

Le MVA a 30 ans

Du CMLA à deepika en passant par le MVA et le Centre Borelli

Jean-Michel Ghidaglia

deepika.ai

*Avertissement. Ce texte a été écrit par Jean-Michel Ghidaglia avec, notamment, des contributions significatives de Nicolas Vayatis (le Directeur du Centre Borelli). Toutefois, **il représente la vision de son auteur qui en est le seul responsable.***

Le 1^{er} janvier 1990, est créé à l'Ecole normale supérieure de Cachan, le Centre de mathématiques et de leurs applications. Trois ans plus tard, Robert Azencott rejoint ce Laboratoire de recherche avec son équipe : le DIAM, Département d'intelligence artificielle et mathématiques, formé d'une vingtaine de chercheurs dont l'immense majorité a moins de trente ans. En 1996, le DEA MVA, mathématiques, vision, apprentissage, voit le jour. Nous racontons comment l'IA s'y est développée depuis 1993.

Table des matières

1.	La création du Centre de mathématiques et de leurs applications	2
2.	L'arrivée du Département d'intelligence artificielle et mathématiques	2
3.	La création du Master mathématiques, vision, apprentissage	5
4.	La maturité du Centre de mathématiques et de leurs applications (1995-2012)	6
a.	Yves Meyer arrive à Cachan, en septembre 1995	6
b.	En 1997, Jean-Michel Morel est recruté au CMLA.	7
c.	L'équipe Equations aux dérivées partielles se renforce dans la période.....	11
d.	Alain Trounev rejoint le CMLA en 2003	11
e.	Nicolas Vayatis rejoint le CMLA en 2007	11
f.	Agnès Desolneux rejoint le CMLA en 2011	13
5.	La création du laboratoire Cognac G	14
6.	La création du Centre Borelli	15
7.	Les contributions à l'Innovation	16
a.	Des Startups issues du CMLA et de Borelli	17
b.	La création de deepika	17

1. La création du Centre de mathématiques et de leurs applications

Le 1^{er} septembre 1989, Jean-Michel Ghidaglia est nommé Professeur à l'ENS Cachan avec comme mission d'y développer un laboratoire de recherche en mathématiques en interaction avec le monde économique. Sur place une petite équipe de recherche en probabilités collabore avec une équipe de recherche de l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées dirigée par [Nicolas Bouleau](#).

Jean-Michel Ghidaglia est un « EDPiste » qui travaille sur les équations de la mécanique des fluides et plus généralement les équations de la physique des milieux continus. Ses travaux se situent à l'interface entre la théorie des équations aux dérivées partielles non linéaires et de leurs propriétés qualitatives comme celles de la théorie des systèmes dynamiques, théorie en plein essor à cette époque. Pour renforcer la thématique EDP, Jean-Michel Ghidaglia recrute successivement (1990 puis 1991) deux jeunes mathématiciens très brillants : [Pierre Degond](#) puis [Frédéric Hélein](#).

Au 1^{er} janvier 1990, le Centre de mathématiques et de leurs applications est créé comme laboratoire de recherche de l'ENS de Cachan. Il devient Unité associé au CNRS en 1991.

Durant les 3 premières années, le CMLA se développe suivant 3 axes au sein des Equations aux dérivées partielles (EDP) : la théorie avec Frédéric Hélein, les propriétés qualitatives avec Jean-Michel Ghidaglia et les méthodes numériques avec Pierre Degond comme leaders scientifiques, bien que cette segmentation reste abstraite dans la mesure où les 3 sous-thématiques portées par ces 3 Professeurs d'université interagissent très fortement. En particulier par l'intermédiaire de leurs équipes respectives qui comprennent de très nombreuses personnes : doctorants, chercheurs associés au laboratoire, maîtres de conférences, visiteurs, etc.

En 1992, le CMLA a l'immense opportunité d'accueillir en détachement sur un poste de Directeur de recherche au CNRS, [Jean-Michel Coron](#). Professeur à l'Université Paris XI (Orsay), Jean-Michel Coron est l'un des mathématiciens les plus brillants de sa génération (comparable avec [Jean-Christophe Yoccoz](#) qui a disparu prématurément à 59 ans) et qui travaille sur la théorie du contrôle appliqué aux équations partielles non linéaires ainsi qu'à leurs méthodes géométriques. La présence de Jean-Michel Coron, qui va diriger un temps le CMLA, va donner une notoriété à ce laboratoire et probablement jouer un rôle dans la venue d'un autre immense scientifique : [Robert Azencott](#).

2. L'arrivée du Département d'intelligence artificielle et mathématiques

En 1983, Robert Azencott assiste à un séminaire de physique statistique organisé par IBM à l'Ecole de physique des Houches (France) sous l'égide de [Marc Mézard](#) et d'autres physiciens, en présence de Sherrington et Kirkpatrick, les pères du « [recuit simulé](#) », une méthode de descente de gradient stochastique réputée pour ses propriétés universelles en optimisation combinatoire NP-difficile. Dans les années 1970, Sherrington et Kirkpatrick s'intéressent aux « verres de spin ». C'est un matériau magnétique désordonné où certaines interactions veulent aligner les spins, d'autres veulent les opposer. Il en résulte ce que l'on nomme la frustration : il n'y a pas d'état d'équilibre simple. Le modèle SK, qu'ils établissent en 1975, postule que chaque spin interagit avec tous les autres et les interactions sont aléatoires (positives ou négatives). C'est un modèle dit à champ moyen (infinite-range) : il s'agit d'une version désordonnée du [modèle d'Ising](#). Dans la physique de l'époque, ce modèle est révolutionnaire car contrairement à ce dernier modèle, le paysage d'énergie a une infinité de minima locaux et le système a beaucoup d'états métastables ainsi l'ordre n'est plus simple (ni ferromagnétique, ni paramagnétique).

Robert Azencott a été frappé par la capacité d'auto-organisation de la dynamique aléatoire de grands réseaux de particules interactives soumises à un refroidissement lent, afin de se stabiliser dans des configurations minimisant l'énergie. Après avoir lu l'article fondateur des frères Geman (Donald et Stuart), paru en 1984, sur les champs aléatoires de Markov et l'analyse d'images numériques, Robert Azencott s'est plongé dans ce sujet fascinant et a dévoré quelque 6 000 pages d'articles sur la vision artificielle. En France, la vision par ordinateur relevait alors de l'informatique, et les équipes de l'INRIA, notamment celle d'[Olivier Faugeras](#), ou le groupe d'[Henri Maitre](#) à Télécom Paris, privilégiaient des algorithmes explicites très « cartésiens ».

Aux États-Unis, le financement de la DARPA avait considérablement stimulé la recherche sur les réseaux de neurones artificiels et l'apprentissage automatique « semblable au cerveau ». Cela a suscité l'intérêt de physiciens en France, comme Marc Mézard et ses collaborateurs à l'ENS d'Ulm, ou à Grenoble avec [Christian Jutten](#) et [Jean Hérault](#), ainsi que l'émergence d'un large front « connexionniste » multidisciplinaire autour de [Jean-Pierre Changeux](#) et d'autres.

En 1986, à l'École Normale Supérieure (Ulm) à Paris, Robert Azencott lance un nouveau laboratoire de recherche appelé DIAM : Département d'intelligence artificielle et mathématiques. Son objectif était de lancer une activité de recherche intensive dans deux domaines mathématiques étroitement liés : l'analyse d'images numériques par les techniques des champs aléatoires de Markov et l'apprentissage automatique par les réseaux neuronaux artificiels stochastiques (machines de Boltzmann) et Robert Azencott a constitué une équipe de brillants doctorants en mathématiques appliquées.

