un « dégroupage généralisé » pour évoquer le labyrinthe des parcours des biens entre la production et la consommation. Catherine Malabou évoque un anarchisme de fait où il n'y a plus grand chose à attendre d'en haut et un monde social condamné à une horizontalité d'abandon^[5].

Cette nouvelle donne invite les organisations à remettre en cause des croyances gestionnaires et à renouer avec des formes très primitives de coopération sociale. Cette difficulté pour le management s'ajoute aux enjeux posés par l'incertitude et le mouvement permanent. Les qualités individuelles de mobilité, d'adaptabilité à un environnement changeant très vite sont de plus en plus valorisées par rapport aux compétences professionnelles traditionnelles. L'analyse du travail créateur, celui de l'artiste ou du chercheur scientifique proposée par Pierre-Michel Menger, est particulièrement éclairante dans la mesure où les qualités de ce travail et les conditions dans lesquelles il s'exerce présentent, sous une forme exacerbée, toutes les caractéristiques d'insécurité et d'aléatoire des formes hautement individualisées du travail moderne. Le métier apparaît comme la figure ajustée aux contextes de travail plus complexes et comme affirmation répondant à des aspirations de réalisation de soi. La révolution digitale s'adosse aux sciences fondamentales. Elles participent au « devenir-monde des signes ». C'est en effet à partir des mathématiques que le numérique accède à l'opérativité des signes. Dans cette mutation, le mathématicien se trouve dans la double posture de « l'acteur-agi », et le mathématicien qui collabore avec les entreprises est au cœur de cette question.

Norbert Alter montre avec une grande justesse – qui sent le vécu – que cette force vitale, contrainte, puissante n'est pas alimentée par la rationalité, y compris celle des organisations – mais par des croyances et des traditions qui renouent avec un profond désir de « vivre-ensemble », le besoin de donner du sens à ses actions, le besoin de participer à une identité collective et sociale compatible avec celle du sujet. Cette intuition l'amène à se tourner vers l'ethnologie, et notamment vers Marcel Mauss, pour réintégrer dans l'univers contemporain, les fondements primitifs de l'analyse de la vie collective à travers la théorie du don

et du contre-don. Cette forme d'innovation ordinaire, force vitale des individus, représente une exigence et une ressource majeure pour les organisations. Elle repose sur une forme précieuse d'engagement et de créativité détenus par les acteurs. Or, elle n'est pas reconnue en tant que telle - formellement, ni en termes de fonction, ni en termes de rôle et de responsabilité. L'innovateur est partout et nulle part. Cette exclusion du monde formel provoque, avec le temps, l'usure de l'innovateur. Comment comprendre ce paradoxe ? Comment s'applique-t-il au monde des mathématiciens qui collaborent avec les entreprises ? Nous verrons dans cette partie la dialectique qui se met en œuvre dans les ressorts intimes du sujet, entre les actions individuelles, les normes collectives propres à la communauté et les formes d'organisation institutionnelles. Nous observerons comment ces situations, parfois ambiguës, construisent, avec le temps et dans un dialogue dyschronique entre forces vitales et formes instituées, un apprentissage collectif et une transformation, toujours incertaine, des normes en vigueur.

Chapitre 1 – Quand les collaborations questionnent les organisations

Mutations	Epoque des 30 glorieuses	Numérique 4.0	Impacts de la mutation
Dispositif technique	<ul style="list-style-type: none"> • Structuration par discipline et par domaine • Incitation à creuser son sillon 	<ul style="list-style-type: none"> • Couplage, hybridation. • Continuum entre maths applis et maths fondamentales • Diversification des approches méthodologiques • Axes théoriques transverses 	<ul style="list-style-type: none"> • Transformation du rapport au savoir • Valorisation de la créativité • Emergence d'un processus bottom up dans le travail d'abstraction
Nature des missions	<ul style="list-style-type: none"> • Recherche fondamentale • Service public • Applications dédiées aux grandes entreprises • Proximité avec les intérêts régaliens 	<ul style="list-style-type: none"> • Recherche polarisée entre les modèles étatique / GAFAM / start up • Diversification des besoins, dispersion des acteurs, polarisation des cultures (ETI, pouvoirs publics, GAFAM, 	<ul style="list-style-type: none"> • Accompagner la dispersion • Identités et rôles multiples • Importance des passeurs et de la communauté • Oeuvrer collectivement • Impact sociétal
Règles / organisation	<ul style="list-style-type: none"> • Institutions, verticalité • Autonomie, liberté • Parcours linéaires 	<ul style="list-style-type: none"> • Coordination, horizontalité • Individuation et multi-appartenance 	<ul style="list-style-type: none"> • Cohabitation de logiques antagoniques • Parcours non-linéaires • Rôles multi-casquettes
Critères d'évaluation	Publications	Réalisations / publications	<ul style="list-style-type: none"> • Contradictions à gérer entre le mode de reconnaissance professionnelle des institutions et la pertinence du travail réel
Identités culturelles	<ul style="list-style-type: none"> • Le sachant • Confidentialité • Entre l'anarchisme et la culture d'Etat • Nation / international 	<ul style="list-style-type: none"> • Le créatif • Partage / collaboratif • Entre l'engagement sociétal et l'entrepreneur 	<ul style="list-style-type: none"> • Distanciation vis-à-vis des organisations, • Travail à la frontière • Regard de l'étranger

Le tableau ci-dessus montre comment le passage de l'environnement de l'ère industrielle à l'ère numérique a transformé le métier de mathématicien et le rapport qu'il entretient avec les organisations, tant sur le plan des dispositifs techniques, que de la nature des missions, des modes d'organisation, des critères d'évaluation professionnels et des identités culturelles. La pression de l'environnement sur le monde académique s'est accrue alors qu'il est devenu plus difficile à contraindre sur un périmètre d'action détermi-

né. C'est là où le rôle des individus a pris le relais. La complexité caractérise l'environnement des entreprises – et donc des problématiques mathématiques posées au monde académique. La vitalité se mesure dorénavant à la capacité à trouver des solutions novatrices à une multitude de problèmes plutôt que d'appliquer des solutions ou des modes opératoires. Après la grande période du taylorisme et de la bureaucratie, la capacité d'initiative et la créativité des acteurs est à nouveau très sollicitée par les organisations. Alors qu'elles sont embarquées dans un mouvement permanent, les hommes constituent leur ressource la plus précieuse de créativité et d'adaptabilité. Mais, simultanément, la logique d'organisation demeure et perdure pour deux raisons. 1. Il est légitime qu'une organisation régule son activité, le programme, le contrôle et l'optimise. 2. Ces modes d'organisation ont été profondément marqués par les méthodes gestionnaires.

Pour développer sa capacité d'adaptation, l'organisation doit redonner sa juste place à l'homme pour le réinventer en tant qu'acteur, à chaque niveau, à chaque temps, pour laisser émerger sa richesse. L'acteur retrouve ainsi sa capacité créative et son autonomie. Cette exigence est vitale pour les entreprises comme pour les institutions. Elles en acceptent les finalités stratégiques et collectives mais elles résistent à accompagner les implications sociales et individuelles, notamment en matière de gestion des ressources humaines. Il en résulte, selon Norbert Alter, un grand tumulte organisationnel dans l'environnement, qui pèse lourd et use les ressources clés de l'innovation : la vitalité et la créativité des acteurs. Dans son analyse, il revendique une profonde critique des pratiques gestionnaires. Il démontre leurs ambivalences propres : – nous l'avons vu tout au long des parties précédentes de l'étude – la richesse des ressources humaines ne se décrète pas. Tenter de les « gérer » au sens managérial du terme correspond à une tentative désespérée de puiser dans cette ressource créative, sans considérer en retour la nécessité de la nourrir et de la protéger.

Comment tirer parti de cette ressource sans la tuer dans l'œuf ? L'analyse de Norbert Alter fait apparaître les contradictions, mais aussi la complémentarité dans laquelle se rencontrent les organisations et les innovations.

Revisiter les règles de l'art : le dialogue des « francs-tireurs » avec la norme

Du point de vue de la recherche, les chercheurs qui travaillent avec les entreprises en s'appuyant sur les données numériques revisitent, en partie, les règles de l'art, à la fois du travail mathématique et du mode opératoire des collaborations. Ne revenons pas sur ce point sauf à regarder en quoi la chose questionne la norme, ce qui pourra apparaître à certains comme excessif.

En reprenant la grille d'analyse de Norbert Alter, qui s'applique bien dans le cas qui nous intéresse, notons que l'acteur qui innove se révèle de lui-même, spontanément dans l'ombre. Beaucoup d'initiatives, d'expériences ou de bifurcations sont des initiatives individuelles qui engagent des micro-actions : au cours d'une thèse, choisir de passer de l'analyse à la statistique parce que les mesures de différences de l'image devaient pouvoir se faire aussi lorsqu'on change d'image de référence ; abandonner une thèse en géométrie-algébrique pour en commencer une sur les probabilités et le traitement de la donnée au cours d'une expérience aux Etats-Unis ; choisir de compléter sa formation de radiologue par une thèse en mathématique ; développer une plateforme en open innovation en jonglant au fil des ans avec des financements de projets pour rémunérer des ingénieurs de recherche ; revenir dans le monde académique après avoir travaillé en entreprises ; participer à des événements qui présentent des travaux de recherche avancée avec le souci de les rendre intelligibles à un public d'ingénieurs... Autant d'actes posés qui paraissent techniques, bien ordinaires et bien insignifiants pour invoquer des « francs-tireurs » de la norme sociale. Et pourtant !

Derrière ces exemples, on décèle des personnalités qui préfèrent obéir à la nécessité intérieure de « bien » faire leur travail quand bien même la pratique les éloigne, a priori, de ce qui serait attendu de leur part de manière plus superficielle : je commence un doctorat dans le domaine de l'analyse, et en avant – ou j'ai un directeur de thèse illustre qui m'accepte comme doctorant en géométrie-algébrique, la reine des disciplines mathématiques fondamentales, pourquoi irais-je saboter ce cadeau en m'orientant vers les probabilités

pour faire des applications à partir de données numériques ? Est-ce que je vulgarise mes travaux pour les ingénieurs par simple philanthropie ou bien parce que je veux pouvoir établir un dialogue avec eux, qui me fera éprouver le continuum entre maths pures et maths applis ? Nous avons vu dans les parties précédentes pourquoi ces acteurs bifurquent insensiblement à travers ces choix.

