

INVESTISSEMENTS D'AVENIR

Discipline :
*Sciences Numériques et
Mathématiques*

SYNTHESE THEMATIQUE

I- INTRODUCTION

Nous donnons quelques éléments de synthèse pour la thématique Sciences Numériques et Mathématiques, que nous abrègerons dans la suite par NuMa. Elle recouvre les Mathématiques, l'Informatique, la Robotique, l'Automatique... aussi bien du point de vue de la recherche fondamentale que des applications dans des domaines extrêmement variés, tels que l'environnement, la santé ou les véhicules intelligents. La plus grande partie du PIA est portée par les Labex et les Equipex, les nouvelles actions, Instituts Convergences et Écoles Universitaires de Recherche (EUR), ont peu fait évoluer le paysage de la thématique. Les Equipex et les Labex ont été évalués respectivement en 2017 et 2018, ces derniers en vue d'une éventuelle prolongation. Tous les Labex de la thématique NuMa ont été prolongés jusqu'à fin 2024.

II- PRESENTATION GENERALE

La discipline Sciences Numériques et Mathématiques regroupe 38 projets, pour une dotation totale de 497,89M€, répartis en 23 Labex (171,8M€), 9 Equipex (78,75M€) 2 Instituts de Recherche Technologique (210,14M€), auxquels s'ajoutent 1 Institut Convergences (9,86M€), 2 EUR (26,44M€), et un projet Internats Excellence et Égalité des Chances (IEEC, 0,9 M€). Notons que cette répartition thématique comporte une certaine part d'arbitraire, particulièrement sensible pour les Convergences et les EUR qui sont par construction interdisciplinaires.

Action	Nombre de projets	Dotation (M€)	% du nombre de projets	% dotation
Equipex	9	78,75	9,2%	10,9%
Labex	23	171,80	13,5%	11,4%
IRT	2	210,14	25,0%	22,1%
EUR	2	26,44	6,9%	7,4%
Convergences	1	9,86	10,0%	9,6%
IEEC	1	0,90	100,0%	100,0%
Total	38	497,89	11,4%	13,3%

Tableau 1: données globales pour la thématique Numériques-Mathématiques. Les pourcentages totaux sont calculés uniquement par rapport aux actions concernées

Instituts Convergences. Sur les 10 Instituts Convergences, 9 mentionnent les Sciences Numériques et Mathématiques dans leur dossier initial, dans une proportion plus ou moins grande, et en tout état de cause difficile à quantifier. Après deux ans de fonctionnement, il est possible d'affiner cette estimation, et d'associer à chaque Institut deux domaines disciplinaires principaux. Seul DataIA (Paris-Saclay) relève de NuMa en domaine principal, fortement associé aux Sciences Humaines et Sociales : il étudie l'impact des sciences des données et de l'intelligence artificielle sur la société, dans ses aspects économiques, juridiques, relations homme-machine... Les Sciences Numériques et Mathématiques

apparaissent comme domaine secondaire dans 6 Instituts, associées aux domaines Biologie-Santé (4 projets), Agronomie-Écologie et SHS (2 projets).

Écoles Universitaires de Recherche. Les EUR émargent très peu aux Sciences Numériques et Mathématiques. Un seul projet relève principalement du domaine, DS4H (Digital Systems for Humans), située à Nice (Université Côte d'Azur), qui émane du Labex UCN@Sophia, avec une nette ouverture vers les SHS, dans un esprit similaire à DatalA : impacts légaux, économiques, sociaux des objets connectés sur la société. Le projet EURIP (École Universitaire de Recherche Interdisciplinaire de Paris, Université de Paris) se situe aux interfaces entre sciences du vivant, du numérique et de l'éducation. Bien que rattaché à la thématique NuMa, il est résolument interdisciplinaire, et mène une réflexion sur l'enseignement, la formation par la recherche et les pédagogies innovantes dans le domaine de la santé. Notons que l'EUR DPH (Digital Public Health), porté par l'Université de Bordeaux, a pour thématique prioritaire la santé publique, mais comporte aussi une forte composante NuMa, en l'espèce sur les données massives et les outils connectés, associée aux SHS pour les impacts individuels et sociétaux.

Instituts de Recherche Technologique. Deux des Instituts de Recherche Technologique (IRT) relèvent entièrement de la thématique NuMa : SystemX (Paris-Saclay) et b<>com (Rennes). SystemX se définit comme l'IRT de la transition numérique, avec des compétences particulières en intégration (systèmes de systèmes), en sécurité logicielle et en intelligence artificielle. b<>com est spécialisé dans les technologies numériques liées à la communication : audio et vidéo immersifs, réseau 5G, protection des contenus...

Les Sciences Numériques et Mathématiques interviennent également de manière non négligeable dans les IRT Jules Verne (Nantes) et Saint-Exupéry (Toulouse). L'IRT Jules Verne, qui se consacre aux technologies de production manufacturière, intègre naturellement dans tous ses projets une dimension numérique. Environ 14 % des projets, en nombre aussi bien qu'en budget, relèvent pleinement de la thématique NuMa, en robotique et simulation numérique. La situation est un peu différente à Saint-Exupéry, l'IRT de l'aéronautique et de l'espace, où 26 % des projets se partagent 37 % du budget, sur des thématiques liées aux systèmes embarqués. La moitié des projets ont un budget supérieur à 7M€, en particulier le projet DEEL, sur les méthodes d'apprentissage profond dans les systèmes embarqués : sûreté, sécurité, robustesse, certification, qui est financé à hauteur de 15M€.