Au départ, cette équipe travaille dans trois directions entremêlées. La première, théorique, autour de la théorie des grandes déviations, avec notamment, les travaux de [Gérard Ben Arous](#) (thèse d'Etat sous la direction de Robert Azencott). La deuxième en relation avec le traitement d'images satellitaires (Défense) et enfin la troisième en relation avec le traitement d'images médicales co-pilotée par [Bernard Chalmond](#).

En 1993, Robert Azencott est recruté à l'ENS de Cachan. En 1989, Robert Azencott est un des experts en mathématiques Appliquées pour l'Association CAIMENS, Association liée à l'ENS de la rue d'Ulm qui propose des formations et des expertises aux Industriels. Robert Azencott se voit confier une mission pour la SNECMA dans le domaine de la mécanique des fluides. Deux Ingénieurs SNECMA, proches de la retraite, assaillent leur Direction en assurant que la débauche de méthodes numériques pour faire des calculs approchés de solutions d'écoulements 2D incompressibles est inutile puisque la théorie du potentiel permet de ramener ces calculs à des calculs de fonctions holomorphes. L'approximation des écoulements sur la base de ces fonctions est plutôt aisée car elles sont sommes de séries entières, ce qui permet de se ramener à des calculs très rapides.

Robert Azencott a fait la connaissance de Jean-Michel Ghidaglia alors qu'il était chercheur puis Professeur à l'Université d'Orsay (Paris XI) et connaissait son expertise en mécanique des fluides. Il l'a donc sollicité pour évaluer le Rapport des deux Ingénieurs SNECMA. L'expertise de Jean-Michel Ghidaglia démontre que la méthode proposée à base de fonctions holomorphes n'est pas adaptée aux besoins de la SNECMA. En effet, cette méthode repose sur un problème [mal posé au sens d'Hadamard](#). La plupart des perturbations infinitésimales sur les données du problème conduisent à des erreurs de l'ordre de la solution recherchée. Ainsi cette méthode ne permet pas de faire des calculs numériques.

Lors de ce travail, Robert Azencott et Jean-Michel Ghidaglia se rencontrent à l'ENS de la rue d'Ulm où Robert Azencott a installé le DIAM. Jean-Michel Ghidaglia s'étonne de devoir travailler avec lui au coin

café. Là, Robert Azencott lui apprend qu'il ne dispose que de deux bureaux pour une équipe de 20 chercheurs. La notoriété du DIAM dans le domaine des méthodes probabilistes appliquées au traitement d'images est forte et Jean-Michel Ghidaglia, qui développe le CMLA, s'étonne qu'en France, à cette époque, quasiment aucun laboratoire de niveau international ne réunisse l'Analyse numérique et les Probabilités-Statistiques. Il a l'intuition de les réunir au CMLA afin de se consacrer aux grands problèmes mathématiques que posent les autres Sciences et plus généralement l'activité humaine (Economie, Industrie, Médecine, ...). Jean-Michel Ghidaglia prend alors rendez-vous avec le Directeur de l'ENS de Cachan, [Yves Malier](#). Ce dernier est un mécanicien éminent qui a une carrière unique et exemplaire à bien des égards. On renvoie à son livre « Un pont vers d'autres mondes » paru aux Presses des Mines en 2024 où il décrit son parcours scientifique. Jean-Michel Ghidaglia expose à Yves Malier son projet. Faire venir le DIAM au CMLA. Quelques jours plus tard, Yves Malier annonce à Jean-Michel Ghidaglia qu'il propose de (i) créer un poste de Professeur des universités à l'ENS Cachan pour Robert Azencott et (ii) de mettre à disposition du CMLA 700 m² pour l'intégration du DIAM. Si Robert Azencott accepte de rejoindre l'ENS de Cachan, il parlera au préalable au Directeur de l'ENS de la Rue d'Ulm, [Etienne Guyon](#), pour l'en informer. C'est ainsi que Robert Azencott sera recruté à l'ENS de Cachan et au CMLA en 1993.

Donnons la parole à Robert Azencott (extrait d'un petit texte qu'il a écrit à l'occasion des 20 ans du Master MVA).

« Le DIAM est devenu une aventure de recherche de 10 ans avec des docteurs très brillants tels que [Laurent Younes](#), [Olivier Catoni](#), [Alain Trouvé](#), [Jérôme Lacaille](#), [Isabelle Gaudron](#), [Mathilde Mougeot](#), [Oussama Chérif Idrissi El Ganouni](#), [François Coldefy](#), [Jiaping Wang](#), [Jen Feng Yao](#), [Michel Levy](#), [Bernard Chalmond](#), [Christine Graffigne](#), [Charles-Albert Lehalle](#), [Bruno Durand](#), [Stéphane Herbin](#), [Eric Lhomer](#), et plusieurs autres.

J'avais également identifié le calcul massivement parallèle comme un outil potentiel fascinant pour la relaxation stochastique de grands réseaux d'« unités » interactives dans des machines de Boltzmann quasi synchrones, ainsi que pour le recuit simulé parallèle. Entre 1988 et 1995, la disponibilité en France de quelques ordinateurs massivement parallèles, tels que la Connection Machine (64 000 processeurs) ou le MASPARE (4 096 processeurs), a offert au DIAM un terrain d'exploration fertile. Ceci a conduit à la réalisation massivement parallèle de rétines artificielles construites comme des machines de Boltzmann synchrones, en collaboration avec Jérôme Lacaille, Laurent Younes et Oussama Chérif Idrissi El Ganouni, et à des collaborations passionnantes avec d'éminents spécialistes du matériel parallèle ([Patrick Garda](#) et [Éric Bellhaire](#)).

Rapidement, le DIAM s'est impliqué dans les applications industrielles des techniques d'intelligence artificielle (avec EDF, le CNES, la SNECMA, ARIANE Espace, etc.) et a progressivement quitté l'ENS Ulm pour rejoindre l'Université Paris 11. En 1993, J.M. Ghidaglia m'a invité, ainsi que le DIAM, à intégrer le laboratoire CMLA de l'ENS Cachan, où j'ai lancé en 1995 le cursus MVA en mathématiques/Vision/ Apprentissage. Grâce à la collaboration de l'École Polytechnique, de l'ENS Ulm, de Télécom Paris, de l'Université Paris 11, de l'INRIA et d'autres partenaires, le CMLA est devenu un centre d'innovation de premier plan en mathématiques, dédié à la vision artificielle et à l'apprentissage automatique. L'arrivée de mathématiciens de renom tels que [Jean-Michel Morel](#) et son équipe, la présence marquante d'[Yves Meyer](#) et le recrutement d'Alain Trouvé ont permis au CMLA de devenir un pôle d'excellence en mathématiques, spécialisé dans la vision artificielle et l'apprentissage automatique.

En dix ans, le DIAM a réalisé des progrès considérables dans les domaines du recuit simulé parallèle, des champs aléatoires de Markov pour la segmentation d'images, de l'identification de formes, des machines de Boltzmann synchrones pour les rétines artificielles, etc. En 1996, nombre de mes anciens élèves du DIAM étaient devenus des chercheurs de haut niveau à part entière, et j'ai soudainement perdu ma femme, emportée par un cancer du poumon. Un changement s'imposait.

Avec plusieurs anciens collaborateurs du DIAM, j'ai créé deux groupes de conseil : MIRIAD (Réseaux de neurones pour la surveillance multi-capteurs) et Sudimage (Analyse d'images numériques). Nous avons développé avec succès des prototypes d'applications d'intelligence artificielle pour Renault, le CNES, le CEA, Avantis, Saint-Gobain, SAT, Air Liquide, etc. Au DIAM, j'ai approfondi l'étude des machines à vecteurs de support de Vapnik et de sa théorie de l'apprentissage automatique par le biais d'une analyse fine des grandes déviations, menée en collaboration avec Nicolas Vayatis.