L'innovation se distingue de l'invention. Cette dernière représente une création. L'innovation, elle, constitue une vision qui se projette dans une combinaison nouvelle de ressources. Elle expérimente une conception différente des usages visant à transformer ceux qui répondent à la norme existante : j'utilise la donnée comme « feedback » pour valider ou invalider la formulation de mon problème et mes hypothèses de départ, ce faisant je cherche à accéder aux données, et donc aux entreprises, ou si les entreprises ne la produisent pas, à créer ma propre entreprise... Les implications de mon choix initial me conduisent progressivement à revisiter des aspects fondamentaux de ma pratique, de mon rôle, etc... Il y a une logique intrinsèque à cette orientation. L'objectif de ces acteurs n'est donc pas de transgresser la norme, au contraire. Norbert Alter insiste sur leur volonté de la faire progresser. Cette volonté ne repose pas sur un processus décisionnel rationnel, mais sur des croyances fortes et sur l'acceptation du coût de la transgression : reprendre une thèse au point zéro, désapprendre un domaine pour un autre, faire l'effort de traduire à des acteurs qui n'y comprennent pas grand-chose, m'associer à des collègues dont je ne maîtrise pas le langage, passer mon « HDR » dans un organisme moins reconnu que le mien pour exercer une pratique moins prestigieuse des mathématiques qui se combine à l'informatique, privilégier les environnements qui me permettent d'expérimenter mes travaux dans la réalité plutôt que de publier des articles qui viendront assoir ma reconnaissance professionnelle, ... Le succès de son expérimentation, celui de la constitution d'un réseau cohérent de pratique et de diffusion des travaux, puis son éventuel passage vers les pratiques instituées sont caractérisés par l'incertitude. Avant de produire de nouvelles normes, ces acteurs savent composer avec les institutions en instaurant un dialogue avec les normes existantes. Ces chercheurs ont une capacité à prendre des distances : distances avec le terrain d'application, avec leur domaine de recherche, avec les normes des organisations. **Ils font l'apprentissage de l'écart.**

Question de hiérarchie symbolique



Lui : ...question intéressante.,
 M est polytechnicien et mathématicien. Il consacre son activité de recherche à l'informatique, ce qui pose un problème au moment de passer son HDR : le jury ne reconnaît pas cette activité comme une activité de recherche en mathématique. Par conséquent, il passe à l'INRIA. Ses collègues du CNRS lui disent « qu'est-ce que tu vas faire là-bas à l'INRIA ? ». Idem, selon lui, pour les statisticiens qui ne sont pas considérés par les mathématiciens comme de vrais mathématiciens. « Parce que l'IA s'appuie sur l'informatique et la statistique, elle a longtemps été mal considérée. »

Notes d'entretien

Nous avons intitulé cette étude « Le travail mathématique à l'épreuve des collaborations avec les entreprises », titre anti-sexy par excellence diront certains. « L'épreuve » n'inspire pas, en général, les rêves les plus fous - bien qu'elle puisse, pour un mathématicien de haut vol, s'apparenter à « la promesse de l'aube ». Le choix de la sémantique souligne l'idée d'une « confrontation ». En l'occurrence, le travail mathématique ne se confronte pas seulement au réel des applications mais aussi largement aux normes qui régissent les organisations dans lesquelles il opère – autant au sein des entreprises qu'au sein du monde institutionnel. Pour illustrer ce qui anime et motive l'innovateur, Norbert Alter reprend l'exemple des musiciens de jazz analysés par Howard Becker. Ce musicien, qualifié de franc-tireur, travaille surtout à son œuvre et moins que d'autres au rapport entre son travail et l'accueil qui en est fait par son milieu. Ce qui compte pour lui, c'est la possibilité de réaliser sa tâche selon la conception qu'il se fait du « bien ». Il ne souhaite pas participer à une production répondant à la conception du « bien comme il faut ». A y regarder de plus près, ces artistes ne transgressent les conventions du monde de l'art que sur certains points. Ils respectent profondément la plupart d'entre elles. Leur démarche créative pourrait se rapprocher d'une volonté de dialogue avec la norme comme un désir de transmettre un héritage revivifié. Ces « francs-tireurs » sortent des conventions, mais ils disposent d'une culture musicale classique. C'est au nom d'un

classicisme incorporé qu'ils revisitent les conventions. Mais ceux qui défendent l'état de l'art sont souvent ceux qui détiennent les sources de pouvoir. Ils ont des moyens, plus ou moins légitimes, de maintenir les francs-tireurs dans une position marginale et peuvent faire peser sur eux un risque de sanction sociale.



J'ai découvert un environnement très hiérarchisé, et très politique. Il ne faut pas bousculer les habitudes. Tu fais vite un impair. Il faut avancer doucement pour faire évoluer les choses. »

Extrait d'entretien

Et pourtant, cette innovation est reconnue comme l'enjeu majeur de l'organisation. C'est bien là que se loge le paradoxe. En effet, jusqu'au succès final éventuel des processus d'innovation, l'organisation et l'innovateur vont se « piéger » l'un l'autre ; parce que l'un transgresse les normes définies par l'autre, et parce que l'autre lui fait peser un risque de sanction personnelle sur une action risquée qui engage l'organisation. L'organisation doit-elle tolérer la transgression de ses normes au sein de ses propres équipes ? Quelle régulation de contrôle légitime doit-elle élaborer à partir de ce postulat ? Quant à l'innovateur qui innove dans l'intérêt de son organisation, doit-il accepter le risque personnel de sanction de la transgression ? Ce mouvement peut être considéré comme fonctionnel du point de vue de l'organisation. Du point de vue plus étroit de l'analyse des innovateurs, il n'en va pas de même. Ils sont condamnés à la déviance, au moins le temps que les règles reconnaissent la légitimité de leurs comportements. De par son rapport critique aux pratiques établies, l'innovation provoque une mise en mouvement de l'organisation lui permettant d'imaginer des modes opératoires qui donnent sens à l'incertitude. Ce faisant, elle redonne sens à l'action collective. La force de ce paradoxe apporte un regard nouveau sur ce qui se joue dans les organisations : l'innovation s'appuie sur la déviance qu'elle impose, de fait, à ses acteurs, pour lui redonner vie. Ces actions sont banales car quotidiennes, permanentes, réitérés par des actes a priori anodins.

La plus grande spécificité de l'innovation dans les organisations consiste dans la volonté des directions d'élaborer elles-mêmes leurs propres innovations organisationnelles et d'en programmer la diffusion. Ces tentatives détruisent parfois les usages existants sans les remplacer par de nouveaux. Norbert Alter les désigne comme des « inventions dogmatiques ». Pour qu'une innovation ait une chance de s'enraciner, de prendre corps et de donner du sens, elle ne peut qu'émerger d'une vacuité de la norme. Ce vide représente l'espace de liberté et de créativité nécessaire à l'appropriation de pratiques nouvelles et à l'élaboration de sens dans des contextes mouvants. Nous avons vu le foisonnement d'initiatives individuelles et collectives que suscitent ces collaborations avec les entreprises et le travail mathématique en interaction avec le monde numérique. Elles s'enracinent dans une compréhension profonde et une appréhension très fine par les acteurs, les chercheurs et leurs interlocuteurs en entreprise, des situations de terrain, des connaissances et des modes opératoires à mobiliser pour tenter d'y répondre. Nous avons vu le niveau d'engagement personnel et collectif nécessaires pour se mobiliser dans une action collective efficiente et de qualité malgré l'absence de réponses standards à apporter à la multiplicité des besoins. C'est à travers une règle incomplète que les acteurs vont élaborer des réponses appropriées aux contraintes subtiles du travail réel.

L'organisation est ainsi confrontée à un second paradoxe : organiser l'innovation au sein de sa structure, sans pouvoir ni la programmer, ni la contrôler selon les règles les méthodes de gestion actives et volontaires classiques, sous peine de l'anéantir. La marge d'action de l'organisation en la matière existe toutefois en pratique, à différents stades :

- La tolérance et l'incitation involontaire de ses ressources humaines à innover à travers l'imperfection ou le caractère non rationnel des dispositifs ;
- La reconnaissance, la valorisation, et l'institutionnalisation progressives des pratiques innovantes pour les transformer en nouvelles normes.

Cette réalité est d'autant plus difficile à assimiler par les directions qu'elle contredit les croyances répandues qui animent les acteurs du « management » : exigences et légitimité des décisions verticales et descendantes, quitte à adopter des solutions « à la mode » ou des solutions bonnes « à tout faire ».

« Mais, il faut que ça reste une envie. Certains n'ont pas envie. L'effort – qui peut être lourd – de traduction d'un langage à l'autre ne les motive pas. D'autres n'aiment pas communiquer. Ils ont besoin, pour travailler, de s'abstraire du monde. »

Extrait d'entretien

Le monde académique, à ce titre, représente un cas spécifique original car la liberté du chercheur représente l'un des fondements, presque sacrés, de l'organisation. L'institution garantit une bien réelle et nécessaire liberté aux acteurs dans le choix et l'exercice quotidien de leurs travaux. Ce monde qui respecte et institue la liberté des acteurs est en même temps une organisation hiérarchisée, verticale et sensible aux jeux politiques. Pour garantir une exigence intellectuelle, elle structure légitimement ses disciplines en silos. C'est là où le jeu vis-à-vis des normes intervient aujourd'hui. Car pour s'exercer dans un monde numérique, le travail mathématique a besoin d'ouverture et d'hybridation. Il est complexe pour l'organisation de maintenir le niveau l'excellence de chacun des silos en l'ouvrant, sans le noyer, dans un gros « gloubi-boulga » - ce dessert imaginaire très nourrissant, composé de chocolat râpé, de bananes écrasées et de confiture de fraises avec de la moutarde et de la saucisse de Toulouse, cette dernière devant être « tiède mais crue » ... C'est une subtile question : trouver la maille. Il faut trouver le bon niveau de maille. Et l'observation montre que la bonne maille se construit, sur le terrain, aux niveaux des acteurs – de façon spécifique et jamais uniforme. Par conséquent, la question de la confiance, de l'espace vide autorisant l'expérimentation d'une approche, sa reconnaissance, son soutien, y compris en cas d'échec, des moyens alloués, et de la valorisation professionnelle de cette prise de risque est essentielle. Les **trois verbatim ci-dessous** montrent la complexité des défis à relever pour trouver un juste équilibre et un dosage acceptable à l'échelle institutionnelle.

« Le lien entre informatique et mathématique est très fort évidemment, mais il est sein que les disciplines restent distinctes. Au niveau administratif et RH, la gestion doit être maintenue distincte. Pour les évaluations, il faut que les champs restent séparés. Ça n'empêche pas de créer des instituts ou des équipes mixtes pour travailler sur des sujets spécifiques. »

Extrait d'entretien

« L'autre difficulté du fonctionnement de l'Institut réside dans le fait que nous n'avons pas de locaux. Le budget alloué à l'institut est de 20 M d'Euros. Il en aurait fallu 100 de plus pour construire un bâtiment. Ce n'est pas possible. Mais il est difficile d'impulser une dynamique d'équipe lorsqu'il n'existe pas de lieu pour se réunir et travailler ensemble. Ce sujet du lieu est d'ailleurs souvent un problème car en IA on a besoin de se regrouper de manière interdisciplinaire, math, informatique et sciences humaines, ou biologie. On ne travaille pas tous au sein du même labo. La question de savoir comment, quand et où on se retrouve est importante. »

Extrait d'entretien

« Travailler sur des sujets vierges peut être risqué. Exemple de Laurent Laforgue qui a reçu la médaille Fields en 2002 pour avoir démontré une partie des conjectures de Langlands. Il ne publiait peu. Il a réussi à démontrer ses conjectures. Il a eu une intuition très forte, mais une longue traversée du désert avant d'obtenir des avancées. Il aurait pu ne pas y arriver. C'est un pari risqué. D'autres chercheurs sont sur des sujets où il ne se passe rien. Il faut pouvoir changer de voie ou avoir plusieurs cordes à son arc. Dans le métier, le risque de s'enfermer et de s'isoler est à considérer. Il faut savoir persévérer sur des terrains vierges, mais il faut aussi savoir abandonner. »

Extrait d'entretien

A ce titre, la création d'AMIES est un cas remarquable, relativement inédit dans le paysage français, et très inspirant.

Considérés indépendamment, ces trois extraits d'entretien pourraient conduire une hiérarchie, ou une direction, à prendre des décisions verticales et à adopter des solutions gestionnaires très différentes et antagoniques les unes vis-à-vis des autres. Les réalités exprimées nécessitent chacune une attention particulière et une prise en compte formelle, mais elles ne convergent pas vers le même type de réponses. C'est là où intervient la tolérance vis-à-vis de ses ressources humaines amenées à innover à travers l'imperfection des dispositifs. Cette tolérance ne doit pourtant pas être synonyme d'abandon ou de laxisme. Sauf à préconiser du « il n'y a qu'à, il faut qu'on », on comprend bien que les organisations tâtonnent. Elles ne le feraient pas qu'elles détruiraient des cadres porteurs et des initiatives fécondes. Et s'il y a une seule chose à institutionnaliser, c'est la capacité à faire confiance aux acteurs, la capacité à être à l'écoute de leurs retours d'expérience, la capacité d'offrir des espaces de réflexivité et de dialogue – voire de confrontation – entre les parties prenantes, la recherche de la compréhension fine des situations, l'acceptation de leurs contradictions potentielles et la valorisation protectrice de la prise de risque... Car, dans une structure bien bordée, « s'il on parvient à innover autant, c'est mille fois plus grâce à l'association et à la diffusion d'une constellation de petites initiatives que grâce à des décisions rares, fortes et prises par les directions »^[6]. Pas facile à accepter, au pays de Descartes. L'équilibre est délicat ! L'innovation est un processus, banal, quotidien et non logique. Elle a une trajectoire et repose sur des croyances.