Equipex. Les Sciences Mathématiques et Numériques comportaient initialement 9 projets Equipex, dont 6 sont en phase de clôture, FIT et Robotex ayant été prolongés jusqu'en 2020. Les Equipex ont été évalués en juin 2017, sur dossier scientifique et audition devant un jury international réparti en sous-jurys thématiques. Le sous-jury NuMa était présidé par Farid MEZIANE (Salford, UK). Le jury a considéré que les projets étaient à l'avant-garde des développements actuels dans le domaine des Technologies de l'Information et de la Communication. Il a souligné la diversité des sujets abordés et la grande qualité de l'ensemble des projets, qui ont un impact scientifique et économique important : les Equipex associent publications scientifiques de haut niveau et créations de startups. La

question majeure reste la pérennisation de ces équipements. Si certains Equipex peuvent envisager des débouchés commerciaux, d'autres, plus orientés vers la recherche fondamentale, sont confrontés au risque de perdre les ressources humaines et les compétences acquises lorsque le financement PIA s'interrompt.

Un nouveau projet Equipex, négocié de gré à gré lors du PIA 2 en 2017, relève de la thématique NuMa. Il est porté par le GENCI (Grand Équipement National pour le Calcul Intensif, basé à Paris), et concerne spécifiquement le stockage de données massives, un point crucial lié au développement des instruments d'observation, mais aussi aux simulations numériques à très grande échelle, par exemple en climatologie. Doté de 30M€ sur 5 ans, il est structuré en deux phases, dont la première répond justement à un appel de la communauté française de climatologie, lié au 6ème exercice du GIEC. Il s'agit d'un vaste programme de comparaison de modèles climatiques, où les laboratoires français (dont l'Institut Pierre-Simon Laplace) sont très impliqués. Pour cette phase, qui se déroule jusqu'en 2020, les équipements sont installés et en cours d'utilisation. Une seconde phase, jusqu'en 2022, prévoit de fournir à l'ensemble de la communauté scientifique un service d'hébergement, d'archivage, d'analyse et de traitement des données. L'approche technologique utilisée, dite « data-centrique » est novatrice : le stockage n'est plus associé à un supercalculateur donné, mais regroupés dans une architecture globale, accessible aux calculateurs clients via des réseaux haute performance.

Labex. Le paysage initial des Labex a été quelque peu modifié, suite à la dévolution de quatre IDEX et au programme Écoles Universitaires de Recherche (EUR), qui incorporait éventuellement certains Labex :

- 6 labex sont dans des IDEX dévolues : 4 à Paris vers Sorbonne-Université (Smart, CalSimLab, SMP, MS2T), 1 à Marseille vers Amidex (Archimède), 1 à Strasbourg vers Unistra (Irmia). Le Labex SMP, Sciences Mathématiques à Paris, porté par la Fédération éponyme, ne dépendait spécifiquement d'aucune des IDEX parisiennes, mais a choisi finalement d'intégrer Sorbonne-Université.
- 2 Labex ont intégré des EUR : Action vers EIPHI (Besançon), UCN@Sophia vers DS4H (Nice)

Les 15 Labex restants étaient donc candidats à la prolongation, et ont été évalués en novembre 2018, uniquement sur dossier. Le sous-jury NuMa était présidé par Stephan MÜLLER (Bonn). Tous les Labex ont été prolongés pour 5 ans. Le jury dresse un bilan très positif de l'action Labex en Mathématiques et Informatique, en particulier au niveau international. Du point de vue de la formation, les programmes de Master, de Doctorat et Post-doctorats ont acquis une réelle visibilité internationale. Les chaires d'excellence et les programmes thématiques de grande envergure ont permis de renforcer les collaborations internationales, en particulier grâce aux contacts facilités entre jeunes chercheurs et experts internationaux. Le jury a également mis en avant l'interdisciplinarité des Labex, que ce soit dans l'interaction entre Mathématiques et Informatique, ou avec les autres sciences, avec dans les nouveaux projets la prise en compte de l'impact sociétal des nouvelles technologies (données massives, intelligence artificielle). La stabilité et la durée du financement ont permis de créer des réelles interactions entre Mathématiques et Informatique, aussi bien en recherche qu'en enseignement.

III- CHIFFRES ET INDICATEURS

Du point de vue financier, la comparaison entre l'aide consommée et la dotation initiale est conforme à la progression des actions : 94 % pour les 8 Equipex initiaux, 76,5 % pour les Labex. Les 8 Equipex initiaux étant en phase de clôture, ou en tranche 2 (fonctionnement), dont les montants sont peu élevés, la progression est conforme. L'Equipex GENCI pour sa part a dépensé 35 % de sa dotation, répartis en 88,3 % d'équipements et 11,7 % de prestations. Les Labex pouvaient fonctionner à budget égal jusqu'en 2022, donc là aussi la progression est conforme. Si l'on considère la répartition par types de dépenses, voir Figure 1, il n'y a pas de surprise non plus : les Equipex ont une ligne majoritaire en équipement, les Labex et EUR dépensent majoritairement en personnel. Les Labex ont des frais de fonctionnement et de gestion plus importants.