En 2000, j'ai pris un congé sabbatique de quatre ans de l'ENS/CMLA, déposé cinq brevets en intelligence artificielle et hypothéqué fortement ma maison pour transformer MIRIAD et Sudimage en deux start-ups atypiques. "A l'américaine", comme disait Jacques Tati. Mais ceci est une autre histoire. »

3. La création du Master mathématiques, vision, apprentissage

1995. A l'époque, on parlait de DEA, Diplôme d'études approfondies, et comme tout diplôme universitaire, il fallait présenter un dossier de création au Ministère en charge de l'Enseignement supérieur. Ce qui fut fait en 1995. Robert Azencott dépose ce dossier sous l'égide de l'ENS Cachan avec comme partenaires universitaires : l'Université Paris XI (Orsay) et l'Université de Paris-Dauphine, des grandes écoles : l'Ecole Polytechnique de Palaiseau (l'X), l'Ecole nationale supérieure des télécommunications. De fait l'Université Paris VI (Jussieu) et l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées ont été associées dès l'origine au Master MVA, mathématiques, vision, apprentissage. Ces derniers fournissant des enseignants mais surtout des étudiants en thèse.

Le Ministère a validé cette création et ainsi la première promotion a été recrutée en Octobre 1995 pour l'année Universitaire 1995/96.

30 ans plus tard, le 9 janvier 2026, le site Web du journal Le Monde publie un portrait d'un des alumnis du Master MVA, [Arthur Mensch](#), fondateur de Mistral (avec [Guillaume Lample](#) et [Timothée Lacroix](#)). On y lit « le master mathématiques, vision, apprentissage (MVA). Une formation parfois surnommée l'« ENA de l'IA », connue jusque dans la Silicon Valley. La tech californienne vient y débaucher des chercheurs à prix d'or ». Que de chemin accompli depuis ! Et ce n'est certainement pas la fin de l'Histoire.

Le début des années 2020 change de façon brutale la place de la science mathématique dans la société. Epidémie de COVID-19 et révolution de l'IA mettent la modélisation mathématique au premier plan et la transforment en un sujet de société et de discussion. Les chercheurs en mathématiques et IA deviennent médiatisés et inondent les plateaux télé, les éditorialistes deviennent soudainement férus de sciences et transmettent des idées parfois outrancières sur l'avenir de l'IA : l'IA est partout, l'IA fait peur, l'IA fait vendre. En particulier, les avancées commerciales des outils d'IA générative incitent de nombreux pays, dont la France, à lancer des politiques plus agressives et spécifiques notamment en recherche et en enseignement. Toutes les universités et écoles d'ingénieurs créent leur parcours IA, et le nombre de masters d'IA augmente de façon spectaculaire. Face à cet emballement, le MVA fait, de

par son ancienneté, office de “phare” et garde une identité forte, basée justement sur ses valeurs et fondements déjà présents lors de sa création. Tout d’abord, l’IA n’est pas une discipline de recherche, mais un creuset mêlant de nombreuses disciplines, et constitue à ce titre un nouveau commun. Il existe donc une infinité de points de vue (informatique, aspects computationnels, etc...) et celui du MVA est clair : c’est celui des mathématiques. En particulier, de nombreux cours portent (toujours) sur les aspects de modélisation qui sont parfois justement jugés obsolètes à l’ère de l’IA et des données massives. Nous pensons au contraire que l’IA “utile” sera frugale, spécifique et donc reposant en grande partie sur un travail mathématique fin de représentation de l’information, et donc de modélisation. D’autre part, il faut également distinguer les raisons d’être des formations. Là encore, le MVA a un positionnement tranché. Il s’agit d’un master recherche et nous formons des chercheuses et chercheurs qui iront irriguer le monde de la recherche académique ou en entreprise. Ceci conditionne énormément le contenu des cours. Nous ne formons pas les étudiants à utiliser les techniques actuelles d’IA, mais à les concevoir. Et, pour aller plus loin, l’idée n’est pas de leur fournir les clés pour concevoir les IA actuelles, mais celles de demain. Et ceci implique donc de revenir aux fondamentaux. Il ne faut pas s’étonner ainsi, que dans les dernières années, à l’heure où toutes les formations ont créé des cours de LLM ou d’IA générative, nous ayons ouvert des cours de géométrie, de statistiques, etc... et qu’il y ait encore des cours (populaires !) du master qui portent sur des outils d’analyse de Fourier et d’ondelettes ou de traitement d’images “classique”. A titre d’exemple, nous avons volontairement attendu plusieurs années avant d’ouvrir un cours (très attendu) sur les LLM. En effet, il fallait pour cela à la fois trouver des enseignants, mais surtout que cette technologie, qui était au début conçue par des entreprises pour le grand public, vienne infuser largement dans le domaine de la recherche et propose une possibilité de réflexion mathématique. Pour ses 30 ans, le master MVA accueille près de 280 étudiants avec 65 modules à la carte proposés par plus d’une centaine d’enseignants. Des parcours spécifiques ont été ouverts au fil des ans : parcours santé pour regrouper des cours liés à ce domaine, parcours “industrie & ingénierie” qui propose de réorienter des étudiants issus d’écoles d’ingénieurs spécialisées (génie électrique, mécanique, informatique, bio-ingénierie...) vers les mathématiques et les métiers de la recherche et parcours “recherche reproductible” afin de donner aux étudiants les clés du logiciel libre et des bonnes pratiques de recherche. A ces parcours s’ajoutent des cours d’ouverture scientifique sur des sujets comme l’éthique, le droit, l’environnement ou même... l’histoire de l’art !

Porté par la vision intacte qui a donné lieu à sa création, le master MVA a su traverser les années et, malgré son statut de référence dans le paysage français, a pu se développer et évoluer de façon libre.

4. La maturité du Centre de mathématiques et de leurs applications (1995-2012)

a. Yves Meyer arrive à Cachan, en septembre 1995

Donnons-lui la parole :

« Le Professeur [Georges Mathé](#) fut l’un des plus grands cancérologues français du XX^e siècle, pionnier de la greffe de moëlle osseuse et figure majeure de la recherche en oncologie. Il a écrit : « *Un chercheur qui part de son laboratoire au bout de dix ans fait autant de bien au laboratoire qu’il quitte qu’au laboratoire qu’il rejoint.* »

C’est ainsi qu’après avoir passé dix ans au Cérémade (Université Paris-Dauphine) j’ai cherché un autre point de chute. J’étais déjà devenu un mathématicien appliqué. Sans me demander mon avis, le CNU m’avait expulsé de la vingt-cinquième section (mathématiques fondamentales) pour m’inscrire en vingt-sixième (mathématiques appliquées). C’est alors que Jean-Michel Ghidaglia m’offrit de m’accueillir au CMLA dont il parachevait la

construction. Je démissionnai de l'IUF dont j'étais membre senior depuis 1991 (l'IUF interdisait alors la mobilité) et obtint un détachement au CNRS. Me voilà à Cachan, en septembre 1995. Ghidaglia et ses collègues (Robert Azencott etc.) avaient créé la filière MVA (mathématiques, vision, apprentissage), qui devint un enseignement de troisième cycle révolutionnaire.

Le MVA assura les fondations de l'IA. J'ai tenu à suivre le prodigieux cours d'Azencott sur l'apprentissage statistique. J'ai soigneusement conservé mes notes et les ai souvent relues.

Aujourd'hui nous pouvons affirmer qu'Azencott annonçait l'intelligence artificielle.

Une parenthèse : Il est amusant de constater que j'ai aussi travaillé pour la DARPA. J'ai collaboré avec [Louis Auslander](#), responsable des mathématiques à la DARPA.