AMIES (Agence pour la diffusion des Mathématiques innovantes en Interaction avec les Entreprises et la Société) : une régulation entre forces d'innovation et formes d'organisation

A ce titre, la création d'AMIES^[7] est une initiative inspirante et remarquable dans le paysage national. Labex créé en 2011, l'Agence de diffusion des Mathématiques innovantes en Interaction avec les Entreprises et la Société vise à faciliter l'interface avec les entreprises. Elle se propose fédérer, de décentraliser, sans uniformiser, un réseau national de collaboration avec 90 laboratoires de recherche répartis sur l'ensemble du territoire, en stimulant la communauté des mathématiques pour soutenir le développement du tissu économique et social local. Les grandes entreprises ayant traditionnellement accès au monde de la recherche, AMIES promeut des collaborations entre les mathématiques académiques et les ETI, PME et start ups, celles-ci n'ayant pas d'équipe de chercheurs à demeure. La structure s'appuie sur le réseau des maisons de la Modélisation, Simulation et de l'Optimisation (« MSO ») à l'échelon régional (au niveau des laboratoires), ce qui forme ainsi deux niveaux d'organisation et de collaborations. Le niveau national permet aux acteurs régionaux de se rencontrer et d'échanger sur leurs bonnes pratiques ou sur leurs difficultés. Cette organisation permet de faciliter les échanges sur plusieurs axes :

- Un axe ascendant : il permet de remonter d'informations du terrain, les retours d'expérience et les échanges entre les différents nœuds de l'organisation décentralisée ; elle permet une orchestration de l'ensemble avec un point de contact national pour faciliter et harmoniser, sans standardiser, la mise en musique.
- Un axe descendant : AMIES fournit des moyens logistiques (RH, communication, locaux, événements) et des financements aux collaborations prises en charge localement ; elle agit comme une ressource, et non comme une ligne hiérarchique.
- Un axe transversal : ce mode de coordination facilite les relations ubiquitaires et les mises en relations ad hoc des chercheurs entre les différents laboratoires en fonction des besoins ponctuels et spécifiques ; elle agit comme une colonne vertébrale très souple qui combine, à la demande, les mécanismes de coordination horizontale et verticale à activer pour faciliter la mise en œuvre d'une réponse collective et sur-mesure à apporter à l'expression du besoin spécifique de chaque entreprise.

L'autre particularité d'AMIES consiste à mobiliser les acteurs et à valoriser le socle académique existant. Les laboratoires ne sont pas placés dans des cases : « collabore » ou « ne collabore pas » avec les entreprises. Potentiellement, ils sont tous appelés à répondre de manière ponctuelle à des besoins de collaborations et les chercheurs répondent à ces sollicitations à titre individuel et spontané. Les réponses sont apportées, au cas par cas, en fonction des besoins des entreprises, des compétences et appétences personnelles. Par ailleurs, la mission d'AMIES se concentre sur des besoins tels qu'ils sont exprimés par les entreprises. L'originalité d'AMIES est de sortir de la logique de transfert de quelque chose d'existant vers une logique de « réponse à un problème inconnu posé par une entité inconnue »^[8]. Elle prend à son compte les capacités d'adaptation à l'entreprise en proposant une réponse ajustée à la complexité du problème opérationnel qui lui est soumis, et à son possible degré d'incomplétude dans la formulation de la question mathématique posée par l'entreprise. On part de la problématique de l'entreprise, puis on cherche le(s) laboratoire(s) ou le(s) chercheur(s) qui sera, ou seront, le(s) mieux à même d'y répondre. AMIES sort des réponses gestionnaires qui proposent des solutions « bonnes à tout faire » et des décisions verticales pour proposer des réponses adaptées au terrain. Elle s'appuie sur des ressources existantes non uniformes, pour les valoriser sans les dénaturer. Elle renverse le paradigme du management. C'est à travers la règle incomplète que les acteurs vont élaborer les réponses appropriées aux contraintes subtiles du travail réel.

Dernière particularité d'AMIES, sa genèse : elle s'appuie sur des légitimités souvent concurrentes qui, ici, se complètent, celle animée par la logique de l'innovation d'une part, celle animée par la logique d'organisation d'autre part. La ligne de tension entre les deux réside toujours dans le respect ou non de la règle de l'art, mais l'objet de la négociation réside dans la capacité à agir pour transformer la règle, et donc la forme de l'organisation. AMIES a su à la fois tirer parti des initiatives produites spontanément par des visionnaires pour répondre à des situations complexes et d'une forme d'organisation qui relève de la programmation et de la standardisation. Les individus se sont sollicités eux-mêmes pour promouvoir un cadre de régulation à leurs expérimentations, sous « l'impulsion amicale, mais forte » d'une autorité hiérarchique. La régulation dynamique et dialectique entre des logiques opposées devait conduire à un mode d'organisation plus harmonieux.

AMIES prend sa source dans la philosophie et l'expérience de dispositifs existants. D'abord MaiMO-SINE, une structure régionale, non parisienne, qui vise à promouvoir les bénéfices d'un développement industriel par les maths en se penchant sur les « vrais » problèmes. L'idée est de se coordonner en amont afin de mutualiser les efforts du monde académique pour répondre aux besoins des entreprises : SATT, IRT, Pôles d'excellence et de compétitivité, Chambres de commerce et de l'industrie, incubateurs, laboratoires. Ensuite, le GDR, Groupement de recherche Maths-Entreprises, lui, initié en 2010, afin de répondre à « une sollicitation amicale mais forte »^[9] du gouvernement et de son Ministre de la recherche et de l'enseignement de l'époque pour travailler sur la dimension culturelle des collaborations en partant du cœur du travail mathématique visant à « encourager des développements conceptuels profonds provenant de besoins largement partagés par les entreprises ou par l'émergence de technologies nouvelles ».

AMIES résulte de la régulation de deux types de force : l'innovation d'une part, et l'organisation d'autre part. Elle aboutit à la mise en œuvre au niveau national d'actions de pionniers. Deux orientations qui se rejoignent parce qu'elles s'appuient sur une réalité de terrain éprouvée et questionnée par des passeurs qui, sans position spécifique dans l'organisation, mais avec des croyances fortes, se sont interrogés spontanément sur le sens et l'efficacité de leur action afin de constituer un réseau cohérent de diffusion fondé sur des règles revisitées.

Ayant détruit des conventions établies, ces dispositifs sont pourtant créateurs : ils s'attachent à en construire de nouvelles. Le succès de la décision gestionnaire, à travers la création d'AMIES comme dispositif national, fût de les promouvoir et de les développer, sans les standardiser – ce qui constituait leur force et leur originalité – tout en les généralisant à l'ensemble du territoire. La logique bureaucratique cède le pas à l'initiative et à la capacité de conception des opérateurs. Elle correspond à une redistribution implicite de la capacité organisationnelle vers l'individu et à un facteur de professionnalisation de celui-ci. La légitimité de ces acteurs se définit par leur rapport à l'efficacité. La montée de la complexité et de l'incerti-

tude développe chez ces passeurs des « qualifications en creux » : « une capacité à définir, à choisir, en situation de travail incertaine, des procédés et des connaissances opératoires »^[10]. Ce type de qualification est proche du professionnalisme de l'artisan ou de l'artiste. Son acquisition augmente sa capacité d'influence et son autonomie. Il n'occupe pas une position stratégique, mais il détient la capacité à mettre en œuvre des actions stratégiques. A l'organisation d'en tirer parti.

Institutionnaliser une philosophie d'explorateurs : un paradoxe ?

Il va sans dire que le mouvement décrit précédemment n'a rien d'un tout unifié. L'innovation se heurte à l'organisation. Mais la nature d'une organisation n'est qu'un des aspects qui structure sa stabilité et sa vitalité : les cultures professionnelles, l'état des relations sociales, les formes de socialisation en sont d'autres. Nous avons vu dans les parties précédentes que les collaborations participent également de cette dimension culturelle : le rapport à l'environnement, au réel et à la technologie, mais aussi le rapport au savoir, la dimension collaborative et à la hiérarchie s'ouvrent sur ces champs nouveaux, qui requièrent de s'aventurer : il faut y croire pour agir et agir sans compter quand on agit sans repère et qu'on est incertain du résultat.

Cette déviance représente un moyen de socialisation. Elle ne se trouve pas en dehors du monde de la norme, mais à ses frontières. Nous avons vu dans la partie 2 de l'étude toutes les dimensions du travail « à la frontière » que le travail mathématique requiert, autant sur le plan théorique, entre les domaines de la discipline, qu'à travers les mondes sociaux et les identités culturelles. Rappelons les mots d'introduction de la leçon inaugurale de Jean-Philippe Bouchaud au Collège de France en 2020 qui commençait en expliquant que « s'aventurer dans une discipline qui n'est pas la sienne ressemble à bien des égards à une immigration vers un pays dont on ne connaît ni la langue, ni la culture et qui n'attend pas grand-chose de nouveaux venus, surtout quand ceux-ci ont la naïveté ou l'arrogance de croire qu'ils apportent un regard nouveau, des outils différents, une représentation du monde complémentaire. Pourtant, comme disait René Char, celui qui vient au monde pour ne rien troubler ne mérite, ni égards, ni patience. Cette confrontation des cultures souvent difficile, et parfois brutale, est néanmoins fertile si elle se poursuit sur de longues périodes. Quelles sont ses finalités, ses supposés méthodologiques, ses conventions sociales ? » Jean-Philippe Bouchaud fait ici explicitement référence à la figure de l'étranger. Elle fait écho à celle développée dans les travaux de Norbert ; La force de la différence, les patrons atypiques et L'innovation ordinaire.

On comprend, dans cette perspective, le caractère central de la prise de risque et de la déviance dans les situations de mouvement. L'innovateur prend le risque de la sanction par l'ordre établi. Il fait un pari. Pour agir, il doit anticiper sur la création de formes nouvelles. Le comportement de l'innovateur consiste à accepter le but implicite de son action (privilégier la mission à la fonction) et le coût de l'effort de la transgression des normes permettant d'atteindre l'objectif. L'histoire leur donne parfois raison et l'action se cristallise en forme à son tour. La déviance représente aussi un moyen de socialisation. Le fait d'être étranger est une ressource dans les interactions, celle de représenter l'individu extérieur qui écoute l'autre et ses besoins, et surtout sa « conception » du besoin. L'étranger se trouve allégé de toutes sortes de prénotions. Il écoute plus qu'il n'entend.

Cette capacité à comprendre l'autre au-delà de ce qu'il dit représente le moyen de se faire une place légitime. C'est aussi une autre forme de travail d'abstraction, une capacité à abstraire ce qui se joue dans l'interaction sociale et une conscience des modes de représentation à l'œuvre activés par les uns et par les autres dans de choses apparemment banales. Le mathématicien qui collabore avec les entreprises fait ainsi un quadruple travail d'abstraction : 1/ mathématique, pour formuler la complexité du réel en une question théorique, 2/ collaborative, avec ses collègues, pour accéder à un travail pluridisciplinaire, 3/ sociale, pour traduire les univers sociaux-économiques traversés, 4/ technologique, pour transformer les trois précédentes abstractions en code informatique et en production de données numériques. Leur conception des règles du jeu est beaucoup plus extensive.