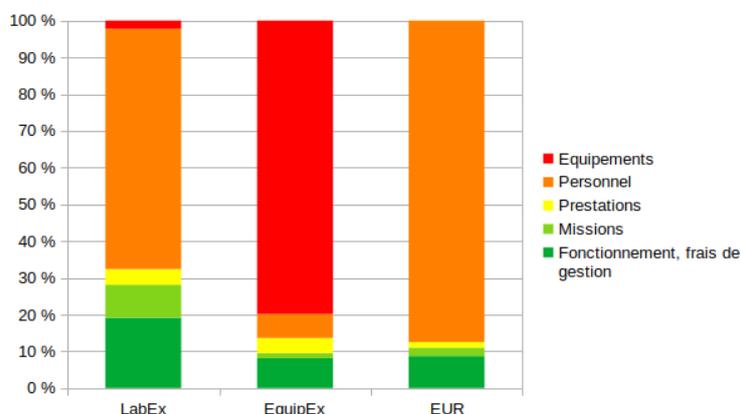


Figure 1: Répartition par types de dépenses

La répartition régionale des projets montre une très nette domination de l'Île-de-France, suivie par Auvergne-Rhône-Alpes, voir Figure 2. Ces données sont cependant à pondérer par le fait que la répartition ne prend en compte que la localisation du Responsable Scientifique et Technique du projet. En particulier d'importants projets en réseaux, tels que les Labex AMIES ou Carmin, les Equipex Equip@meso, FIT ou Robotex, se retrouvent de ce fait localisés dans une région donnée.

Quatre régions sont absentes, elles figurent parmi les cinq dernières du classement obtenu à partir des données STRATER1 en termes d'effectifs du personnel en Recherche et Développement. Ces régions ont pu mettre en avant d'autres disciplines, par exemple en Centre-Val de Loire, ou être partenaires de projets portés par une région voisine : c'est le cas pour les Pays de Loire, où deux Labex portés en Bretagne recouvrent les deux régions. La faible implication de la Nouvelle Aquitaine peut surprendre, mais il faut noter que l'activité PIA de Bordeaux est essentiellement portée par l'Idex Bordeaux depuis 2011, et n'est donc pas répertoriée ici. L'institut Convergences, DataIA, est situé en

Tore intérieur : % de budget - Tore extérieur : % nombre de projets

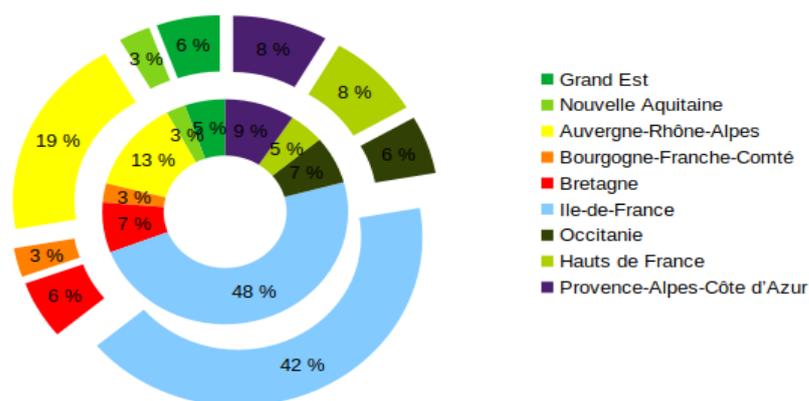


Figure 2: Répartition régionale des projets NuMa (hors IRT)

Île-de-France, sur le campus de Paris-Saclay. Les deux EUR de la thématique sont localisées en Île-de-France (Université de Paris) et à Bordeaux.

Un certain nombre d'indicateurs de réalisation, rassemblés dans le Tableau 2, permettent une tentative d'analyse qualitative des résultats des actions Equipex, Labex et IRT. On y retrouve les trois grandes orientations des Centres d'Excellence : recherche, formation, valorisation. Il est encore un peu tôt pour tirer un bilan des EUR et Instituts Convergences, mais on peut estimer l'efficacité relative de la thématique pour les actions Labex et Equipex en calculant pour chaque indicateur le rapport entre NuMa et l'ensemble des thématiques, et en le comparant au ratio des dotations, voir Figure 3.

Les indicateurs de publications sont difficiles à interpréter. Le chiffre le plus évident est le ratio entre publications déclarées et publications avec remerciement, répertoriées par exemple dans la base WoS : seulement 44 % des articles publiés citent l'action Labex (chiffres DGPIE). Ces chiffres sont à nuancer, car ils peuvent dépendre fortement de la politique de chaque Labex : certains incluent les publications de l'ensemble du périmètre du Labex, d'autres sont plus restrictifs dans leurs choix. Le nombre de publications avec remerciements a augmenté sur l'ensemble de la période, particulièrement pour la discipline NuMa (+436 % sur la période 2012-2017, contre +214 % toutes disciplines confondues, chiffres OST). Les indices bibliométriques classiques (décile des publications les plus citées) ne sont pas forcément significatifs, voire non calculables au niveau de chaque Labex, en raison du faible volume de publications. Par ailleurs, ce taux de citations à 2 ans est traditionnellement moins favorable à la recherche amont, en particulier en Mathématiques et en Informatique fondamentale.

L'attractivité des Labex de la thématique se manifeste par le taux relativement élevé par rapport au rapport des dotations sur les projets ERC, et les distinctions telles que les médailles CNRS et les postes IUF. L'effort a également porté sur les professeurs invités, qui représente toujours une part importante de la politique des Labex. Du point de vue de la formation, on constate que les Masters sont à proportion du ratio, mais un retrait sur les post-doctorats. Ces résultats sont à nuancer en fonction des politiques différentes au sein de chaque projet. Les thèses initiées sont par contre proportionnellement très importantes, le chiffre comprend les thèses financées au moins à 50 % par le PIA, ainsi que les contrats CIFRE, qui représentent 36 % du total, à comparer aux 25 % sur l'ensemble des thématiques. L'effort de recherche porte donc aussi sur la valorisation, ce qui est corroboré par la