J'ai aussi suivi le cours de [Donald Geman](#). Tout à fait différent d'Azencott mais tout aussi exceptionnel. Donald Geman m'a fait comprendre les écueils des systèmes experts appliqués à la traduction automatique. Pour moi ces années au CMLA furent prodigieuses. En 1999 je demandai à être nommé à l'ENS-Cachan comme professeur. Ce fut difficile. Je dus prouver, entre autres tracasseries administratives, que j'avais bien obtenu une thèse de mathématiques ... Mais finalement je fus accepté et je suis encore aujourd'hui professeur émérite à l'ENS Paris-Saclay. J'ai finalement enfreint la règle de Georges Mathè. Il faut parfois savoir désobéir. »

Faut-il rappeler qu'[Yves Meyer](#) est un des plus grands mathématiciens vivants ? Il a reçu d'innombrables Prix, dont le [Prix Abel](#) en 2017. Un de ses plus beaux faits d'armes est le développement de la théorie mathématique des [ondelettes](#).

b. En 1997, Jean-Michel Morel est recruté au CMLA.

Après avoir fondé l'équipe traitement d'images au Cérémade (Université Paris-Dauphine), il s'est très naturellement senti attiré par la présence de Robert Azencott et Yves Meyer au CMLA. Jean-Michel Morel s'était initialement formé aux équations aux dérivées partielles, aux modèles variationnels et à l'analyse non linéaire auprès de [Haïm Brezis](#). En 1989, impressionné par les travaux de deux mathématiciens de renommée mondiale, [David Mumford](#) et Yves Meyer, il s'est tourné vers le traitement d'images. Sa méthode consiste à réexaminer les théories et les algorithmes de la science de l'image, à en analyser les nombreuses variantes par l'analyse mathématique afin d'en déduire les algorithmes les plus pertinents. Jean-Michel Morel est généralement reconnu pour avoir clarifié, par une méthode axiomatique, le rôle des équations aux dérivées partielles en traitement d'images et pour en avoir inventé de nouvelles. Il a aussi contribué à l'élaboration mathématique et aux algorithmes de quatre questions cruciales en traitement et analyse d'images : la segmentation d'images, le débruitage d'images, la mise en correspondance invariante d'images et la détection d'images avec contrôle des fausses alarmes.



Segmentation d'images. En 1995, l'algorithme de segmentation d'images découvert par Jean-Michel Morel et ses collaborateurs Georges Koepfler et Sergio Solimini a été le premier algorithme de traitement d'images utilisé et validé devant un tribunal pénal américain lors des procès liés aux émeutes de Los Angeles. Le résultat de la segmentation, obtenu par Lenny Rudin, collaborateur de Jean-Michel Morel et PDG de Cognitech, a été publié en première page (section B) du Wall Street Journal du 9 octobre 1995 (voir figure ci-dessus). Cet algorithme a été décrit dans l'ouvrage de Jean-Michel Morel et Solimini paru en 1994 (Variational methods in image segmentation, with seven image processing experiments, Springer Science & Business Media, 2012).

Débruitage d'images au CMLA. En 2005, Jean-Michel Morel et ses collaborateurs au CMLA et à l'Université des Îles Baléares ont défini un nouveau procédé mathématique de débruitage d'images, les « moyennes non locales », souvent généralisées aujourd'hui sous les termes de « méthodes non locales » ou « méthodes par patchs ». Leurs deux articles présentant les moyennes non locales et leur théorie mathématique ont reçu deux prix internationaux du meilleur article et comptent respectivement plus de 10 000 et 5 800 citations. Les moyennes non locales sont rapidement devenues accessibles aux photographes du monde entier grâce au logiciel DxO OpticsPro de DxO Labs. DxO Labs a intégré cette méthode de débruitage dans la chaîne de traitement de plus de 700 millions de téléphones portables équipés d'un appareil photo. Il s'agissait du premier processeur de signal numérique (DSP) à intégrer un algorithme de traitement d'images aussi sophistiqué. Sa qualité a contribué à la généralisation de l'utilisation des téléphones comme appareils photo de haute qualité. Aujourd'hui, la plupart des smartphones haut de gamme intègrent un traitement d'image non local. Les fabricants de téléphones préparent actuellement la prochaine génération, basée sur les réseaux de neurones. La transition des algorithmes de débruitage « artisanaux » aux réseaux de neurones profonds entraînés de manière autonome exige une compréhension approfondie de l'état de l'art en amont de l'apprentissage profond. Il est crucial de comprendre et d'orienter le développement de réseaux de neurones efficaces et non biaisés. C'est pourquoi Jean-Michel Morel aborde cette transition dans ses notes de cours de 2020, « Débruitage d'images : le défi homme-machine » (Pablo Arias, Gabriele Facciolo, and Jean-Michel Morel. Image denoising: the human-machine con-test, Lecture notes, Ecole Normale Supérieure Paris-Saclay. 2020), où les deux approches sont comparées.



Appariement d'images invariant à la perspective au CMLA. L'impact des algorithmes en ligne sans paramètre peut être considérable. L'algorithme de vision par ordinateur le plus influent est probablement la méthode SIFT sans paramètre (David G Lowe. Object recognition from local scale-invariant features. In Proceedings of the seventh IEEE international conference on computer vision, volume 2, pages 1150–1157. Ieee, 1999.) publiée en 2004, déjà citée plus de 60 000 fois et utilisée dans tous les domaines de l'imagerie et de la robotique. Cette méthode peut être appliquée les yeux fermés à n'importe quelle paire d'images. Il s'agit d'une méthode ingénieuse : la reconnaissance d'objets à différentes distances implique l'identification et la compensation de différents noyaux de flou.

Bien que parfaitement invariant à l'échelle, SIFT n'était cependant que partiellement invariant à la perspective. L'équipe de Jean-Michel Morel a découvert, grâce à une analyse mathématique et numérique approfondie menée en 2010, qu'il était possible de l'étendre à une méthode totalement invariante à la perspective. Ce fait est clairement illustré dans l'article d'IPOL, accompagné d'une démonstration en ligne. L'archive publique expérimentale de cet article recense plus de 78 000 expériences. La méthode est décrite de manière optimale dans le premier rapport d'évaluation de l'article (Jean-Michel Morel and Guoshen Yu. Asift: A new framework for fully affine invariant image comparison. SIAM journal on imaging sciences, 2(2):438–469, 2009), publié dans le SIAM Journal of Imaging Science, qui compte désormais 2 000 citations. Les travaux décrits dans cet article proposent un paradigme totalement différent pour étendre le descripteur de Lowe (...).

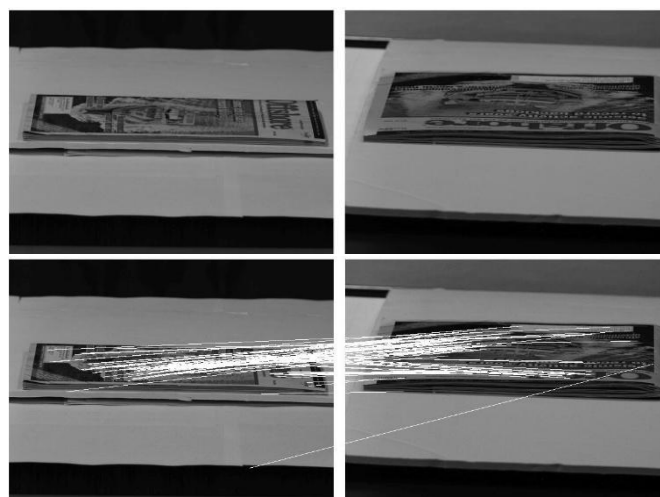


Figure 1 : En haut : Paire d'instantanés du même objet avec une inclinaison de transition $t \approx 36$. (SIFT, Harris-Affine, Hessian-Affine et MSER échouent complètement.) En bas : ASIFT trouve 120 correspondances, dont seulement 4 sont fausses. Voir les commentaires dans le texte.