« C'est très paradoxal mais la spontanéité s'entretient. Il est difficile de garantir cette spontanéité et de laisser les jeunes chercheurs en totale autonomie. Les choses deviennent vite artificielles : Il faut se battre à chaque fois avec les collègues pour qu'ils interviennent le moins possible. Les collègues cherchent à piloter le travail des doctorants. Or, l'idée est de les laisser complètement libres. Cette spontanéité, on ne l'obtient qu'en cadrant les collègues pour les empêcher d'intervenir. Ils se débrouillent toujours pour reprendre la main ! Dans le milieu académique en France, les gens ont une vision pyramidale des choses. Ils se sont auto-proclamés « tuteurs ». Le tuteur évoque des gens qui disent quoi faire. Garantir cette philosophie est très fragile ! En France, les jeunes, à l'université, ne sont pas très sûrs d'eux. S'il y a la moindre manifestation d'autorité ou même la moindre présence au moment de la prise de contact du groupe avec l'industriel, c'est mort !

S'il y a un senior dans les parages qui pose la première question, les jeunes se mettent dans une position d'écoute. Et ça y est, c'est parti : ils seront suiveurs. J'avais carrément interdit la présence d'un senior. Ça met un peu de pression sur les jeunes, mais ils s'accrochent. Ça les booste. En gros, on leur dit « Débrouillez-vous ! Faites-vous confiance ! Allez-y ! » L'enjeu n'est pas vital... Il faut être prêt à échouer. Ce n'est pas très français aussi mais ... Si on se lance dans quelque chose et qu'il n'y a pas un risque d'échec, c'est que ce n'était pas intéressant. J'avais incité les collègues à mettre des innocents, des gens qui ne sont pas spécialistes du sujet alors que le réflexe français est plutôt de positionner l'expert ou la personne compétente sur le sujet. Là, l'idée est plutôt de mettre ensemble des non spécialistes. S'il y a un spécialiste, ça gâche tout.

Extrait d'entretien

Les Semaines d'Études Mathématiques - Entreprises (SEME)

Elles réunissent, autour de sujets exploratoires, des entreprises et des jeunes chercheurs (doctorat en cours ou récent). Des industriels présentent des problèmes ouverts, dont la formulation même n'est pas toujours aboutie, sur lesquels travaillent des petits groupes de jeunes chercheurs pendant une semaine. L'objectif est de proposer des embryons de solutions et des pistes possibles. Les sujets proposés sont souvent très ouverts et les solutions proposées originales. Pour y parvenir, il est important que ces semaines brassent un public élargi issu de spécialités diverses. Ces semaines ont été initiées en Angleterre en 1963, puis étendue dans un format européen (European Study Group in Industry). Notons au passage que cette forme d'hybridité et de 'work in progress' est d'inspiration anglo-saxonne. Ces jeunes chercheurs n'ont souvent pas conscience de la variété des carrières et de la valeur donnée aux mathématiques dans le monde socio-professionnel aujourd'hui. Une augmentation annuelle de 4% du nombre de docteurs qualifiés (passé de 417 à 478) et une réduction concomitante du nombre de postes de maîtres de conférences (passé de 136 à 70) laissent supposer qu'un plus grand nombre de docteurs en mathématiques se tournent vers l'entreprise. Mais les référents – parents et enseignants – n'ont pas toujours conscience du mouvement international qui ouvre la porte des entreprises aux mathématiciens de haut-niveau.

Transmettre cette manière de travailler dans les organisations n'est pas évidente car elle consiste précisément à transmettre une philosophie d'explorateur en dehors des cadres traditionnels de l'organisation : comment intégrer l'incertitude, jouer des différences, s'appuyer sur les autres lorsqu'on ne partage pas les mêmes codes, comment tolérer l'absence de repère et maintenir sa capacité d'action, ... ?

C'est aussi l'une des missions que s'est fixée AMIES avec l'organisation des SEME, Semaine d'Études Mathématiques – Entreprises (voir encadré ci-après) : transmettre cette philosophie d'explorateurs à de jeunes docteurs ou doctorants pour leur apprendre à associer la liberté de l'analyse et l'acuité du regard articulant curiosité, distance, pertinence et impertinence, interprétation et déformation en planchant, en groupe, sur des problèmes soumis par des entreprises. Sortir du rôle prescrit permet de privilégier la volonté d'aboutir et de s'affranchir de la peur de l'échec.

Cet investissement ne peut être réduit à une logique professionnelle. Il représente également le moyen d'accéder à une satisfaction, à un plaisir particulier qui consiste à s'engager dans un rapport au monde satisfaisant. En prenant des risques, les acteurs parviennent à retrouver une liberté, une capacité d'action qui leur permettent de tenir des positions d'influence : une identité pour soi autant qu'une identité pour autrui. Dans des cultures qui privilégient l'autorité, l'essence des choses et la rationalité du raisonnement, l'exercice balbutiant semble contre-nature : pour elles, « paradoxalement, la spontanéité s'entretient »^[11]. Elle met l'organisation en mouvement. Elle représente la force de vie offerte comme un don par les acteurs à l'organisation. Elle contribue à transformer collectivement la norme pour lui redonner sens. Cette contribution individuelle représente un investissement prodigieux en quantité d'effort lorsqu'elle est réitérée au quotidien sur de longues périodes. L'acteur ne pensait pas être fait pour ça. Il n'avait pas, a priori, la vocation : c'est une conversion. Ce don est ambivalent car il repose sur un présupposé de contre-don avec les autres acteurs. Aller vers les entreprises pour un mathématicien peut représenter ce type de conversion surtout lorsqu'étudiant, ou chercheur, il n'a pas conscience de la valeur accordée aux mathématiques dans les entreprises ou des implications du véritable voyage mental, scientifique, organisationnel et technologique, requis par des approches multi-maths.

C'est cette autonomie que le jeune chercheur découvre et appréhende à l'occasion des SEME. Il s'avère que leur garantir celle-ci, même au cours d'un événement organisé à cet effet exige une vigilance pour lutter contre une tendance naturelle des représentants de l'institution à se positionner comme tuteurs. A l'échelle de cet événement sans enjeu, on comprend que les collaborations conduisent les chercheurs à mesurer la complexité requise pour sortir du cadre et élaborer une proposition qui soit à la fois originale, collective, hybride et possiblement incomplète. Ce mélange de prudence et d'audace permet de dépasser les héritages et de prendre des risques. Les doctorants découvrent que l'audace répond à l'exigence du travail mathématique lorsqu'il est confronté à la complexité des problématiques concrètes rencontrées.

Sortir de sa zone de confort : une mobilisation subjective

La polysémie du terme « investissement » reflète l'ampleur du coût individuel incorporé dans les actions d'appropriation. Cet investissement est tellement lourd qu'il peut amener le sujet à vivre une situation critique. Un chercheur organise une semaine Maths-Entreprises entre doctorants et entreprises. Au cours de notre entretien, l'intonation de sa voix trahit la peur de ne pas être à la hauteur et de ne pas fédérer suffisamment d'entreprises et d'étudiants. Il confie se sentir isolé au sein de son laboratoire. Les collègues du laboratoire de recherche ne s'impliquent pas. Il trouve du soutien auprès des membres du bureau d'AMIES, qui ont l'expérience des collaborations recherche. C'est à tour de rôle que les membres du bureau d'AMIES organisent ce type de rencontres. Si elles sont une initiation pour les doctorants au travail en équipe, et aux problématiques concrètes posées par une entreprise, l'organisation de la rencontre est initiative pour le membre du bureau d'AMIES. A cette occasion, il doit démontrer sa capacité à mobiliser les acteurs. Convaincre de nouveaux entrants est un défi. Notre interviewé avoue se sentir tout petit au sein d'AMIES : « Ils sont tous super forts ».

« Considérez-vous cette pression comme un stress positif ? Êtes-vous fier de sortir de cette zone de confort ? » L'interviewé hésite à répondre. Il évoque une « charge mentale ». Finalement, il répond que

« Sortez-vous de votre zone de confort ?

Ah oui, pour sortir de ma zone de confort, je sors de ma zone de confort pour tout depuis que je suis à AMIES : avec les entreprises, avec les membres du bureau, avec mes collègues, dans mes propres travaux de recherche ... !

Avez-vous partagé ce sentiment avec les membres du bureau ?

Non ... Je leur demande de l'aide et je la trouve toujours. Mais je pense qu'ils ne réalisent pas à quel point c'est exigeant pour moi.

Pourriez-vous solliciter l'aide des collègues au sein de votre labo pour travailler en équipe ?

Ce n'est pas évident. Beaucoup ne sont pas intéressés. Ils préfèrent conserver leurs habitudes. Le fonctionnement d'AMIES exige trop de sortir de son silo. Il faut de l'expérience pour avoir des grandes entreprises comme interlocuteur sur des aspects juridiques ou scientifiques. Leur niveau d'exigence est élevé. C'est important que ceux qui sont expérimentés transmettent aux plus novices.

Extrait d'entretien

« Honnêtement, je fais trop de choses. Les xxx, à nouveau, cherchaient des parcours très scientifiques. Je vois bien, encore aujourd'hui, mon parcours est un parcours d'interface. (...) Non, j'ai déjà suffisamment à faire. J'ai envie de bien faire ce que je fais sans brasser.

Extrait d'entretien

« Je travaille sur la dimension Européenne avec l'idée qu'on doit se diriger de plus en plus vers la recherche de financements européens parce qu'en France, nous ne sommes pas bons dans ce domaine. En Europe, les math ne sont pas affichées. Donc, on doit faire beaucoup de lobbying pour faire bouger ça. Il n'existe pas de 'Math For Europe' alors que dans les domaines de l'informatique et du calcul Haute Performance, il y a des projets qui rassemblent énormément d'argent. Les orientations de l'Europe sont plutôt « computational science » et « computer science » alors qu'on démontre que ce n'est pas seulement la puissance des ordinateurs qui fait bouger les choses, mais aussi celle des algorithmes. Elle a bougé au moins autant que celle des ordinateurs, mais ce n'est pas suffisamment reconnu.

Extrait d'entretien

« Je suis assez réservé sur la nécessité de favoriser les projets de collaboration entre mathématiciens du monde académique et entreprises. Permettre à la société en général de bénéficier des avancées permises par les travaux académiques est bien sûr une bonne chose mais j'ai l'impression qu'actuellement, les projets visant à favoriser les collaborations avec des entreprises vont de pair avec une privatisation partielle de la recherche publique, ainsi qu'avec une volonté de privilégier les mathématiques appliquées par rapport aux mathématiques pures.

Extrait d'entretien

« C'est AMIES qui m'a proposé d'entrer au bureau et de devenir correspondant. J'ai accepté, c'est une manière pour moi de payer mon tribut à la société. »

Extrait d'entretien

« En IA, ce sont les jeunes qui s'emparent du sujet. Ils ont plein d'idées. Mais dans l'organisation académique, ce sont les rang B qui ont le pouvoir (les anciens). Il faudrait que les rangs A exercent des responsabilités. Il faut qu'ils puissent s'exprimer.

Extrait d'entretien

« question fierté », il faudra la lui poser à l'issue de la SEME. Si cette semaine se passe bien, oui, il sera « fier » de ses réalisations.

