



**LaBRI**

Évaluation HCERES  
2015–2020

Auto-évaluation  
Bilan & projet



# Unité de recherche

## Document d'autoévaluation

### CAMPAGNE D'ÉVALUATION 2020-2021

#### VAGUE B

Le dossier d'autoévaluation comprend, le présent document d'autoévaluation (incluant les annexes en fin de document) ainsi que les deux fichiers Excel « Données du contrat en cours » et « Données du prochain contrat ». Tous ces documents sont téléchargeables sur le site du Hcéres.

NB : On renseignera ce document d'autoévaluation en s'appuyant sur l'« Aide à la rédaction du document d'autoévaluation d'une unité de recherche » téléchargeable sur le site du Hcéres.

### INFORMATIONS GÉNÉRALES

Nom de l'unité pour le contrat en cours : **Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique**  
Nom de l'unité pour le prochain contrat (en cas de changement) :  
Acronyme pour le contrat en cours : **LaBRI (UMR 5800)**  
Acronyme pour le prochain contrat (en cas de changement) :  
Domaine scientifique (si évaluation interdisciplinaire, indiquer 2 domaines) : **ST6\_1 Informatique.**  
Sous-domaines scientifiques (dans la nomenclature du Hcéres) par ordre décroissant d'importance :  
  
Directeur pour le contrat en cours : **DOMENGER Jean-Philippe**  
Directeur (ou porteur de projet) pour le prochain contrat : **BLANC Xavier.**

#### Type de demande :

Renouvellement à l'identique ☐ Fusion, scission, restructuration ☒ Création ex  
*nihilo*<sup>1</sup> ☐

<sup>1</sup> Les unités en création ex *nihilo* seront, dans la plupart des cas, évaluées sur dossier sur la base d'un projet.

**Établissements et organismes de rattachement :**

Liste des établissements et organismes tutelles de l'unité de recherche **pour le contrat en cours et pour le prochain contrat.**

Contrat en cours :	Prochain contrat :
- CNRS (INS2I)	- CNRS (INS2I)...
- Université de Bordeaux.	- Université de Bordeaux.
- Bordeaux-INP	- Bordeaux-INP

**Activités de recherche interdisciplinaire :**

*Les unités interdisciplinaires sont celles qui associent de façon visible et explicite dans la liste de leurs domaines et disciplines au moins deux des grands domaines Hcéres : ST-SHS, SHS-SVE ou SVE-ST. L'évaluation de ces unités interdisciplinaires suit un processus particulier notamment pour la constitution du comité d'experts.*

Oui ☐

Non ☒

**Activités de recherche clinique :**

Oui ☐

Non ☒

# Table des matières

<b>I</b>	<b>Bilan et projet du laboratoire</b>	<b>-1</b>
<b>1</b>	<b>Présentation de l'unité - Bilan</b>	<b>1</b>
1	Introduction . . . . .	1
2	Structuration . . . . .	2
2.1	Les équipes du LaBRI . . . . .	2
2.2	Équipes-projets communes Inria . . . . .	4
2.3	Services communs . . . . .	5
2.4	Effectifs et moyens . . . . .	6
2.5	Politique scientifique . . . . .	12
2.6	Actions et prise en compte des recommandations de l'HCERES . . . . .	15
2.7	Profil d'activités . . . . .	17
3	Présentation de l'écosystème recherche de l'unité . . . . .	19
4	Produits et activités de la recherche de l'unité . . . . .	23
4.1	Bilan scientifique . . . . .	23
4.2	Faits marquants . . . . .	26
5	Organisation et vie de l'unité . . . . .	29
5.1	Gouvernance . . . . .	29
5.2	Parité, intégrité scientifique, développement durable . . . . .	30



5.3	Hygiène et sécurité . . . . .	33
6	Propriété intellectuelle et intelligence économique . . . . .	34
<b>2</b>	<b>Projet</b>	<b>37</b>
1	Renforcer les activités de recherche existantes . . . . .	37
2	Promouvoir l'émergence . . . . .	39
3	Favoriser la création . . . . .	39
4	Implanter durablement le LaBRI dans son écosystème . . . . .	40
5	Le laboratoire en tant qu'acteur . . . . .	40
6	Mise en œuvre du projet . . . . .	41
<b>A</b>	<b>Lettre Engagement</b>	<b>43</b>
<b>B</b>	<b>Organigramme</b>	<b>45</b>
<b>C</b>	<b>Plates-formes</b>	<b>47</b>
<b>II</b>	<b>Auto-évaluation des équipes</b>	<b>51</b>
<b>1</b>	<b>Combinatoire et Algorithmique</b>	<b>53</b>
1	Bilan . . . . .	53
1.1	Présentation de l'équipe . . . . .	53
1.2	Présentation de l'écosystème recherche de l'équipe . . . . .	55
1.3	Produits et activités de la recherche . . . . .	56
1.4	Organisation et vie de l'équipe . . . . .	65
2	PROJET : INTRODUCTION . . . . .	71
3	Analyse SWOT . . . . .	72
4	Structuration, effectifs et orientations scientifiques . . . . .	73
4.1	Équipe Algorithmique Distribuée . . . . .	73