Contrairement aux affirmations de David Lowe, les auteurs démontrent qu'un échantillonnage judicieux de l'espace affine permet de rendre l'extension de SIFT au cadre affine tout à fait abordable. De plus, ils proposent une méthode multi-résolution dont la complexité de calcul est environ 1,5 fois supérieure à celle de SIFT. Les auteurs ont ainsi mis au point une méthode aux résultats impressionnants, surpassant largement toutes les méthodes de pointe pour la description locale d'images affines. La figure 1 illustre l'invariance perspective en pratique : un même objet, vu sous différents angles, peut subir d'importantes distorsions géométriques (appelées inclinaison de transition) pouvant atteindre 40. Dans l'exemple présenté, cet objet présente une inclinaison de transition de 36 et reste néanmoins reconnu avec une grande fiabilité (116 caractéristiques correctement identifiées).



Figure 2 : Résultat de notre détecteur de segments de ligne à paramètre nul. L'archive publique expérimentale de cet article contient plus de 44 700 expériences.

Théorie de la détection contrario au CMLA. Au cours des 13 dernières années, Jean-Michel Morel et son équipe ont développé une théorie statistique adaptée au traitement d'images, permettant de concevoir des algorithmes sans paramètre. Cette théorie, généralement appelée théorie de la détection contrario, fait l'objet d'une monographie (Agnes Desolneux, Lionel Moisan, and Jean-Michel Morel. *From gestalt theory to image analysis: a probabilistic approach*, volume 34. Springer Science & Business Media, 2007) (720 citations). L'algorithme phare issu de cette théorie est le détecteur de segments de ligne (Rafael Grompone Von Gioi, Jérémie Jakubowicz, Jean-Michel Morel, and Gregory Randall. *Lsd: A fast line segment detector with a false detection control*. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 32(4):722–732, 2008) (2300 citations), testé par des milliers de scientifiques et d'ingénieurs lors de la démonstration en ligne de l'article IPOL (Rafael Grompone Von Gioi, Jérémie Jakubowicz, Jean-Michel Morel, and Gregory Randall. *Lsd: a line segment detector*. *Image Processing On Line*, 2:35–55, 2012) (1100 citations). La théorie trouve des applications extrêmement diverses, telles que la détection de sources d'émission de méthane (en collaboration avec Kayros) dans l'imagerie satellitaire ou la détection d'images falsifiées (Tina Nikoukhah, Rafael Grompone von Gioi, Miguel Colom, and Jean-Michel Morel. *Automatic jpeg grid detection with controlled false alarms, and its image forensic applications*. In *2018 IEEE Conference on Multimedia Information Processing and Retrieval (MIPR)*, pages 378–383. IEEE, 2018) (en collaboration avec l'Agence France-Presse).

Détection d'anomalies, applications industrielles. Une grande partie des activités actuelles de Jean-Michel Morel est consacrée à la détection d'anomalies dans les images ou séquences d'images optiques, dans les vidéos, dans les images radar à synthèse d'ouverture et dans les images hyperspectrales. La raison en est que les images et vidéos numériques sont désormais omniprésentes dans les applications scientifiques, techniques et sociétales. Parallèlement, leur nombre est considérable. Toute application d'analyse d'images doit s'automatiser. La détection d'anomalies a récemment été abordée par Jean-Michel Morel dans (Axel Davy, Thibaud Ehret, Jean-Michel Morel, and Mauricio Delbracio. Reducing anomaly detection in images to detection in noise. In 2018 25th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), pages 1058–1062. IEEE, 2018) et (Thibaud Ehret, Axel Davy, Jean-Michel Morel, and Mauricio Delbracio. Image anomalies: A review and synthesis of detection methods. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 61(5):710–743, 2019). Cette théorie unifiée permet d'éliminer les données parasites et de se concentrer sur les données pertinentes. Elle associe un nombre de fausses alarmes (NFA) à chaque anomalie détectée. Cela permet aux utilisateurs industriels, scientifiques, forces de l'ordre, presse et médecins de trier les données et de n'utiliser que les pertinentes, la pertinence étant contrôlée par le NFA.

Logiciels et recherche reproductible

- Prime de DxO OpticsPro est depuis de nombreuses années le débruiteur d'images brutes le plus reconnu¹ au cours des dix dernières années et repose sur une méthode de débruitage que Jean-Michel Morel a développée. Sa version matérielle, a été installée par DxO dans plus de 700 millions de téléphones mobiles entre 2007 et 2017.
- Le projet structurant du groupe de Jean-Michel Morel, IPOL (Image Processing on Line, www.ipol.im), est une revue qui encourage la recherche reproductible en traitement d'images. Chaque algorithme publié doit inclure une démonstration en ligne exécutable sur toute image téléchargée par l'utilisateur. Fondée en 2011, elle a publié 290 algorithmes avec description mathématique, code source, démonstration en ligne et une archive expérimentale publique contenant plus de 450 000 expériences en ligne réalisées par des utilisateurs issus de plus de 2 000 centres académiques ou industriels répartis sur les cinq continents. Jean-Michel Morel a contribué à 29 articles d'IPOL. Le prix de l'innovation du CNRS a été décerné à Jean-Michel Morel et à son équipe pour le développement d'IPOL.

c. L'équipe Equations aux dérivées partielles se renforce dans la période

Entre 1997 et 1999, trois scientifiques majeurs ont rejoint l'équipe EDP : [Claude Bardos](#) sur détachement CNRS (1997-2000), [Laurent Desvillettes](#) comme Professeur (1998-2015) et [Frédéric Dias](#) en 1999. En 2005, [Frédéric Pascal](#) rejoint le CMLA ainsi que [Florian de Vuyst](#) en 2010.

d. Alain Trouvé rejoint le CMLA en 2003

Cette année-là, Alain Trouvé quitte son poste de Professeur à l'Université de Paris 13 (Villetaneuse) pour rejoindre le CMLA. Alain Trouvé, qui a fait sa thèse sous la direction de Robert Azencott dix ans plus tôt, est le plus géomètre de l'équipe traitement d'images. C'est un spécialiste mondial en Anatomie computationnelle en neuroimagerie.

e. Nicolas Vayatis rejoint le CMLA en 2007

Cette année-là, Nicolas Vayatis est recruté au laboratoire. Ce qui l'a profondément étonné c'est le fait qu'un des plus petits départements de mathématiques du monde (avec une dizaine de statutaires) pouvait autant refléter un universalisme des mathématiques et de leurs applications. Nicolas Vayatis

est dans une période de travaux intenses sur le développement de nouveaux algorithmes d'apprentissage pour le ranking/scoring (et leurs fondements théoriques) au travers d'une collaboration très fructueuse avec Stéphan Cléménçon. Leurs tentatives de valorisation connaîtront plusieurs revers et pour se rassurer, ils se disent qu'ils sont trop en avance. Toutefois ils réalisent que les algorithmes IA ne sont qu'un ingrédient parmi d'autres pour la mise en œuvre de solutions de traitement de l'information pour des applications réelles. Ce qui manquait à la théorie et aux méthodes issues de l'apprentissage statistique, c'est la culture de la donnée, culture dans laquelle baignait l'équipe imagiste, mais aussi la culture des modèles physiques, dans laquelle baignaient ses nouveaux collègues de l'équipe EDP.

Les années 2007-2019 de l'équipe machine learning autour de Nicolas Vayatis.