Indicateur	Equipex		Labex		IRT	
	NuMa	Total	NuMa	Total	NuMa	Total
Dotation (M€)	78,75	722,60	171,8	1501,9	210,14	949,95
Publications déclarées	3692	8027	7968	68537	79	399
Publications remerciées	855	2742	3514	26980		
Communications	-	-	2956	30127	406	805
Brevets	88	332	146	1489	80	190
Startups	6	37	57	294	1	7
ERC	-	-	93	581	-	-
IUF	-	-	145	821	-	-
Médailles CNRS	-	-	51	385	-	-
Professeurs invités (mois)	-	-	1376	10282	-	-
Masters	3316	9960	8341	74166	-	-
Thèses initiées	2112	4277	954	5633		
Financées PIA (≥ 50%)	-	-	605	4214	107	283
CIFRE	-	-	349	1419		
Post-doctorats	-	-	841	9583	22	140
Cofinancements (M€)	27,35	306,87	177,74	1 694,45	24,1	131,4
public	16,62	190,97	106,20	931,43	19,9	45,8
Europe	7,17	58,58	45,46	391,01	3,4	24,2
international (hors EU)	0,005	25,37	1,03	78,43	0,2	15,6
privé	3,55	31,95	25,05	299,10	0,6	45,8

Tableau 2: Bilan cumulé au 31/12/2018 des indicateurs déclarés des Labex, Equipex et IRT

proportion importante de créations de startups. Les brevets en revanche sont en retrait, mais ce n'est guère surprenant, les produits en Sciences Numériques et Mathématiques relevant plus du logiciel, qui se prête mal au dépôt de brevet. De plus, une moitié des Labex est orientée vers une recherche plus fondamentale en Mathématiques et Informatique, très en amont de possibles brevets.

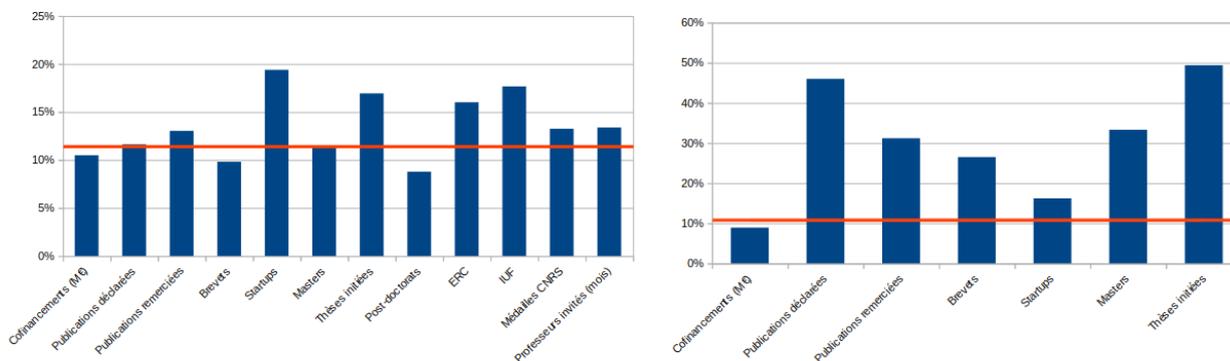


Figure 3: Indicateurs d'efficacité pour les Labex (gauche) et les Equipex (droite)
En rouge le ratio des dotations

Trois indicateurs ont une interprétation différente entre les actions Labex et Equipex : pour ces derniers, les thèses initiées, les masters et les publications concernent l'ensemble des utilisateurs de l'équipement. Deux des Equipex sont en réseau national : Robotex et Equip@meso, et recensent donc potentiellement les données de plus d'une dizaine d'universités. Le cas d'Equip@meso est même singulier. C'est un ensemble d'une quinzaine de supercalculateurs régionaux, qui concentre à lui seul 34 % des thèses de toute l'action Equipex, 29 % des masters et 36 % des publications déclarées, ce qui semble en accord avec le fait que tout master ou toute thèse utilisant l'un de ces calculateurs compte dans l'indicateur. Ceci explique aussi le rapport très dégradé entre publications déclarées et publications avec remerciements (seulement 10%) : les utilisateurs remercient le centre de calcul, sans

se rendre compte qu'il fait partie d'un Equipex. Si l'on retire ces données, la thématique NuMa reste assez efficace dans l'action Equipex, avec 23 % des thèses, et 16 % des publications. Les 7 Equipex restants sont d'ailleurs très bons élèves en ce qui concerne les remerciements : 70 % des publications déclarées les comportent. Du point de vue de la valorisation, on note que les dépôts de brevets et les créations de startups sont bien au-dessus du ratio des dotations. Ramenés au nombre de projets, on trouve une moyenne remarquable de 11 brevets par Equipex en NuMa, à comparer à 3,6 toutes thématiques confondues.

L'effet levier du PIA, illustré ici par les cofinancements, a toujours été évalué positivement par les responsables de projets. L'effet est particulièrement spectaculaire pour les Labex, qui font mieux que doubler leur financement : 177,7M€, à comparer aux 133,0M€ décaissés. Les Equipex augmentent leur budget de moitié : 27,5M€ de cofinancements pour 47,1M€ décaissés. Il est difficile de comparer les montants de cofinancement des IRT aux autres actions, car les conditions sont plus restrictives, et les dépenses propres des partenaires ne sont pas prises en compte. Le montant final est par conséquent faible, comparé aux autres actions. Sur l'ensemble des deux actions Labex et Equipex, les cofinancements sont en augmentation constante, voir Figure 4 - gauche. En proportion, on constate