Relative solitude, engagement personnel, importance du réseau au-delà de son organisation d'appartenance, incertitude, questionnements, réalisation de soi sont autant d'ingrédients qui composent la recette de la collaboration du côté académique. Ces exigences et transformations vont jusqu'à toucher le sujet incorporé dans l'acteur social : désapprentissage, chocs émotionnels, mobilisations identitaires. De tels phénomènes pèsent lourds. Or, la lassitude individuelle est rarement considérée par les organisations comme le signal d'un déficit de régulation collective. Elles risquent d'en pâtir si l'ensemble du corps social adopte cette position. Baisser les bras ne profite ni au sujet, ni à l'acteur, ni à l'organisation. Les acteurs disposent d'une autre liberté, celle de se retrancher à nouveau dans le rôle prescrit : « j'ai assez donné », « je ne vais pas me lancer là-dedans... », « idée intéressante, mais trop de travail »... Ils investissent avec plus de précaution. Or, donner permet de coopérer. On ne donne pas à l'autre mais au collectif, à la communauté, dans un principe de réciprocité élargie. Mais on donne aussi pour le plaisir d'un sourire. On échange souvent pour éprouver le plaisir de partager des liens et des émotions. Coopérer suppose de créer des liens. Pourtant, les modes de gestion modernes ne célèbrent pas ces dons. Les croyances du management empêchent de les percevoir et donc de valoriser cette ressource cachée.

a. Endosser un rôle multi-casquettes et incarner le bien commun

Être mathématicien aujourd'hui est une innovation à part entière. Collaborer avec les entreprises amène les mathématiciens à endosser plusieurs rôles professionnels et identités sociales. Ces chercheurs interviennent sur plusieurs « fronts ». Ils sont multi-casquettes : ils endossent une pluralité de rôles, de fonctions et d'identités professionnelles. En parallèle des collaborations recherche avec les entreprises, la plupart d'entre eux s'engagent, d'une manière ou d'une autre, et souvent à plusieurs titres, dans le monde socio-économique et au sein de la communauté académique : c'est une façon pour eux de transmettre l'attrait pour la philosophie d'un travail mathématique de haut niveau renouvelé par la technologie, tout en poursuivant leurs travaux de recherche et leurs activités d'enseignement. Concrètement, ces investissements prennent des formes très diverses.

J'en cite quelques-unes à titre d'exemples car il serait impossible d'être exhaustif ! Devenir « facilitateurs », et membre du bureau d'AMIES ; prendre la responsabilité de l'organisation d'événements comme le forum annuel d'« Emploi Maths » ; participer aux salons pour présenter les projets de collaboration-recherche ; diriger des thèses de doctorants CIFRE ; développer son propre réseau de contrats de collaboration recherche avec un panel d'entreprises sur un sujet de prédilection ; initier et animer une chaire ; créer un Master ; participer à des jurys de type « PEPR » ou autres grands programmes d'investissement publics ; répondre à des appels à manifestation d'intérêt nationaux et européens de type « ERC » ; monter des consortium ; prendre une fonction de représentant de la recherche auprès des pouvoirs publics au niveau régional, national, européen ou international ; siéger au conseil scientifique de grandes entreprises ; s'engager dans le soutien aux start up ; développer une plateforme en open innovation ; participer au démarrage des instituts de type 3IA ; ... Ces engagements multiples permettent d'étendre une sphère d'influence. Ils confèrent des moyens de veille. Ils peuvent faciliter, parfois, un avancement professionnel. Mais ils représentent de véritables engagements personnels et citoyens. Conscients de l'ampleur des défis contemporains à relever et de l'importance sociétale des mathématiques pour y répondre, ces chercheurs manifestent une sensibilité de « service public » incontestable. Ils démontrent une volonté farouche de protéger, ou de préparer, les notions de bien commun : transition environnementale et énergétique, transition et souveraineté numériques, compétitivité industrielle nationale, éthique, souveraineté européenne...

Ce faisant, ces chercheurs se méfient des courants de pensée « mainstream » et ironisent sur les tendances qui font le buzz. Ils restent vigilants afin de protéger l'essentiel équilibre entre une recherche fondamentale indépendante de très haut niveau et une recherche ouverte, en dialogue avec la société.

b. Au pays d'Astérix, les menhirs résistent !

Par ailleurs, les objets mathématiques sont résistants. Ils n'en sont pas à leur première crise de civilisation ! La discipline s'inscrit dans un temps long. Il ne s'agit donc pas pour la discipline de s'adapter pour s'adapter mais bien de faire dialoguer son héritage millénaire avec ce qui lui apparaît comme une nouvelle conjoncture : la culture numérique.

Le discours ambiant sur l'innovation et la « tech » construit dans les arcanes institutionnelles et médiatiques une sémantique tout-terrain fabriquée à partir de « mots-masque » qui se gargarisent d'« ADN », d'« écosystème », d'« innovation », d'« agilité », et j'en passe... Ce discours prêt à l'emploi véhicule une illusion de renouveau qui fige aussitôt les réalités. Du haut de leur héritage, les mathématiciens qui collaborent le perçoivent et se distancient de cette illusion. Ils rejettent le buzz, mais déploient le potentiel que le contexte offre à la discipline. Ils inscrivent les nouveaux paradigmes dans la continuité de l'histoire des mathématiques : « rien de nouveau sous le soleil » les entendons-nous dire. La communauté n'adhère pas au discours de la start-up nation et à l'utopie du numérique. Elle se méfie de la culture qu'elle véhicule, même si elle s'enthousiasme du foisonnement des idées. Pour un mathématicien digne de ce nom, l'intelligence artificielle n'existe pas en dehors des statistiques et des risques de « non »-pensée hégémonique qu'elle fait peser. « Il faut que tout change pour que rien ne change » pourrait-on dire. La discipline poursuit sa course ancestrale quand le contexte impose une pratique du métier renouvelée dans sa méthodologie et le rôle performatif qu'elle joue dans la société (voir extrait d'entretien page 128).

Chapitre 2 – Les trajectoires non linéaires, un apprentissage collectif

La tension entre forces d'innovation et normes institutionnelles s'illustre à travers des trajectoires professionnelles individuelles, en particulier lorsqu'elles ne sont pas linéaires et ont conduit le chercheur à alterner des expériences dans le milieu académique et en entreprises. L'analyse détaillée de ces parcours montre comment se joue, à l'échelle d'un individu, l'analyse développée dans le chapitre précédent : les ressorts intimes et scientifiques des francs-tireurs à titre individuel (en tant qu'acteur social et sujet), l'impact de leur posture sur leurs relations avec l'ensemble de la communauté et dans les rapports avec l'organisation formelle en termes de réciprocité et d'ambiguïtés. Nous illustrons ci-dessous les 4 étapes de ce parcours :

- a. L'hybridité et ses premières boutures
- b. La prise de risque et la bifurcation
- c. L'expression des ambiguïtés et la dialectique de la déviance
- d. L'institutionnalisation des nouvelles pratiques et le retranchement du franc-tireur derrière son rôle prescrit.

Ce découpage est réalisé à partir d'un parcours professionnel. Il n'a pas pour objectif d'apparaître comme typique des parcours des mathématiciens qui collaborent avec les entreprises, mais il montre ce qui peut se jouer, pour d'autres parcours, lorsque le chercheur est amené à s'écarter, sous une forme ou sous une autre, des trajectoires plus classiques. Le parcours illustre également comment ces allers-retours et l'élaboration de nouvelles règles de l'art participent de l'apprentissage collectif et de la progressive institutionnalisation des pratiques innovantes.

Nous n'ajoutons pas de commentaire à cette illustration réalisée à partir de verbatim d'un entretien. Mais nous invitons le lecteur à se reporter à l'analyse développée dans le chapitre précédent : « Quand les collaborations questionnent les organisations ».

a. L'hybridité : les premières boutures

Étapes	Les ingrédients	Ressorts de la trajectoire individuelle de l'acteur / sujet	Rapport à la communauté	Rapport à l'institution
1	La curiosité	Un peu par hasard, et surtout par curiosité, un stage x et une thèse sur les modèles connexionnistes appliqués à l'image.		
2	Une rencontre	« Mais si, la recherche, c'est fait pour toi ». Et il m'a invité à postuler au doctorat.		
3	La passion	Et c'est vrai que ça m'a passionné. Je suis devenu accro.		
4	La pépite	Qu'est-ce qu'il/elle a décelé chez moi ? Le fait que je sois intéressé par plusieurs choses différentes à la fois ? Je pense qu'il/elle a aussi décelé la ténacité (je ne le savais pas à l'époque).		
5	Approche scientifique	Ce mixte entre fondements mathématiques, traduction en algorithmes, code et application sur des données. Depuis 9 ans, ça me passionne.	A l'époque, il y avait d'un côté l'informatique, de l'autre les mathématiques, ce n'était pas commun de mixer les deux, et pas forcément apprécié par la communauté . C'était assez marginal	Ce ne sont pas les mêmes cursus universitaires. Le cœur du métier, c'est d'être soit en informatique, soit en mathématiques. Moi, j'étais en mathématiques, et mon directeur de thèse m'a proposé un sujet plutôt porté par les informaticiens.

b. Bifurquer : la prise de risque

Étapes	Les ingrédients	Ressorts de la trajectoire individuelle de l'acteur / sujet	Rapport à la communauté	Rapport à l'institution
6	Entre vision et déviance	Il y avait à l'époque un grand boom avec l'algorithme de rétropropagation de gradient. C'était très à la mode aux États-Unis.	Ce n'était pas très bien vu des mathématiciens parce qu'il y a une composante très très algorithmique. Les maths n'étaient que peu représentées.	Vous savez les parcours de recherche sont des parcours très balisés parce qu'on attend de vous une recherche très pointue dans un domaine, une pierre après une pierre.
7	La force de la différence - travailler à la frontière Transmission Don	C'est quelqu'un qui pose des pierres un peu partout, puis, il construit des ponts entre elles. Il a su avancer en parallèle dans plein de domaines différents.	Je pense que c'est lui qui m'a donné ce goût pour mixer les maths, l'informatique et les données de la vie réelle pour en faire autre chose !	
8	Rupture / franc-tireur Revisiter la règle	Création d'une start-up . Ça aussi c'était avant-gardiste à ce moment-là !		

9	Le choc des cultures / Travail collectif / Sabreuer aux deux sources / Parcours non linéaires	C'était le choc des cultures. Il y avait plusieurs chercheurs dans cette aventure. On arrivait avec nos gros sabots de chercheurs. On a découvert le monde des investisseurs. Il fallait vendre ce qu'on produisait pour payer les salaires à la fin du mois.		J'avais quitté mon poste de ... et demandé une disponibilité de x ans. Je suis revenu. J'ai repris mon poste. J'ai eu envie d'approfondir à nouveau la dimension théorique.
10	L'acquisition des compétences « en creux » Le satisfaction /engagement dans un rapport au monde	Je suis arrivé en tant que chercheur, mais très vite, je me suis occupé des études de faisabilité. Aller chez un client, bien comprendre son besoin, le formaliser en question mathématique, en code informatique et mise en œuvre à partir des données. J'ai fait de l'avant-vente. J'ai fait plein de métiers dans la start-up !		