Les débuts (2007-2016). Sur le plan scientifique, les premières années sont la suite d'une lancée sur ranking/scoring. Les premiers pas dans les collaborations avec les entreprises sont opportunistes. Le marketing digital se développe et le machine learning trouve un terrain naturel d'application : il y a des données massives, pas d'enjeux critiques et des moyens financiers pour soutenir la recherche. C'est aussi la période du challenge Netflix (Netflix prize) qui attise l'intérêt de brillants mathématiciens comme [Terrence Tao](#) et [Emmanuel Candès](#) pour modéliser les systèmes de recommandation qui feront la gloire d'Amazon, Netflix et consorts. Mais, le challenge Netflix marque aussi l'origine du star-système autour des chercheurs en machine learning qui commence à irriguer les équipes de R&D des big techs dans la Silicon Valley. En France, [Thibaut Munier](#), cofondateur de la société 1000mercis, est un des tous premiers partenaires avec qui Nicolas Vayatis noue des collaborations de recherche fructueuses. Outre des thèses Cifre de grande qualité (Emile Richard, Rémi Lemonnier), les questions de modélisation amènent naturellement aux problématiques d'inférence sur des données structurées en graphes ce qui amène une thématique riche du point de vue scientifique qui se poursuit encore aujourd'hui sous divers angles. Parallèlement, Nicolas Vayatis se trouve littéralement embarqué dans un projet financé sur le [FUI](#) pour l'industrie aéronautique, piloté par Michel Ravachol, qui embarque nombre de laboratoires académiques et d'entreprises sur la thématique de la conception de systèmes assistée par IA. Cette collaboration ne produit rien d'intéressant du point de vue recherche dans l'immédiat, si ce n'est des ouvertures applicatives qui, sur cette inspiration, verront naître des réalisations au CMLA bien des années plus tard avec les thèses en apprentissage actif de Steven Masfaraud (cofondateur de la société DessIA), Emile Contal (cofondateur de la société Crossing Minds, rachetée en 2025 par OpenAI) et Themis Stefanakis (qui a valu des articles dans MIT Tech et The Economist).

Rayonnement et structuration de Maths&IA autour du CMLA (2016-2020)

En 2016, le CMLA a une très forte crédibilité sur la thématique Maths & IA. Après la crise des subprimes, le master MVA a doublé ses effectifs avec environ 150 étudiants par an et a détrôné le master de finance mathématique de Paris 6 de la première place des masters les plus prisés en mathématiques appliquées. Y enseignent toutes les grandes figures de la recherche en machine learning et du traitement de l'image et du signal en France : Yves Meyer, Jean-Michel Morel, Stéphane Mallat, Jean-Philippe Vert, Francis Bach, Alessandro Lazaric, Michal Valko, Emmanuel Bacry, Olivier Faugeras ... En tant que directeur du master MVA, Nicolas Vayatis est sollicité par le Secrétariat d'Etat en charge du Numérique (Axelle Lemaire) pour diriger un groupe de travail sur la formation en IA dans le cadre de la mission « FranceIA » dont le rapport a été remis au président de la République, François Hollande, vers la fin de son mandat en 2017.

Dans le même temps, le CMLA attire au recrutement Vianney Perchet et Alain Durmus. Sur le plan des collaborations industrielles, c'est le tsunami, le téléphone sonne presque tous les jours pour solliciter

des collaborations avec des entreprises. Beaucoup d'entre elles souhaitent développer le deep learning, c'est le retour en force des réseaux de neurones, mais nous sommes prudents. Il faut d'abord comprendre le problème industriel avant d'adopter une méthode de résolution. Puis, nos partenaires en puissance sont des entreprises françaises sur des marchés B2B, avec des enjeux critiques, on ne peut se permettre de s'engager sur des méthodologies à faible maturité technologique car il faut de la maîtrise. Ce discours touche certains industriels dont Hubert Tardieu, conseiller spécial de Thierry Breton qui dirige ATOS. Nicolas Vayatis rencontre Daniel Le Coguic, ex-patron de Bull et VP de la branche Défense et Sécurité d'ATOS. Dans le bureau du directeur des programmes du CEA Jean-Philippe Bourgoin, Nicolas Vayatis participe à une rencontre où il est question de soutenir l'effort en IA pour l'industrie loin du buzz et où l'enjeu de créer des interactions entre acteurs industriels nationaux et centres de recherche académiques semble être pris au sérieux. Une chaire partenariale se met alors en place réunissant plusieurs grandes et moyennes entreprises autour des enjeux de l'IA pour l'industrie (transfer learning, IA physiquement inspirée ...). Une titulaire de chaire est identifiée en la personne de [Mathilde Mougeot](#) qui a un talent rare qu'on pourrait qualifier d'artisanat des interfaces entre recherche académique et R&D industrielle. Cette aventure se poursuit encore aujourd'hui autour de Michelin, SNCF et CEA. La chaire a également été mobilisée au moment du Covid car ATOS, ainsi que d'autres grandes entreprises françaises sont intervenues pro bono pour assister l'Etat dans le pilotage de la crise sanitaire, notamment pour le Ministère de l'Intérieur qui devait assurer les modalités de confinement de la population. Le CMLA, devenu à cette époque le Centre Borelli a ainsi apporté son soutien à la fois pour des aspects opérationnels et stratégiques (au niveau de certaines cellules interministérielles) notamment pour des enjeux de qualification de modèles en apportant des versions reproductibles des modèles épidémiques développés en urgence par les épidémiologistes.

f. Agnès Desolneux rejoint le CMLA en 2011

[Agnès Desolneux](#) entame une thèse sur l'analyse statistique de détections d'événements géométriques dans des images, dirigée par Jean-Michel Morel. Elle la soutient en 2000 au Centre de mathématiques et leurs applications (CMLA) à l'ENS Cachan (aujourd'hui ENS Paris-Saclay).

Au cours d'un trimestre thématique organisé à l'Institut Henri Poincaré, Agnès Desolneux fait la connaissance du chercheur américain David Mumford, médaillé Fields en 1974. « Alors qu'il se consacrait aux mathématiques pures au début de sa carrière, j'ai eu la chance de le rencontrer au moment où il s'intéressait à la modélisation des images. » Le mathématicien en fait son assistante de cours et lui propose de rédiger un ouvrage à partir de ses notes. Après de nombreux allers-retours entre la France et les États-Unis, le livre paraît en 2010.

Entretemps, Agnès Desolneux est recrutée au CNRS en 2001 comme chargée de recherche au laboratoire de mathématiques appliquées à Paris 5 (MAP5 – CNRS/Univ. Paris Cité). Elle y reste pendant dix ans avant de revenir au CMLA en 2011 à la faveur de sa promotion comme directrice de recherche CNRS.

À l'intersection entre probabilités et physique des systèmes d'imagerie, les modèles mathématiques permettent de tester le comportement des objets étudiés. « Je considère les images comme des objets mathématiques. À partir de là, je me pose des questions telles que : comment restaurer les images de mauvaise qualité ? Comment faire de la détection dans les images ou encore comment en générer de nouvelles pour diverses applications ? », explique Agnès Desolneux.

Parmi les applications possibles de ces travaux, l'imagerie médicale tient une place particulière et plus précisément les questions autour de la détection précoce de cancer du sein. « À partir des mammographies, nous modélisons ce qui relève de la détectabilité de structures : nous cherchons à

montrer ce qui est détectable ou non » explique Agnès Desolneux qui collabore avec l'entreprise GE Healthcare sur ce sujet. Elle crée également des images de synthèse pour réaliser des essais cliniques virtuels. « Nous simulons par exemple sur ces images des lésions ou des calcifications. Nous faisons ensuite des estimations statistiques pour savoir s'il est possible de les détecter et si oui, à partir de quelle taille. »

D'autres applications existent, comme l'amélioration des images des jeux vidéo et des films d'animation, qui réclament toujours plus de réalisme. À l'opposé, on trouve aussi la restauration d'images : il s'agit par exemple d'enlever les phénomènes liés à l'altération chimique des pellicules anciennes des vieux films numérisés.