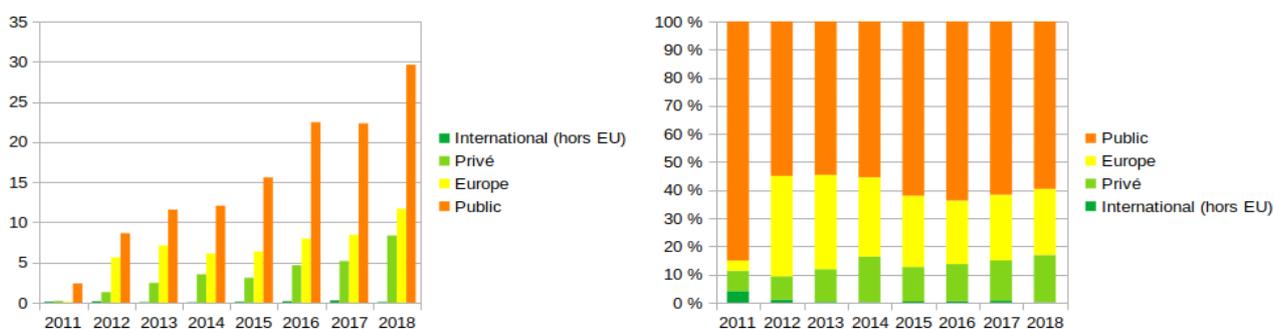


Figure 4: Évolution des cofinancements pour les Labex et Equipex
Gauche : en M€ - Droite : en %

que la part internationale reste clairement négligeable, et que les autres sources sont relativement stables, le public étant toujours dominant (collectivités territoriales, ANR), Figure 4 - droite.

IV- QUELQUES EXEMPLES D'APPORTS DU PIA

Montpellier et l'environnement

Le Labex **NUMEV**, situé à Montpellier, s'est donné pour programme « Solutions numériques, matérielles et modélisation pour l'environnement et le vivant ». Il finance des projets intrinsèquement interdisciplinaires, dont les plus importants en budget et en durée sont appelés Étendards. Parmi ceux-ci, le projet ALEYIN s'appuie sur une collaboration entre quatre laboratoires de l'Université de Montpellier, partenaires du Labex, deux entreprises (Syera et Reeds) et l'association PlongéeSout, pour réaliser des systèmes robotiques autonomes en mesure de visiter et cartographier les réseaux karstiques noyés, lieux de la ressource en eau souterraine.



Les enjeux scientifiques portés par ALEYIN sont intrinsèquement transdisciplinaires, depuis la création de nouveaux capteurs acoustiques adaptés au milieu, la recherche de stratégies de navigation subaquatique, la réalisation de systèmes autonomes opérants en milieux confinés (illustration ci-contre), jusqu'à bien sûr, finalité du projet, l'acquisition de données de terrain. Le projet mobilise ainsi un spectre scientifique extrêmement large, mathématiques, hydrosiences, robotique, électronique... pour décrire la dynamique de ces hydrosystèmes souterrains et contribuer ainsi à la prospection, la protection et la gestion active de la ressource en eau souterraine. La collaboration effective entre les partenaires et l'intérêt grandissant que suscite ce projet, qui a bénéficié également de subventions de la Région Occitanie et de la Métropole Montpellier Méditerranée, ont mené à la création de l'entreprise Reeds, installée en

région et dont l'objectif est de proposer des services d'inspection de structures immergées telles que les barrages et les galeries hydrauliques. Le prochain enjeu sera de réaliser la cartographie des Sources du Lez, qui alimentent Montpellier, et aider ainsi la Métropole à décider de la stratégie de gestion active de cette précieuse ressource.

Toulouse et l'interaction mathématiques-informatique

Le LabEx **CIMI** fait partie des projets qui ont misé sur l'interaction entre Mathématiques et Informatique, un domaine où le jury de 2018 a estimé que la France accusait un léger retard, aussi bien en recherche qu'en enseignement. Dans cette optique, le jury a salué la création de deux équipes interdisciplinaires, constituées à parts égales de membres des deux laboratoires de Mathématiques (IMT) et d'Informatique (IRIT), physiquement rassemblés sur un même site. La première de ces



équipes, AOC (Apprentissage, Optimisation, Complexité), a été créée en 2016. Elle rassemble, autour de la thématique Intelligence Artificielle (ou Machine

Learning), une vingtaine de chercheurs et une douzaine de doctorants et post-doctorants en statistiques, probabilités, optimisation, traitement du signal et linguistique computationnelle. Elle a une activité soutenue d'organisation de conférences et workshops internationaux (une quinzaine en trois ans), et de nombreuses publications interdisciplinaires dans des revues de qualité. La seconde équipe, de création beaucoup plus récente (2018), se nomme CASI (Conception et Analyse de

méthodes mathématiques pour la Simulation Intensive), et se consacre aux méthodes de résolution de problèmes de grande taille : analyse multi-échelles, assimilation de données, quantification d'incertitudes, programmation parallèle. Sur le site toulousain, les applications concernent notamment l'aéronautique et l'observation de la Terre. Certains des semestres thématiques organisés par CIMI sont explicitement bi-thématiques, par exemple le semestre « Mathématiques et Informatique pour les sciences du vivant » en 2017. En parallèle, CIMI a également créé une formation délivrant un double diplôme de Licence en Mathématiques et Informatique, qui a attiré environ 50 étudiants en 2018. Le Master doit être créé à la suite. Toute cette activité est évidemment en lien étroit avec le projet 3IA de Toulouse, ANITI (Artificial & Natural Intelligence Toulouse Institute).