c. Déviance : expression des ambiguïtés et dialogue entre forces et formes

Étapes	Les ingrédients	Ressorts de la trajectoire individuelle de l'acteur / sujet	Rapport à la communauté	Rapport à l'institution
11	Confrontation entre les forces de vie et les normes Reconnaissance / publications	On l'avait porté aux États-Unis. C'est quelque chose dont j'étais très fier. J'étais très content(e) de revenir, de mon expérience, et là... Ça a été la douche froide. J'ai voulu reprendre un parcours de recherche. Aucune reconnaissance de la communauté dans son ensemble, et aucune reconnaissance de l'institution.	Et puis, je vois bien que j'étais marginal.	On m'a demandé ce que j'avais publié... <u>rien</u> , de rien. Aucune forme de valorisation de ce que j'avais fait entre temps, y compris financièrement. Le système ne reconnaît pas ce que vous avez fait, alors même qu'on verra qu'il s'en est bien servi !
12	Ambiguïtés et finalités partagées	Je ne suis pas aigri parce que j'ai fait ce choix de revenir dans le monde académique. J'aurais pu faire autrement... mais quand vous regardez quand même ... J'ai traversé un tunnel. Chaque fois que tu fais une demande, on te rétorque systématiquement comme seule et unique réponse : tu n'as pas assez de publiés... Ce n'est pas un problème de personnes. Ce sont peut-être des grands mots, mais c'est un problème de système.	On m'a demandé d'enseigner dans des formations « pro », dans une excellente université de mathématiques. C'est vrai que je n'avais pas un enseignement classique de matheux. J'avais une autre vision. J'avais fait d'autres choses. Mes cours ont très bien marché. Donc je pense que ça a fini par éveiller la curiosité des matheux.	C'est compliqué parce que dans le domaine de la recherche, vous devez être un spécialiste. Vous devez donc creuser votre sillon. En France, cette reconnaissance se fait à travers les publications. Tout écart de conduite, honnêtement, n'est pas à conseiller ! C'est au contraire pénalisant dans la carrière. Aujourd'hui, comment voulez-vous que je conseille à quelqu'un de faire un parcours comme le mien ?
13	Diffusion - Alliance des forces entre francs-tireurs	J'ai travaillé x ans dans ce labo. Ça été dur mais très enrichissant. J'ai travaillé avec des matheux académiques très théoriques. Ils n'avaient jamais fait d'application et ne savaient pas ce que c'était. Et vraiment, on a fait des choses dans lesquelles 1+1=3 !	J'apportais ma compréhension d'une problématique industrielle, mes capacités de traduction pour les formaliser en question mathématique et les travailler avec des personnes dont les travaux étaient fondamentalement théoriques. En interfaçant ces deux dimensions, nous avons eu de très beaux résultats à la fois sur le plan académique, et sur le plan des applications concrètes.	
14	Apprentissage collectif. Transmission. Régulation avec la norme	Comment parveniez-vous à susciter leur intérêt pour les applications ? En leur faisant toucher du doigt que leurs travaux pouvaient avoir des applications concrètes, et qu'elles pouvaient potentiellement les aiguiller sur des dimensions théoriques plus poussées.	Les collègues s'apercevaient, pour la première fois, que les maths très théoriques qu'ils faisaient pouvaient non seulement être publiées mais pouvaient aussi être transformées en algorithme et s'appliquer sur des données dans des contextes différents. C'est exaltant !	

d. L'institutionnalisation des nouvelles pratiques et usure de l'acteur

Étapes	Les ingrédients	Ressorts de la trajectoire individuelle de l'acteur / sujet	Rapport à la communauté	Rapport à l'institution
15	Affinités, réseau, tache d'huile	X m'a fait venir en tant que directeur(e) adjoint(e) en me donnant carte blanche . La reconnaissance a fini par arriver.	C'est comme quand on fait de l'exploitation en data mining : vous avez un bloc, vous avez parmi les collègues des personnes qui sont des blocs. Ils sont indiscutables sur ce terrain. Si vous avez leur soutien, vous êtes sauvé . Ce sont des références dans l'institution même lorsqu'elles portent une voix dissonante. Ce sont des références indiscutables dans le milieu des mathématiques. Plusieurs d'entre elles, on va dire un peu têtes brûlées , sont venues me chercher et m'ont officiellement demandé(e) de travailler avec elles.	C'est par ces personnes que la reconnaissance est arrivée . Le fait que ces personnes aient pris le risque de me soutenir et de me nommer à des postes intéressants alors que je paraissais marginale dans le milieu, a fait que les personnes de la communauté ont finalement écouté. Elles m'ont invité, et voilà. Que quelques personnes très légitimes dans le milieu académique aient été convaincues que je pouvais apporter du neuf a ouvert la brèche. Ils ont compris qu'au-delà du poste lambda, j'étais dans une démarche intellectuelle qui faisait écho à la leur.
16	Régulation et institutionnalisation	Vous avez raison. C'est en train de changer . Depuis 6 ans, c'est en train de changer. Je ne peux plus dire que je n'ai pas de reconnaissance.	X mathématicien très reconnu, comme P et R se sont intéressés aux travaux de Y, informaticien. Ça a ouvert une nouvelle brèche . Du coup, deux communautés se sont rejointes par leur intermédiaire .	Qu'une figure de proue comme X prenne en considération dans ses travaux ceux de Z, ça donne à une foule de gens le déclic pour s'ouvrir à ce domaine. Les statisticiens étaient marginalisés dans la communauté mathématique française. Du coup, le courant connexionniste a dû se structurer à la force du poignet et faire ses preuves. Du point de vue épistémologique, ces paradigmes bouleversent les fondements de la communauté.
17	Prise de distance de l'acteur avec l'exercice de ses capacités d'action	Avec le recul , je me suis rendu compte que lorsque vous êtes marginal, la seule manière d'avancer est de développer les choses en faire état .		

L'analyse détaillée de cette trajectoire non linéaire et hybride montre que l'innovation est devenue une activité banale du point de vue des situations qu'elle mobilise, mais aussi qu'elle est une activité collective. Elle charrie, pêle-mêle, tout ce qui contribue au fonctionnement de l'organisation : les savoirs, les règles de l'art du métier, les modes opératoires, les identités professionnelles, les projets, les systèmes techniques, les modalités de coordination et de négociation, les formes d'exercice du pouvoir et de la légitimité, les reconnaissances acquises ou, plus largement ce qui fait qu'une organisation peut être perçue comme raisonnable. Ce mouvement est un flot qui déborde les capacités de contrôle que les hommes et les femmes peuvent avoir sur leur œuvre. Les uns et les autres tendent, chacun selon ses capacités, projets, et conception du bien, à inscrire le mouvement dans des formes, procédures, coutumes, stratégies, à la fois cohérentes et cohésives.

La trajectoire ici exposée fait apparaître la zone de créativité et d'apprentissages collectifs qui émergent dans ces plis. La frontière entre mathématique et informatique reste nette dans les esprits et les institutions, comme elle l'est entre le mathématicien et l'ingénieur : les projets rapprochent autant que la culture éloigne. La communauté, malgré sa formidable efficacité, a deux écueils à éviter : en se dispersant, celui de trop s'éloigner du monde académique au risque de perdre le lien à la source ; de l'autre, celui de cultiver l'entre-soi. L'équilibre à trouver est délicat. Les obstacles organisationnels, juridiques et institutionnels sont nombreux et, sur la durée, peuvent parfois décourager : droits à la propriété, balisage des parcours professionnels, publications, droit du travail, articulation des modes de financements, visibilité institutionnelle de la puissance des mathématiques aux côtés du « computational science » ne facilitent pas les échanges et les expérimentations d'ambition en dehors des efforts portés par les individus et leur communauté. Il apparaît vain de penser standardiser les canaux de transmission tant la complexité est grande et le mouvement, permanent. C'est à ce titre que les initiatives comme AMIES sont précieuses : elles combinent la proposition d'un cadre bien réel, mais souple et pragmatique, et un soutien concret aux initiatives extérieures et intérieures, pour les relayer à plusieurs niveaux d'échelle.

Tous ces éléments renvoient à l'énigme au cœur de cette enquête, telle que nous l'avions définie dans le cadrage initial de la présente étude, « Une évidence qui n'en est pas une » : « Il semble évident de penser que les enjeux stratégiques et organisationnels de l'entreprise, tous secteurs d'activité confondus, puissent reposer sur leur capacité d'incorporation de la recherche scientifique en mathématique. Pourtant, lorsqu'elle entre en interaction, la collaboration Math- Entreprise interroge profondément la dynamique des organisations, les pratiques du métier de mathématicien et les frontières de la discipline académique. Pourquoi le couplage apparemment logique de la recherche académique et de l'innovation dans les entreprises questionne-t-il autant la capacité d'action collective tant du côté du monde académique que de celui de l'entreprise ? Cette enquête vise à comprendre les réalités sociologiques en jeu, qui s'inscrivent derrière cette évidence première. »

L'étude montre que la réponse à apporter à la question posée par l'énigme initiale est multi-dimensionnelle et mouvante. Le défi central est de réconcilier la culture de l'hybridité et de la non-linéarité avec celle de l'essence et de la structure, dans un cadre organisationnel souple et cohérent. Les mathématiciens et les mathématiques ont su conduire cette révolution sur le plan conceptuel et scientifique. Ils sont en train de la vivre et de l'expérimenter dans le champ de l'action sociale, à titre individuel, collectif et sociétal : à savoir rechercher une manière d'institutionnaliser et de valoriser la souplesse et la clarté du cadre pour soutenir les initiatives expérimentales, la culture de l'ouverture et de l'action collective dans l'organisation. Encore une question qui amène à combiner déterminisme et aléatoire, structure et événement ! ...

Chapitre 3 – Nidification et envol : accueillir et soutenir l'engagement de la communauté

Nous avons vu que la « communauté » - et son ethos - était l'entité sociale la plus efficiente à ce jour pour porter la diffusion des mathématiques à son plus haut niveau dans l'environnement. AMIES et le réseau MSO s'en font les éléments porteurs, qu'il s'agit de conforter dans le prolongement des financements dédiés identifiés par la Commission Rocard-Juppé et en valorisant davantage les collaborations maths-entreprises.

Les « Récoltes et semailles » d'AMIES et du réseau MSO : des succès réels, un avenir incertain

En 2010, 15 premiers LabEx se sont ainsi créés en France, dont 2 transverses : AMIES et CARMIN (initié par Cédric Villani et ayant vocation à fédérer les unités organisant des rencontres et des conférences). La transversalité de ces deux LabEx est à l'image de la communauté mathématique, ouverte, protéiforme, mais unie. Ils visent à institutionnaliser ce mode informel d'organisation et de coopération afin de le sou-

tenir par des moyens, de le renforcer et, pour AMIES, de canaliser l'énergie vers un objectif d'effort national de soutien à l'innovation des entreprises. Il faut une grande flexibilité d'outils parce que les entreprises ne voient pas nécessairement tout de suite leur intérêt.

AMIES a véritablement réussi à changer le paysage des collaborations et à insuffler une dynamique à partir de la grande souplesse de sa philosophie. Elle a contribué à structurer la communauté sans l'uniformiser. L'interface au niveau national permet d'offrir une vitrine des mathématiques au monde des entreprises. Les entreprises ont désormais une équipe, un réseau, et une palette d'outils flexibles pour inciter à une montée en charge vertueuse progressive dans les logiques de coopération. En interne, AMIES a fait le pari du collectif sur la base du volontariat, en suscitant des initiatives régionales dans toute la France. Cette couverture régionale et ce maillage national permettent l'accueil local des entreprises mais aussi leur orientation vers les laboratoires les plus compétents, qui ne sont pas nécessairement les plus proches géographiquement, multipliant ainsi les chances de succès des projets et favorisant les échanges entre laboratoires sur l'ensemble du territoire. AMIES insiste sur cet ancrage local, qui rééquilibre le poids de la capitale sur les sujets technologiques.

Les défauts de ses qualités

Malgré ces succès, l'avenir d'AMIES, en tant que LabEx, n'est pas pérennisé. Tous les 5 ans, AMIES doit reconduire sa candidature. Pérenniser la structure lui permettrait de s'engager dans des actions de plus long terme.

Sa force repose encore beaucoup sur la bonne volonté individuelle. Et pour les multiplier, tout en restant dans un esprit collaboratif, son fonctionnement frôle parfois avec les fragilités d'une armée mexicaine.

Par ailleurs, elle gagnerait à poursuivre son investissement européen.

« En France, on n'est pas très bons pour aller chercher des financements européens. Donc, on fait du lobbying pour ça actuellement. Math For Europe n'existe pas alors que dans le domaine informatique et le calcul haute performance, il y a des projets avec énormément d'argent. C'est plus « computational science » et « computer science » effectivement, alors qu'on a montré à plusieurs reprises que ce n'est pas seulement la puissance des ordinateurs qui a fait évoluer les choses. Les approches mathématiques ont évolué de manière au moins aussi rapide si ce n'est plus que la puissance des ordinateurs. Mais, on se retrouve rattaché à des projets de calcul haute performance. On travaille avec EU-Maths-In, qui regroupe des structures AMIES de ces différents pays. »

Des actions d'évangélisation pourraient aussi être menées auprès des DRH pour les sensibiliser à l'intérêt des profils de docteurs au regard de ceux d'ingénieurs :

« On pourrait sensibiliser les DRH à ces sujets. Mais il faudrait aussi qu'ils soient bousculés par les autres services pour qu'on leur demande des docteurs.»