Identifier la composition de matériaux très anciens

Aujourd'hui, Agnès Desolneux collabore avec le Domaine d'intérêt majeur (DIM) Patrimoines matériels – innovation, expérimentation et résilience (PAMIR) de la région Île-de-France. Les recherches réalisées s'inscrivent dans le développement du volet « données, modélisations, statistiques » de l'analyse des matériaux du patrimoine ancien. « À partir des images spectrales des matériaux obtenues grâce au flux d'électrons et d'énergie du synchrotron SOLEIL, nous modélisons le phénomène physique pour analyser la composition chimique de ces matériaux, par exemple » expose Agnès Desolneux.

Agnès Desolneux est également membre du Réseau thématique Mathématiques de l'imagerie apprentissage et géométrie stochastique (RT MAIAGES) qui fédère toute la communauté scientifique nationale des mathématiques pour l'image. « De façon générale, mon travail consiste à trouver un équilibre entre complexité des modèles mathématiques développés (pour être le plus réaliste possible et coller au phénomène physique) et simplicité (pour être le plus calculable possible) » explique Agnès Desolneux.

5. La création du laboratoire Cognac G

L'aventure CMLA-Cognac G (2012-2019)

Parallèlement aux développements mentionnés précédemment autour de Maths&IA pour l'industrie, une autre branche s'est développée à partir de 2012 avec de nouvelles interactions autour des neurosciences comportementales et de la médecine. La genèse de ce nouvel axe de recherche est un appel téléphonique que Nicolas Vayatis reçoit de Pierre-Paul Vidal à l'automne 2012. Il explique que la médecine va vivre une révolution du fait des capteurs bon marché et des algorithmes d'apprentissage et que donc il y a une urgence à rapprocher médecine, neurophysiologie et mathématiques en fusionnant nos deux unités. Je ne sais pas trop comment prendre cette proposition mais nous en explorons rapidement le potentiel en installant au printemps 2013 un projet d'élèves-ingénieurs de l'ENSTA au service de neurologie de l'hôpital militaire du Val-de-Grâce sous la supervision bienveillante de Damien Ricard, Polytechnicien, médecin militaire et chef de ce même service. La collaboration est fluide et très prometteuse et c'est le début d'une aventure humaine d'une ampleur comme on n'en connaît peu dans une carrière. De là tout s'enchaîne, les financements de la SATT IDF INNOV dirigée par Christian Estève et l'appui décisif de Robert Marino, les projets 'Smart-quelque-chose' tous « smart » forcément, les recrutements de jeunes, brillants, qui ont accepté les risques immenses liés à cette aventure, doctorants (Rémi Barrois, Clément Dubost, Pierre Humbert, Thomas Moreau, Alice Nicolaï, Charles Truong) et postdoctorants (Julien Audiffren, Laurent Oudre, Ioannis Bargiotas), la création en 2015 de l'UMR COGNAC G, en préfiguration de la création du Centre Borelli, grâce à la bienveillance discrète tels des rois mages des personnes clés de la direction de nos tutelles : Christoph Sorger et Bernard Poulain (CNRS), Frédéric Dardel et Stefano Marullo (Paris-Descartes), Pierre-Paul Zalio (ENS

Cachan) sans oublier le général Dominique Felten (directeur du Val-de-Grâce). Parmi les anecdotes institutionnelles au goût aigre-doux, les piliers de l'initiative COGNAC G se rappelleront de leur exploration des coulisses du Conseil Général à l'Investissement (CGI, désormais SGPI). Ainsi une petite délégation composée des cadres de COGNAC G et de la direction de la SATT IDF INNOV se présente dans sa grande naïveté devant des conseillers du CGI et introduit un projet ambitieux d'institut de recherche interdisciplinaire centré sur l'étude du comportement humain régulier et pathologique. Nos interlocuteurs trouvent l'idée tellement bonne qu'ils proclament quelques mois plus tard l'appel à projet des instituts « Convergence », appel où, bien entendu, notre projet ne sera pas retenu. En effet, comme souvent, la logique institutionnelle écrase le bien-fondé scientifique...

En parallèle, l'équipe Equations aux dérivées partielles voit l'arrivée au CMLA de Thomas Alazard en 2016. François Alouges quant à lui rejoindra le Centre Borelli en 2022.

6. La création du Centre Borelli

Après le déroulé du processus institutionnel, le Centre Borelli, UMR 9010, fusion des UMR CMLA et COGNAC G, est créé au 1er janvier 2020 et son existence s'impose alors comme une évidence, ce qui est en soi déjà un événement singulier. L'idée est tellement naturelle que les tutelles proposent d'intégrer de nouvelles équipes : l'équipe INSERM de [Jean-Luc Martinot](#), spécialisée dans la santé mentale et le suivi de cohortes internationales d'enfants et adolescents en psychiatrie et une équipe de recherche en informatique menée par les professeurs Mohamed Nadif et Ahmed Mehaoua. Les premiers mois d'existence du nouveau centre n'ont rien d'habituel dans la vie d'une unité : la crise sanitaire éclate et, de surcroît, une partie de l'unité doit déménager de Cachan vers le nouveau campus de l'ENS Paris-Saclay sur le plateau du Moulon. L'équipe administrative est sous tension car au-delà de devoir organiser la fusion administrative d'unités, elle doit aussi faire face au télétravail et à l'érosion de l'équipe suite au déménagement. Véronique Almadovar, elle qui a gravi tous les échelons depuis la création du CMLA, s'affirme telle une directrice exécutive de l'unité ce qui lui amènera d'ailleurs une médaille de cristal du CNRS en 2025. Elle organise pendant cette période étrange la continuité de service à la fois pour l'enseignement et la recherche. L'unité peut ainsi poursuivre son activité intense sans encombre grâce à cet engagement sans égal de Véronique et de son équipe, avec notamment Alina Muller et Gwladys Stouvenel. Les chercheurs se trouvent en février 2020, devant un nouveau front, car nos collègues hospitaliers alertent les modélisateurs sur la nécessité de porter assistance à l'organisation des services en période d'attrition des personnels. Une vingtaine de chercheurs du Centre Borelli, dont de nombreux jeunes parmi les doctorants et postdoctorants, se mobilisent alors, laissant de côté leurs thématiques centrales pour accompagner cette demande qui recouvre plusieurs aspects des plus opérationnels au plus stratégiques. Très vite, le Centre Borelli se mobilise sur la question de la reproductibilité et la transparence des modèles épidémiques élaborés en urgence par des équipes spécialisées de l'Institut Pasteur ou de l'Université de Montpellier. Les entreprises partenaires comme Atos s'engagent pro bono pour assister les préfets dans la mise en œuvre pratique des confinements et s'appuient également sur l'expertise des chercheurs du Centre Borelli. Cette période a quelque chose d'une épreuve fondatrice car elle rapproche les générations de chercheurs, les civils et militaires, les praticiens hospitaliers des chercheurs en mathématiques. Des vocations naissent, des élèves de l'ENS Paris-Saclay suivant le parcours « Passerelles » poursuivent des thèses de sciences, des docteurs en mathématiques entament des études de médecine. La période voit également des chercheurs emblématiques du CMLA, comme Yves Meyer, Jean-Michel Ghidaglia, Jean-Michel Morel, quitter l'unité. Le master MVA connaît une troisième jeunesse sous la direction du jeune professeur, Laurent Oudre, fraîchement recruté comme nouvel artisan des interfaces entre mathématiques, signal et applications biomédicales. Laurent monte une équipe de recherche en un temps record pour