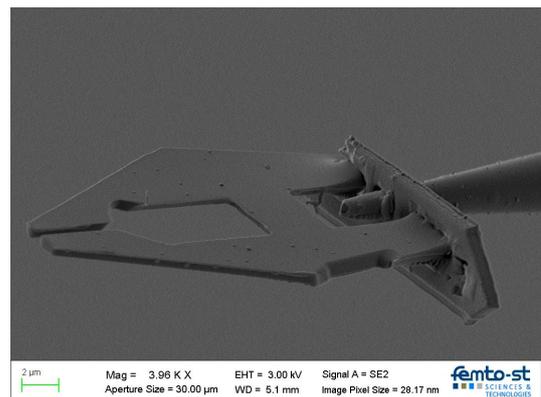
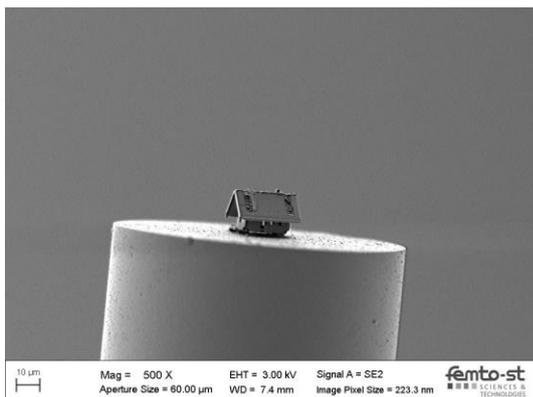
Lyon et la médiation scientifique

Une spécificité du Labex **MiLyon**, en dehors de son activité régulière de publication et de formation, est la part importante dévolue à la médiation scientifique, fédérée sous la bannière de la « Maison des Mathématiques et de l'Informatique » (MMI). La MMI a été créée en 2012, et a présenté cette année-là une machine de Turing en Lego. Elle bénéficie de locaux propres depuis 2014. Les points forts de la MMI sont la multiplicité des lieux (locaux MMI, universités, établissements scolaires, lieux culturels, etc.), des modalités d'action (expositions, conférences, ateliers, stages ou écoles d'initiation, etc.) et des publics (grand public, scolaire du primaire à l'université), ainsi que l'implication importante des chercheurs. Sur l'année universitaire 2017-18, plus d'une vingtaine d'ateliers proposés par la MMI et ses partenaires autour de thématiques variées en mathématique, informatique, robotique, ont attiré plus de 160 classes (soit plus de 4000 élèves). L'animation itinérante MathaLyon, qui consiste en une rencontre de deux jours avec des chercheurs au sein des établissements, a touché près de 5000 élèves cette année. L'exposition-spectacle Magimatique 2.0 a séduit plus de 2500 personnes, et une partie itinérante a permis de toucher environ 1000 élèves. En 2018, la MMI s'est engagé dans une collaboration avec l'Institut Henri Poincaré (IHP) à Paris, lui-même partenaire du Labex **CARMIN**, et Fermat Science à Toulouse, pour le design des expositions. Cette nouvelle collaboration est un pas important pour la MMI : elle accroît en effet la visibilité de son action et permet proposer des expositions de plus grande envergure, tout en partageant les coûts de conception et réalisation.

Également à Lyon, la **Fondation Blaise Pascal**, troisième volet du projet Cap'math, propose des financements à une grande variété de projets autour de la médiation scientifique en Mathématiques et Informatique, répartis sur tout le territoire national. La Fondation est particulièrement attentive à la parité et à l'égalité des chances dans ces disciplines. Elle soutient l'association « Science Ouverte » (<http://scienceouverte.fr/>), née d'un travail de terrain en Seine-Saint-Denis, qui intervient en sciences, en particulier en mathématiques, dans les classes difficiles en primaire et au collège, dans l'esprit du rapport Villani-Torossian. La Fondation soutient également « Girls Can Code ! » (<https://gcc.prologin.org/>), un programme de stages d'informatique à destination des collégiennes et lycéennes, dont l'idée est née du constat de sous-représentation féminine en informatique. Enfin, elle figure, avec le Labex **CIMI**, parmi les cofinanceurs du projet Sign'Maths dont le but est de créer un glossaire mathématique en Langue des Signes Française, sous forme de vidéos et schémas en libre accès sur Internet.

Besançon et le micro-immobilier

La plus petite maison du monde a été construite à Besançon. Ses dimensions, de l'ordre de 10 micromètres, conviendraient éventuellement à une bactérie : sur la photographie de gauche ci-dessous, elle est posée sur une fibre optique dont l'épaisseur est celle d'un cheveu humain. Technologiquement parlant, cette micro-maison a été façonnée à partir d'une plaque de silice découpée, pliée façon origami et soudée en chambre à vide, à l'aide d'un faisceau d'ions focalisé et d'un nanorobot piloté par un microscope électronique à double balayage. Cette performance a été rendue possible grâce à la plateforme de micro-robotique μ ROBOTEX de l'EquipEx **Robotex**, au sein de l'Institut FEMTO-ST, partenaire du LabEx **ACTION**.



Au-delà de son aspect spectaculaire et esthétique, qui a suscité un fort engouement médiatique (350 articles de presse dans 40 pays, 5 émissions de radio, 1 reportage à la télévision, citée parmi les meilleures images scientifiques de « Nature » en 2018), cette réalisation ouvre la voie à la fabrication de micro-capteurs dans plusieurs domaines : santé, énergie... L'intérêt de la fibre dans ces conditions est triple : c'est évidemment un support mécanique, elle permet aussi la collecte d'information en provenance d'un micro-capteur, mais de plus elle offre la possibilité d'actionner un dispositif en bout de fibre, comme la micro-pince présentée sur la photographie de droite ci-dessus.