Enfin, malgré l'interface nationale, le monde académique reste organisé en un mille-feuilles de portails uniques : ambiguïtés entre réseau MSO et AMIES, rôle des SATT, accès directs aux labos... L'ensemble reste encore trop confus et très fragile.

« Libérer le joyau ! » : l'élan de la commission Rocard-Juppé

Finalement, libérer le joyau revient à institutionnaliser la vitalité de la communauté et à reconnaître la pertinence et la valeur des engagements individuels en créant des fonctions officielles autour de ces rôles clés. Les initiatives d'AMIES et du réseau MSO sont dans les droites lignes de cette tendance. Leur existence nationale a vu le jour à la suite de la commission Juppé-Rocard. On peut citer également dans cette mouvance la création des SATTs, et de la plateforme LinkInnov avec des philosophies comparables. Les réponses aux grands défis sociétaux contemporains se nourrissent des connaissances scientifiques. Le rap-

prochement du monde académique et du monde socio-économique se fait pressant. Face à l'urgence, le gouvernement s'empare en 2008 de la question en créant la commission Rocard-Juppé.

« Je suis arrivé à un moment incroyablement opportun ! Au moment où l'État a créé, à la suite de la commission Rocard-Juppé de 2008, le programme Investissements d'Avenir. J'étais responsable d'un programme d'un milliard d'euros - ça n'arrive jamais dans une carrière ministérielle d'avoir 1 milliard d'euros qui tombent comme ça ! Nous avons conçu et créé les SATTs, les Sociétés d'Accélération du Transfert de Technologie. Quatre ans passionnants. On a vraiment sorti de terre des outils d'un nouveau genre dans l'esprit de Rocard & Juppé : il y avait un esprit très fort dans cette entreprise. Rocard parlait de « coup de pied dans la fourmilière ». C'était intéressant de vivre ça. Je parle de Rocard parce que c'est avec lui que j'ai eu la chance de réfléchir. Il considérait la recherche française comme d'un joyau, une force considérable, mais bridée par des couches de silos, une structuration administrative d'une complexité époustouflante qui construit une sorte de toile d'araignée, un frein énorme, qui emprisonne la bête au centre de la toile. La responsabilité de l'État vis à vis de cette situation-là n'était pas de dire, individuellement, à chaque chercheur « Il faut faire ceci, il faut faire cela ». Ce n'était pas cet esprit-là. Il s'agissait plutôt de dire, « on va bousculer l'écosystème. On va bousculer la façon dont les choses sont organisées. On va offrir les moyens aux institutions elles-mêmes, aux universités, aux organismes de recherche et aux chercheurs, de disposer des moyens nécessaires pour faciliter les initiatives. Et les SATT, c'était typiquement ça. À l'époque, c'était choquant d'imaginer une société de droit privé avec des fonds 100 % publics. »

A la suite des travaux de la commission Juppé-Rocard, le programme Investissements d'Avenir s'est vu confier une enveloppe globale de 47 milliards d'euros (en deux vagues : 2010 et 2011) pour que la France se place à la pointe de l'innovation. Parmi les appels à projets lancés par le gouvernement français, l'appellation LabEx (Laboratoire d'Excellence) avait pour objectif de doter de moyens significatifs les groupements d'unités de recherche ayant une visibilité internationale, pour leur permettre de faire jeu égal avec leurs homologues étrangers, d'attirer des chercheurs et des enseignants-chercheurs de renommée internationale et de construire une politique intégrée de recherche, de formation et de valorisation de haut niveau. Les ambitions de ces LabEx sont d'augmenter l'excellence et l'originalité scientifiques, le transfert des connaissances produites et, par là-même, la visibilité internationale de la recherche française, tout en entraînant dans cette dynamique d'autres laboratoires nationaux, de garantir l'excellence des cursus et de jouer un rôle moteur dans les formations de niveau master et doctorat.

« Innover, transférer, valoriser les résultats de la recherche » : vers une reconnaissance au sein du CNRS

En 2021, le CNRS a refondu le canevas des dossiers d'avancement de carrière des chercheurs, en introduisant cinq grandes familles de missions, entre lesquelles il faut indiquer de manière explicite (avec des nombres entre 0 et 40, se sommant à 40) comment sont distribués les moyens et résultats du chercheur évalué. La troisième mission est intitulée « Innover, transférer, valoriser les résultats de la recherche ». L'évaluation de la première mission « Contribuer aux avancées scientifiques » veut par ailleurs aller au-delà du recours « à des indicateurs bibliométriques quantitatifs, certes objectifs, mais dénués de sens et souvent trompeurs ». De manière plus générale, quasiment tous les dossiers de candidature ou de promotion dans le monde académique comportent désormais une partie demandant la description des activités de collaboration avec les entreprises – partie pouvant rester vide lors du remplissage du dossier, avec l'impression d'inachevé et de manque renvoyée à son auteur. Les collaborations avec les entreprises sont ainsi devenues une demande explicite de la part de nombreux organismes de recherche ou d'enseignement-recherche.

A travers le travail du chercheur, on lit les formes modernes du travail tendant de plus en plus à valoriser l'individualisme dans ce qui relève d'une économie des singularités. Ce que Pierre-Michel Menger appelle le travail créateur vise à englober sous ce vocable l'ensemble des activités menées dans un contexte. Le métier apparaît comme figure ajustée aux contextes de travail plus complexes et comme affirmation ré-

pondant à des aspirations de réalisation de soi. Les motivations des uns et des autres évoluent selon des déterminants exogènes au milieu et nourrissent des incompréhensions. Dans toutes les organisations professionnelles, deux tendances ont émergé, qui paraissent à première vue contradictoires. La première est le développement de l'approche gestionnaire décrite plus haut avec une approche globalisante et quantitative du travail. L'apanage de la transversalité au détriment de l'expertise, le déni de l'expérience comme composante de la compétence, l'importance du coût en lieu et place de la qualité participent de la résurgence des gens de métier qui se différencient des hommes « sans qualités ». La course à l'innovation comme réponse au mouvement permanent favorise le développement d'une contre-tendance parallèle : celle du retour du métier et la promotion du travail créateur.

^[1] Médiologie, Régis Debray

^[2] Le siècle vert, Régis Debray, Grand Format, 2020

^[3] Des sociétés en mouvement, Renaud Sainsaulieu, Desclée de Bouver, 2012

^[4] Culture numérique, Dominique Cardon, Sciences Po Presses, 2019

^[5] Au voleur ! Anarchisme et philosophie, Catherine Malabou, PUF, 2022

^[6] Norbert Alter – L'innovation ordinaire, page 234

^[7] Voir Partie 2

^[8] Extrait d'entretien

^[9] Extrait d'entretien

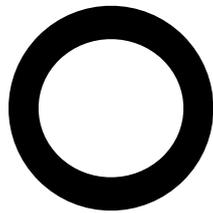
^[10] Norbert Alter, innovation et organisation : deux légitimités en concurrence, page 177, Persée, 1993.

^[11] Extrait d'entretien



Mais les choses sont en train de changer. On nous enseignait des matières genre traitement du signal, mais sans mettre les mains dans le cambouis. Faire du développement informatique n'était pas considéré dans les études. Maintenant, on leur fait faire du python dès la 1^{ère} année post-bac. Ils baignent dedans. Ça structure la pensée. Ça peut conduire à s'intéresser à la discipline plus en profondeur.

Extrait d'entretien



Mathématique et IA : le risque d'un appauvrissement culturel

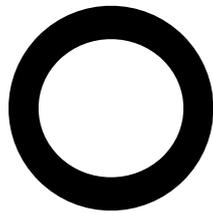
« Je ne suis pas méfiant en termes de fonctionnalité, mais en termes de risque d'appauvrissement culturel. Je comprends très bien que les entreprises se jettent dessus quand on voit les succès de l'IA, en particulier quand une entreprise a besoin de prévoir sans forcément comprendre ce qui va se passer.

Mais, on ne sait pas quels sont les enjeux majeurs auxquels nous serons confrontés dans 20 ans. Nous aurons besoin de têtes bien faites pour appréhender les nouveaux défis du monde et pour prendre des décisions. En ayant formé des gens habiles à faire tourner des paramètres dans des boîtes noires, nous n'aurons que des personnes qui auront besoin (je caricature) d'avoir une situation qui s'est déjà produite mille fois pour prendre une décision. On ne sait pas ce qu'on aura à vivre, il faut conserver une capacité à se décider à partir de rien. Einstein n'aurait pas pu prévoir la théorie de la relativité à partir de données : il n'en avait aucune. Nul besoin d'aller jusqu'à Einstein, mais même à considérer seulement le bon sens de la culture scientifique, je crains qu'il disparaisse. Les conséquences pourraient être graves : il y a des choses qu'on a apprises à l'école primaire comme l'accélération et la courbe parabolique qui pourraient disparaître du champ de la compréhension. Ces techniques d'apprentissage pourraient nous épargner d'acquérir ce type de savoir. Or, on peut penser qu'il n'est pas inutile d'acquérir ce réflexe de compréhension d'une réalité. Lorsqu'on observe une réalité, on essaie d'inférer les phénomènes sous-jacents susceptibles d'expliquer que cette réalité, un arc-en-ciel, un orage, puisse se produire. Et là, on forme des gens, en masse, à de la technique pure. Ce n'est pas méprisant, mais il n'empêche que c'est de la technique qui s'appuie sur une grande quantité de données et des raisonnements statistiques qu'on délègue à une machine.

Là j'apparais comme m'accrochant à mon petit truc... J'espère qu'on parviendra à hybrider les approches ! C'est mon espoir.... Mais on part presque perdant : il y a un tel raz de marée. Ça peut être foudroyant : en termes de décision sur une grosse machine et sur un projet un peu sexy, on fait de l'IA. La modélisation ne fait plus le poids. En termes de culture, les choses sont très séparées. Et comme en France, les choses sont cloisonnées, le risque de louper cette convergence est important.

Il est important de redonner de l'importance aux profils traditionnels. L'idéal est de former des profils mixtes, capables de manier les données mais également capable de s'ouvrir à une pensée de modélisation. Quand je dis « traditionnel », ce n'est pas conservateur, je veux dire « classique » : je veux dire « essayer de comprendre le monde qui nous entoure, et non pas juste de le contrôler », « comprendre, sans en tirer profit ». A mon avis, on risque de perdre beaucoup en focalisant tout sur ce gain immédiat de prédiction pas cher, si on oublie cette intelligence de compréhension pure. »

Extrait d'entretien



CONCLUSION :

Entendre leurs voix pour
ouvrir de nouvelles voies



« HAMM : Qu'est-ce qui se passe ?
CLOV : Quelque chose suit son cours

Samuel Beckett,
cité par Alain Badiou dans Logiques des mondes, page 378

Que ce soit pour Orange, Thalès, Safran, Facebook, Carrefour, les ministères, la SNCF, l'hôpital, la cybersécurité, que ce soit pour étudier les embouteillages, la qualité de l'air, les mouvements de foule, les effets du réchauffement climatique, pour les robots à capteurs, les commandes sur un site internet, les interconnexions sur un réseau social, les épidémies, les mathématiciens travaillent sur des objets 'étranges' qui envahissent le monde et dont on ne sait s'ils relèvent de la nature ou de la culture. Le traditionnel partage qui fonde la modernité est impuissant à rendre compte de ces « hybrides ». Alors même que les mathématiciens collaborent avec les entreprises apparaissent comme l'avant-garde d'une modernité qui fonde ses représentations sur la différence de ces modes d'existence au monde, ils sont confrontés quotidiennement à leurs interpénétrations : enjeux politiques, enjeux sociétaux, enjeux scientifiques, enjeux environnementaux, enjeux relationnels, enjeux d'accomplissements de soi, enjeux technologiques, phénomènes biologiques, chimiques, mécaniques, sociaux, financiers,... Dans la pratique, les modernes n'ont cessé de créer des objets hybrides qu'il se refusent à penser en tant que tels, nous dit Bruno Latour.