investiguer les signaux physiologiques sous toutes leurs coutures avec le défi de travailler sur des signaux bien réels recueillis sur les terrains hospitaliers. Il s'investit également dans d'autres déclinaisons des formations à l'IA. En effet, si le master MVA forme les champions de l'IA au niveau mondial, d'autres besoins en termes de montée en compétences sont identifiés pour des publics non experts. Ainsi, le Centre Borelli est aux manettes de l'Année de Recherche en IA (ARIA) qui est la première (la seule) formation ouverte à tous les départements d'enseignement et de recherche de l'ENS Paris-Saclay : sciences de l'ingénieur, physique, chimie, SHS, sciences du design, langues, notamment. Dans le cadre de l'appel sur les compétences et métiers d'avenir (CMA), Laurent Oudre s'attelle à la sensibilisation à l'IA pour tout public de l'enseignement supérieur au travers de la plateforme BrevetAI qui s'appuie sur le principe d'apprendre par le faire. Le BrevetAI sera ouvert à la rentrée 2026 à tous les étudiants et personnels de l'Université Paris-Saclay (soit plusieurs dizaines de milliers de personnes) et d'autres universités sont prêtes à le déployer. Il sera également proposé sur la plateforme nationale FunMooc. Les aventures du Centre Borelli sur la formation en IA scientifique se poursuivent avec le projet du ClusterIA Paris-Saclay intitulé FormIA qui s'adresse aux enseignants de toutes les disciplines pour les accompagner dans l'intégration de concepts liés à l'IA dans tous les enseignements à tous les niveaux. La chaire IDAML est consolidée avec la pérennisation du partenariat autour de Michelin, SNCF et CEA, sous la houlette de Mathilde Mougeot. Enfin, par anticipation des impacts psychologiques et organisationnels de l'IA, le Centre Borelli investit des thèmes scientifiques comme la santé mentale, l'ergonomie et les humanités. Sur ce dernier thème, l'ouverture devient possible grâce au recrutement de [Julien Randon-Furling](#) sur une chaire de professeur junior, encore un artiste des interfaces entre processus aléatoires, physique statistique, modélisation à base d'agents, arts et sociétés. L'initiative démarre sur les chapeaux de roue avec de nombreuses collaborations et autres financements (ANR, PEPR...). De manière générale, tous les sujets sont abordés avec le même prisme : aller à la rencontre des problématiques concrètes des acteurs de terrain, contribuer aux aller-retours entre sciences et technologies à base de modèles, de simulations et de données empiriques, aborder sous un angle scientifique la question de l'adoption d'outils algorithmiques par les experts du domaine, explorer au-delà les mécanismes physiologiques et psychologiques, les mécanismes décisionnels et les risques afférents.

7. Les contributions à l'Innovation

Comme beaucoup de laboratoires Math&Interaction, le CMLA puis Borelli ont sourcé leur production scientifique dans le cadre de collaborations pluridisciplinaires et industrielles. Il suffit pour cela de se reporter aux lignes qui précèdent. Les travaux avec les entreprises se sont bien entendu déroulés dans le cadre de Contrats avec de très importants flux financiers. De ce point de vue, le CMLA puis Borelli est un champion au sein de l'ENS Paris-Saclay mais aussi aux niveaux national et international.

Ce creuset fertile a vu pousser de nombreuses Startups et Robert Azencott, en avance de phase sur la communauté mathématicienne, a fondé plusieurs entreprises : SUDIMAGE, EASYGLIDER puis MIRIAD TECHNOLOGIES.

a. Des Startups issues du CMLA et de Borelli

nota bene. Cette liste ne peut pas être exhaustive dans la mesure où ces entreprises sont apparues par « génération spontanée ». N'hésitez pas à contacter [Jean-Michel Ghidaglia](#) si vous avez des suggestions d'entreprises à faire figurer dans cette liste.

Nom	Site Web	Domaine	Année de création	Fondateurs issus du CMLA / Borelli
DxO Labs	https://www.dxo.com/fr/	Traitement d'images	2003	Frédéric Guichard
DxOMARK	https://www.dxomark.fr/	Evaluation qualité d'équipements	2017	Spin Off de DxO Labs Frédéric Guichard
Poseidon	https://poseidon-tech.com/fr-FR/	vision par ordinateur pour la détection des noyades	1999	Frédéric Guichard
Dessia Technologies	https://fr.dessia.tech/	IA pour améliorer les process d'ingénierie	2017	Steven Masfaraud
Scibids Technology	https://scibids.com/	IA pour le marketing	2016	Rémi Lemonnier
Crossing Minds	https://www.crossingminds.com/	Moteur de recommandation	2016	Emile Contal

b. La création de deepika

En 2019, [Walid Ben Youssef](#), [Arnaud Salomon](#), Nicolas Vayatis et Jean-Michel Ghidaglia, s'interrogent sur l'opportunité de créer un fonds pour le financement d'entreprises deeptech dans l'IA avec un solide back ground scientifique et technique. En effet tous les quatre ont été sollicités, individuellement le plus souvent, pour donner leur avis dans le cadre de Due Diligence sur des dossiers de financement de Startups s'appuyant significativement sur des technologies IA pour établir leur business. Il leur est apparu, qu'en général, les fonds d'investissements dans la deeptech étaient passés maîtres dans l'art d'évaluer les aspects humains (équipe) et économique (business plan) mais par contre sur le plan technologique certains se comportaient en suiveur de modes et se laissaient impressionner par les buzz word et les CV prestigieux.

Walid Ben Youssef, normalien de Cachan, Docteur en mathématiques et consultant Senior dans l'Innovation des territoires depuis de très nombreuses années, nous propose alors de considérer le modèle du « Startup Studio ». Ces structures d'innovation sont apparues dans les années 2010 dans la Silicon Valley. Le précurseur est Idealab fondé en 1996 par Bill Gross à Pasadena en Californie. En France, c'est [Thibaud Elzière](#) et [Quentin Nickmans](#) qui ont fondé le premier Startup Studio en 2011 :



eFounders. Renommé HEXA fin 2022, ce Startup Studio est toujours actif et fécond (3 licornes sur une quarantaine d'entreprises créées).

Après étude approfondie du modèle, Walid Ben Youssef, Arnaud Salomon, Nicolas Vayatis et Jean-Michel Ghidaglia décident d'instruire la création d'un Startup Studio dans l'IA. Celui-ci devait lancer son tour de table constitutif au printemps 2020 lorsque la pandémie due au virus de la COVID a engendré les désordres que l'on connaît. Ce projet de développement est alors mis entre parenthèse jusqu'à la fin de la pandémie.

A l'automne 2022, l'équipe reprend du service, met à jour le Projet et décide de le présenter à quelques fondateurs potentiels. La société Kannon For Deep Tech est ainsi créée par 29 fondateurs le 29 mars 2023. Elle prend le nom commercial de « deepika » et affiche sa filiation intellectuelle avec le Centre Borelli, <https://deepika.ventures/>

Se présentant davantage comme un « venture studio deep tech » que comme un startup studio SaaS classique type [Hexa](#), deepika travaille sur des sujets plus scientifiques ou souverains autour de l'IA responsable.

deepika a inventé un nouveau modèle de création de Startups : le modèle « nouvelle vague » qui est centré sur la co-construction scientifique et métier. Il s'appuie sur un Product studio deepika.ai.

deepika est soutenu par une dizaine de Business Angels et s'appuie sur un « Conseil Ethique, Economique, Technologique et Scientifique » comportant 65 experts Seniors dans de nombreux domaines.