De la thèse aux marchés de la Télévision Numérique à Rennes avec b<>com



Alors que les écrans de nouvelle génération promettent une nouvelle expérience, une immersion plus importante grâce à une image dite « HDR » offrant plus de couleurs, plus de lumière, des noirs plus profonds, les industriels sont confrontés à l'hétérogénéité des signaux qu'ils doivent traiter tout au long de la chaîne de traitement vidéo (HD ou UHD), lorsque des équipements ou contenus de génération précédente, dite SDR, doivent cohabiter avec des

équipements ou contenus HDR. Le rapport de performance entre les deux technologies est au moins d'un facteur 10. b<>com a donc saisi l'opportunité d'accompagner les industriels dans cette transition majeure pour la filière.

b<>com s'est d'abord appuyé sur une thèse, puis a déployé ses savoir-faire en ingénierie logicielle et matérielle pour développer, promouvoir et industrialiser un jeu d'ingrédients technologiques permettant l'expansion (« SDR2HDR ») et la réduction (« HDR2SDR ») de dynamique de lumière et de couleur.

b<>com est ainsi le premier à avoir introduit sur le marché une solution temps réel de conversion adaptative, image par image, de la dynamique de lumière et de couleur de contenus vidéo. Intel s'est intéressé à l'offre b<>com dès 2016, lors de sa présentation au plus grand salon mondial du domaine, le NAB Show à Las Vegas, et l'a intégrée à son Hub Intel FPGA. Depuis 2018, Dolby recommande officiellement la version réduction de dynamique de la solution. Plusieurs licences d'exploitation de la technologie ont été conclues avec de grands noms du domaine comme Harmonic ou Axxon, ou encore avec des PME françaises comme B-Bright.

Cette technologie a été brevetée et le doctorant (aujourd'hui brillant docteur) a présenté plusieurs publications dans des conférences scientifiques mondiales. Ces travaux ont été récompensés par deux trophées internationaux, le « *NAB Innovation Award 2017* » et le « *NAB Product of the Year Award 2019* ».

Vers Saclay en véhicule autonome avec SystemX

SystemX a conduit de 2014 à 2017 le projet ISE consacré à la sécurisation des logiciels embarqués dans les véhicules de demain, qui seront connectés et communiqueront avec les autres véhicules et les infrastructures routières favorisant ainsi le développement de nouvelles applications ITS (Intelligent Transport System) pour l'amélioration de la sécurité routière, de la gestion de trafic, des services de mobilité et de confort.



Le projet ISE a obtenu de nombreux résultats concrets, tant sur le plan de l'innovation (apports de réponses techniques aux défis industriels) que sur le plan de la création de valeur avec des transferts technologiques réussis : développement de solutions sécurité/vie privée innovantes testées dans des contextes de déploiement large échelle (Infrastructure à clés publiques (PKI) satisfaisant des objectifs

de mises à l'échelle importante dans les domaines des Systèmes de Transports Intelligents Coopératifs (C-ITS) ou de l'Internet des Objets, pile de sécurité standardisée et interopérable pour l'embarqué), transfert vers les projets de pré-déploiement (projet SCOOP du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, cofinancé par l'Union Européenne) et la standardisation au niveau européen. Le projet ISE a finalisé 6 brevets et dépôts logiciels APP (Agence pour la Protection des Programmes), ainsi que 5 transferts technologiques et transferts. Il a également ouvert des perspectives sur les protocoles de transfert « V2X » entre un véhicule et son environnement au sens large (infrastructure routière, piéton...), dont notamment la problématique de détection de mauvais comportements au sein du système. Ce sujet fait l'objet du projet SystemX SCA, suite logique du projet ISE.

ANNEXES

LISTE DES PROJETS NUMÉRIQUES-MATHÉMATIQUES

Type d'action	Acronyme	Titre	Porteur	Région	Dotation (M€)
IEET	Cap'math	Fondation Blaise Pascal	Stéphane Gaussent	Rhône-Alpes	0,9
		https://www.fondation-blaise-pascal.org/			

Type d'action	Acronyme	Titre	Porteur	Région	Dotation (M€)
EQUIPEX	AmiQual4HOME	AmiLab pour Habitats Intelligents https://amiqual4home.inria.fr/fr/	James Crawley	Rhône-Alpes	2,1
	DIGISCOPE	Infrastructure haute performance pour la visualisation interactive et collaborative http://www.digiscope.fr/fr	Michel Beaudouin-Lafont	Ile de France	6,7
	EQUIP@MESO	Equipement d'excellence de calcul intensif de Mesocentres coordonnés – Tremplin vers le calcul petaflopique et l'exascale http://www.genci.fr/fr/content/equipmeso-0	Élise Quentel	Ile de France	10,5
	FIT	Internet du Futur (des Objets) https://www.fit-equipex.fr/	Serge Fdida	Ile de France	5,8
	FLUX	Fibres optiques pour les hauts flux http://flux.univ-lille1.fr	Marc Douay	Nord-Pas de Calais	2
	KINOVIS	Capture et analyse avancées des formes en mouvement http://kinovis.inrialpes.fr/	Edmond Boyer	Rhône-Alpes	2,13
	ROBOTEX	Réseau national de plateformes robotiques d'excellence http://equipex-robotex.fr/	Michel de Mathelin	Ile de France	10,5
	Sense-city	Nano-capteurs pour la ville : conception, prototypage et validation à grande échelle http://sense-city.ifsttar.fr/accueil/	Anne Ruas	Ile de France	9
	GENCI	Grand Équipement National de Calcul Intensif – Stockage de données massives http://www.genci.fr/fr	Stéphane Requena	Ile de France	30

Type d'action	Acronyme	Titre	Porteur	Région	Dotation (M€)
IRT	B-COM	http://b-com.org/wp/	Bertrand Guilbaud	Bretagne	61