Les mathématiques à travers le numérique tendent pourtant vers cette pensée. La connaissance n'est possible qu'au point médian, celui des phénomènes et leur médiation scientifique, aujourd'hui, de traverser les autres ordres de représentation. Les mathématiques, à la fois outil de la connaissance du monde, stade ultime de la pensée abstraite et lieu de création, permettent d'apporter cette lumière, comme la lumière blanche est un mélange de rayons de différentes couleurs que l'on peut séparer et mélanger à sa guise sans altérer la couleur propre de chaque type de rayons ou comment le discret peut naître du continu. Ces phénomènes complexes sont le croisement de plusieurs domaines de la discipline, une situation à l'intersection de plusieurs communautés mathématiques, et la possibilité de partir dans des directions scientifiques et professionnelles extrêmement variées. Les mondes clos sont, logiquement, incomplets. Mais leur enveloppe est gage de stabilité.

Les collaborations Maths-Entreprises confrontent les chercheurs à la logique des mondes, des mondes multiples, dans lesquels cohabitent différents ordres de représentation de ces mêmes mondes : sociaux, politiques, scientifiques, humains, personnels. Le transcendantal est ce qui impose à toute multiplicité située la contrainte d'une logique – la règle par quoi le « là » de « l'être là » fait advenir le multiple comme essentiellement lié. ¶ Il faut que l'intelligibilité de cette manifestation soit rendue possible par des opérations immanentes : « transcendantal » est le nom de ces opérations. C'est ce que le travail mathématique tente d'approcher à travers les données numériques : appréhender une cohérence dans tels ou tels mondes où adviennent des multiples. Trouver à la fois la singularité de la logique et son lien avec le multiple. Le monde numérique structure la cohésion du multiple. Il articule l'indivisible et le divisible. Il se trouve ainsi prît, à grande échelle, dans la tension qui oppose l'intensité du sensible et le calme de la forme.

Nous avons vu que cet effort éloigne les chercheurs des pratiques gestionnaires. Le travail mobilise des ressources très primitives de l'être ensemble : la curiosité, le don, la jouissance d'une résonance intime avec le réel, le souci de reconstruire du bien commun (cohésion nouvelle des multiples), la reconnaissance d'un Autrui généralisé, une faculté à penser, à imaginer, à agir, à construire, pour soi, avec les autres, et pour les autres. Toutes ces dimensions s'entremêlent dans la vie des chercheurs : enjeux sociétaux, enjeux mathématiques, enjeux scientifiques, enjeux nationaux, enjeux environnementaux, enjeux professionnels, enjeux humains et de construction de soi. Ils incorporent ces nouveaux liens qui se tissent : ils traversent les frontières et ces frontières les traversent.

Centrée sur les évolutions constantes du travail mathématique à l'épreuve des collaborations maths-entreprises dans un monde numérique, la présente étude s'est efforcée de restituer au mieux les résultats et enseignements d'une enquête sociologique au long cours reposant sur des dizaines d'entretiens individuels ainsi que sur d'innombrables réunions et séminaires de travail et lectures additionnelles.

Une telle étude a dès lors d'abord vocation à tendre un miroir à l'ensemble des mathématiciens qui ont bien voulu partager avec moi leurs impressions et leurs analyses - que je remercie à nouveau pour leur disponibilité et leur acuité - ainsi qu'à l'ensemble des membres de cette communauté vibronnante et attachante. J'espère que les uns et les autres se seront reconnus – au moins partiellement - entre les lignes qui

précèdent, bien au-delà des seuls « verbatim » ici restitués, et qu'ils auront ainsi mieux pris conscience de l'imbrication intime entre leurs trajectoires individuelles, par nature singulières, et nombre de défis normatifs et institutionnels qui leur sont largement communs.

C'est parce que le monde numérique fournit des données à profusion qu'il offre au travail mathématique un nouveau territoire d'exploration et de développement pour la discipline, et de ses applications pour la société. C'est aussi parce que ce monde numérique est en continuelle métamorphose qu'il confronte les membres de la communauté à des défis théoriques et pratiques si stimulants, appelés à être relevés sur la base de projets déployés aux frontières des mondes académique et économique.

Tout au long de la réalisation de mon enquête et de l'élaboration de cette étude, j'ai pu constater que l'essor et la vigueur des collaborations maths-entreprises reposaient sur le dynamisme d'acteurs sachant composer efficacement avec les normes et les institutions, tout en les faisant évoluer. J'ai aussi été conduit à relever que ces pionniers et entrepreneurs s'en trouvaient souvent placés dans une situation d'entre deux pour le moins inconfortable, et qui pouvait s'avérer épuisante, voire démotivante.

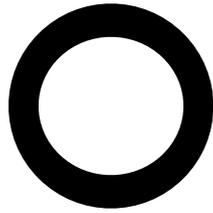
Au regard des dilemmes et des contradictions qu'elle met en exergue, la présente étude a donc aussi vocation à interpeller l'ensemble des parties prenantes et institutions concernées par les collaborations maths-entreprises, qu'elles soient académiques, politiques, économiques ou sociales. Elle n'a pas seulement pour objet de valoriser les réalisations positives et bonnes pratiques qu'il est loisible de détecter à tous les niveaux, mais aussi de faire mieux percevoir les besoins exprimés par les mathématiciens ayant fait le choix d'innover à la jonction de deux univers bien distincts.

Dans ce contexte, une conviction forte se dégage au terme de cet exercice d'intelligence collective : la vitalité et l'ingéniosité dont les mathématiciens font preuve pourraient être encore plus fécondes dans un environnement administratif, financier et réglementaire davantage propice à leur épanouissement, dusse-t-il « institutionnaliser la souplesse » en articulant mieux logiques individuelles et logiques organisationnelles.

A cet égard, il va de soi que toutes les réactions et remarques suscitées par le diagnostic sociologique formulé par cette étude contribueront à préciser la nature et la portée des défis normatifs et institutionnels qu'il s'agit de relever afin de libérer tout le potentiel scientifique et technique des collaborations maths-entreprises. La dimension maïeutique de cette étude et de l'enquête qui l'a nourrie pourra par ailleurs avantageusement bénéficier d'un prolongement plus opérationnel, fondé sur un dispositif d'intervention mobilisant lui les membres de la communauté mathématique et l'ensemble des parties prenantes concernées. Dès lors qu'elle s'efforce de faire partager un diagnostic aussi participatif que possible, une telle étude appelle en effet logiquement à la mise en place d'un dispositif d'accompagnement à la transformation, qui pourra se dégager sur la base d'une confrontation des positions exprimées par tous les acteurs de l'écosystème collaboratif maths-entreprises.

Cette démarche sociologique complémentaire permettra d'identifier les points de convergence sur lesquels fonder l'approfondissement du travail mathématique, tout comme les éléments de débats à arbitrer, afin de formuler des propositions mobilisant le plus grand nombre au service de l'intérêt général. A ce stade, la présente étude s'en tiendra donc à une conclusion provisoire, dédiée à tous les mathématiciens engagés dans des collaborations maths-entreprises tout comme à ceux qui les suivront : c'est parce qu'on pourra entendre pleinement leur voix qu'il sera possible d'ouvrir bien d'autres voies.

▣ Badiou, Alain, Logiques des mondes, L'être et l'évènement, page 113



Bibliographie

- Alter, Norbert, De la force de la différence, itinéraires des patrons atypiques, Paris, Editions PUF, 2012
- Alter, Norbert, L'innovation ordinaire, Paris, Éditions PUF, 2010
- Ayache, Nicholas, Des images médiacales aux patients numérique, Leçon inaugurale du Collège de France, Paris, Editions FMSH, 2015
- Badiou, Alain, Logiques des mondes, l'Être et l'évènement 2, Paris, Editions du Seuil, 2006
- Becker Howard, Outsiders, A.M. Métaille, 2020
- Berry, Gérard, Pourquoi et comment le monde devient numérique ?, leçon inaugurale du Collège de France, Paris, Editions FMSH, 2008
- Bouchaud, Jean-Philippe, De la physique statistique aux sciences sociales, Leçon inaugurale du Collège de France, Editions FMSH, Paris, 2021.
- Cassin Barbara, Éloge de la traduction, compliquer l'universel, Editions Hachette, 2022
- Cardon, Dominique, La culture numérique, Paris, Editions SciencesPo presses, 2019
- Connes, Alain, Analyse et géométrie, Leçon inaugurale du Collège de France, Editions FMSH, Paris, 1985.
- Cottin-Max Simon, Gilles Jeannot, La privatisation numérique, Déstabilisation et réinvention du service public, Paris, Raisons d'agir Editions, 2022
- Crozier Michel, Friedberg Erhard, L'acteur et le système, Paris, Editions Essais, 2014
- Dalmedico, Amy Dahan, Jacques-Louis Lions, un mathématicien d'exception. Entre recherche, industrie et politique, Paris, Editions La Découverte, 1995
- Debray, Régis, Manifestes médiologiques, Paris Editions Gallimard, 1994
- Duran Patrice, Emmanuel Lazega, Action collective : pour une combinatoire des mécanismes de coordination, Cairn, 2015
- Goux Jean-Joseph, Renversements, Paris, Editions des femmes, 2007
- Grothendieck, Alexandre, Récoltes et semailles, réflexions et témoignage sur le passé d'un mathématicien, <https://agrothendieck.github.io/divers/ReS.pdf>
- Latour, Bruno, Nous n'avons jamais été modernes, Essai d'anthropologie symétrique, Paris, La découverte poche, 1997
- Lions, Jacques-Louis, Analyse mathématiques des systèmes et leur contrôle, Leçon inaugurale du Collège de France, Editions FMSH, Paris, 1973
- Lions, Pierre-Louis, Dans la tête d'un mathématicien, Paris, Editions Humensciences, 2020
- Lions, Pierre-Louis, Équations dérivées partielles et leurs applications, Leçon inaugurale du Collège de France, Editions FMSH, Paris, 2006.
- Malabou Catherine, Au voleur ! Anarchisme et philosophie, Paris, PUF, 2022
- Mashaal, Maurice, Bourbaki, une société secrète de mathématiciens, Paris, Editions Belin, 2017
- Menger Pierre-Michel, Le travail créateur, s'accomplir dans l'incertain, Paris, Editions Points, 2014
- Menger Pierre-Michel, Marchika Colin, Renisio Yann, Verschueren, Formations et carrières mathématiques en France, un modèle typique d'excellence ?, Cairn, 2020
- Menger Pierre-Michel, La différence, la concurrence et la disproportion, Leçon inaugurale du Collège de France, Paris, Editions FMSH, 2014
- Mintzberg Henry, Structures et dynamiques des organisations, Paris, Organisations Editions, 1998
- Osty Florence, Le désir de métier, Engagement, identité et reconnaissance au travail, Editions PU rennes, 2003
- Osty Florence, Ulhalde Marc, Sainsaulieu Renaud, Les mondes sociaux de l'entreprise, Paris, La découverte, 2017
- Rosa Hartmut, Accélération, une critique sociale du temps, Paris, Editions La découverte, 2010
- Rosa Hartmut, Résonance, une sociologie de la relation au monde, Paris, Editions La découverte, 2012
- Sainsaulieu Renaud, Des sociétés en mouvement, le défi des institutions intermédiaires, Desclée de Brouwer, Paris, 2001
- Villani, Cédric, Les mathématiques sont la poésie des sciences, Paris, Editions Champs, 2018
- Villani, Cédric, Théorème vivant, Paris, Editions Grasset, 2013
- Veltz, Pierre, Genèse et défis d'un grand projet, Paris, Editions Parenthèses, 2020