Type d'action	Acronyme	Titre	Porteur	Région	Dotation (M€)
	SystemX	http://www.irt-systemx.fr/	Paul Labrogère	Ile de France	120

Type d'action	Acronyme	Titre	Porteur	Région	Dotation (M€)
Convergences	DataIA	Institut Interdisciplinaire des Sciences des données: Intelligence, Valeur et Éthique	Bertrand Thirion	Ile de France	9,86
		https://dataia.eu/			

Type d'action	Acronyme	Titre	Porteur	Région	Dotation (M€)
EUR	EURIP	Ecole Universitaire de Recherche Interdisciplinaire de Paris	François Taddei	Ile de France	9,4
		https://cri-paris.org/eurip/			
EUR	DS4H	Digital systems for humans	Johan Montagnat	Provence-Alpes-Côte d'Azur	17,1
		univ-cotedazur.fr/en/eur/ds4h			

Type d'action	Acronyme	Titre	Porteur	Région	Dotation (M€)	Évolution
LABEX	ACTION	Systèmes intelligents intégrés au cœur de la matière	Hervé Maillotte	Bourgogne	8	EUR EIPHI
		http://www.labex-action.fr/				
	AMIES Projet en réseau	Agence pour les Mathématiques en Interaction avec l'Entreprise et la Société	Véronique Maume-Deschamps	Rhône-Alpes	5	
		http://www.agence-maths-entreprises.fr/				
	ARCHIMEDE	Archimède / Mathématiques	François Hamel	Provence-Alpes-Côte d'Azur	4,3	IDEX Amidex
		http://archimede.lsis.org/				
	Bézout	Modèles et algorithmes : du discret au continu	Philippe Loubaton	Ile de France	2,5	
		http://www.univ-paris-est.fr/fr/labex-bezout/				
	CALSIMLAB	LabEx pour la modélisation et la simulation scientifiques en recherche	Pascal Frey	Ile de France	5	IDEX SU
		http://www.ics.upmc.fr/fr/projets/labex_calsimlab.html				
	CARMIN Projet en réseau	Centres d'Accueil et de Rencontres Mathématiques Internationales	Cédric Villani	Ile de France	8	
		http://www.ihp.fr/fr/institut/IHP/labExCARMIN				
	CEMPI	Centre Européen pour les Mathématiques, la Physique et leurs Interactions	Stephan de Bièvre	Nord-Pas de Calais	5	
		http://math.univ-lille1.fr/~cempi/				
	CIMI	Centre International de Mathématiques et d'Informatique	Christophe Besse	Midi-Pyrénées	12	
		http://www.cimi.univ-toulouse.fr/				
COMIN Labs	Laboratoire des sciences de la Communication et de l'Information	Patrick Bouthemey	Bretagne	14		
	http://www.cominlabs.ueb.eu/fr					
DigiCosme	Mondes numériques: données, programmes et architectures distribués	Pierre Duhamel	Ile de France	9		
	https://digicosme.lri.fr/					
IMoBS3	Mobilité Innovante : solutions intelligentes et durables	Michel Dhôme	Auvergne	7		
	http://www.imobs3.univ-bpclermont.fr/					
IRMIA	Institut de Recherche en Mathématiques, Interactions et Applications	Thomas Delzant	Alsace	5	IDEX Unistra	
	http://labex-irmia.u-strasbg.fr/labex-irmia.u-strasbg.fr/					
LEBESGUE	Centre de Mathématiques Henri Lebesgue : fondements, interactions, applications et formation	Vincent Guirardel	Bretagne	7		
	http://www.lebesgue.fr/					
LMH	LabEx Mathématique Hadamard	Pierre Pansu	Ile de France	10		
	http://www.fondation-hadamard.fr/fr/LMH					
MILYON	Communauté de Mathématiques et Informatique fondamentale de Lyon	Christophe Sabot	Rhône-Alpes	9		

		http://milyon.universite-lyon.fr/				
MME-DII	Modèles Mathématiques et Economiques de la Dynamique, de l'Incertitude et des Interactions	http://labex-mme-dii.u-cergy.fr/	Ani Guerdjikova	Ile de France	4,5	
MS2T	Maîtrise des Systèmes de Systèmes Technologiques		Ali Charara	Picardie	6,7	IDEX SU
NUMEV	Solutions Numériques, Matérielles et Modélisation pour l'Environnement et le Vivant	http://www.lirmm.fr/numev/	Lionel Torres	Languedoc-Roussillon	8	
PERSYVAL	Systèmes et Algorithmes Pervasifs au confluent des mondes physique et numérique	https://persyval-lab.org/	Marie-Christine Rousset	Rhône-Alpes	12	
Sigma-LIM	Des matériaux et composants céramiques spécifiques aux systèmes communicants intégrés, sécurisés, intelligents	http://www.xlim.fr/labex	Dominique Baillargeat	Limousin	7,5	
SMART	Interactions Humain/Machine/Humain intelligentes dans la société numérique	http://www.smart-labex.fr/	Raja Chatila	Ile de France	5	IDEX SU
SMP Projet en réseau	Sciences Mathématiques de Paris	http://www.sciencesmaths-paris.fr/en/labex-smp-272.htm	Emmanuel Trélat	Ile de France	16	IDEX SU
UCN@SOPHIA	Réseau Orienté Utilisateur : quand l'utilisateur est au cœur du réseau ubiquitaire	http://ucnlab.eu/fr	Johan Montagnat	Provence-Alpes-Côte d'Azur	5,5	EUR D54H
Portail des LabEx de Mathématiques		http://labex.math.cnrs.fr/				