4.2	Équipe Combinatoire et interactions . . . . .	74
4.3	Équipe Graphes et optimisation . . . . .	75
<b>2</b>	<b>Image et Son</b>	<b>77</b>
1	Bilan . . . . .	77
1.1	Présentation de l'équipe . . . . .	77
1.2	Présentation de l'écosystème recherche de l'équipe . . . . .	78
1.3	Produits et activités de la recherche . . . . .	79
1.4	Organisation et vie de l'équipe . . . . .	85
2	Projet . . . . .	86
2.1	Analyse SWOT . . . . .	86
2.2	Structuration, effectifs et orientations scientifiques . . . . .	86
<b>3</b>	<b>Méthodes Formelles</b>	<b>89</b>
1	Bilan . . . . .	89
1.1	Présentation de l'équipe . . . . .	89
1.2	Présentation de l'écosystème recherche de l'équipe . . . . .	90
1.3	Produits et activités de la recherche . . . . .	92
1.4	Organisation et vie de l'équipe . . . . .	100
2	Projet . . . . .	113
2.1	Stratégie . . . . .	113
2.2	Analyse AFOM du département MF . . . . .	113
2.3	Structuration, effectifs et orientations scientifiques . . . . .	114
2.4	Ancrages locaux et internationaux du département MF . . . . .	122
<b>4</b>	<b>Bench to Knowledge and Beyond</b>	<b>123</b>
1	Bilan . . . . .	123
1.1	Présentation de l'équipe . . . . .	123



1.2	Présentation de l'écosystème recherche de l'équipe . . . . .	125
1.3	Produits et activités de la recherche . . . . .	126
1.4	Organisation et vie de l'équipe . . . . .	131
2	Projet . . . . .	131
2.1	Analyse SWOT . . . . .	131
2.2	Structuration, effectifs et orientations scientifiques . . . . .	133
<b>5</b>	<b>Programmation, Réseaux et Systèmes</b>	<b>135</b>
1	Bilan . . . . .	135
1.1	Présentation de l'équipe . . . . .	135
1.2	Présentation de l'écosystème recherche de l'équipe . . . . .	137
1.3	Produits et activités de la recherche . . . . .	137
1.4	Organisation et vie de l'équipe . . . . .	141
2	Projet . . . . .	145
2.1	Analyse SWOT . . . . .	145
2.2	Structuration, effectifs et orientations scientifiques . . . . .	145
<b>6</b>	<b>Supports et Algorithmes pour les Applications Numériques hAutres performances</b>	<b>149</b>
1	Bilan . . . . .	149
1.1	Présentation de l'équipe . . . . .	149
1.2	Présentation de l'écosystème recherche de l'équipe . . . . .	151
1.3	Produits et activités de la recherche . . . . .	151
1.4	Organisation et vie de l'équipe . . . . .	156
2	Projet . . . . .	157
2.1	Analyse SWOT . . . . .	157
2.2	Structuration, effectifs et orientations scientifiques . . . . .	158

<b>III</b>	<b>Annexe 4</b>	<b>-1</b>
<b>1</b>	<b>Combinatoire et Algorithmique</b>	<b>3</b>
1	Production de connaissances et activités concourant au rayonnement et à l'attractivité scientifique	3
1.1	Revue . . . . .	3
1.2	Ouvrages . . . . .	8
1.3	Production dans des colloques / congrès, séminaires de recherche . . . . .	9
1.4	Produits et outils informatiques . . . . .	13
1.5	Activités éditoriales . . . . .	16
1.6	Activités d'évaluation . . . . .	17
1.7	Contrats de recherche financés par des institutions publiques ou caritatives . . . . .	20
1.8	Post-doctorants et chercheurs accueillis . . . . .	21
1.9	Indices de reconnaissance . . . . .	23
2	Interaction de l'équipe avec l'environnement non académique . . . . .	28
2.1	Brevets, licences et déclarations d'invention . . . . .	29
2.2	Interactions avec les acteurs socio-économiques . . . . .	29
3	Implication de l'équipe dans la formation par la recherche . . . . .	29
3.1	Produits des activités pédagogiques et didactiques . . . . .	31
3.2	Productions scientifiques (articles, ouvrages, etc.) issues des thèses . . . . .	31
<b>2</b>	<b>Image et Son</b>	<b>33</b>
1	Production de connaissances et activités concourant au rayonnement et à l'attractivité scientifique	33
1.1	Revue . . . . .	33
1.2	Ouvrages . . . . .	36
1.3	Production dans des colloques / congrès, séminaires de recherche . . . . .	38
1.4	Produits et outils informatiques . . . . .	45
1.5	Développements instrumentaux et méthodologiques . . . . .	46



1.6	Autres produits propres à une discipline . . . . .	46
1.7	Activités éditoriales . . . . .	46
1.8	Activités d'évaluation . . . . .	48
1.9	Contrats de recherche financés par des institutions publiques ou caritatives . . . . .	49
1.10	Post-doctorants et chercheurs accueillis . . . . .	50
1.11	Indices de reconnaissance . . . . .	52
2	Interaction de l'équipe avec l'environnement non académique . . . . .	55
2.1	Brevets, licences et déclarations d'invention . . . . .	55
2.2	Interactions avec les acteurs socio-économiques . . . . .	56
2.3	Activités d'expertise scientifique . . . . .	57
2.4	Produits destinés au grand public . . . . .	57
3	Implication de l'équipe dans la formation par la recherche . . . . .	58
3.1	Produits des activités pédagogiques et didactiques . . . . .	58
3.2	Productions scientifiques (articles, ouvrages, etc.) issues des thèses . . . . .	58
3.3	Formation . . . . .	58
<b>3</b>	<b>Méthodes Formelles</b>	<b>59</b>
1	Production de connaissances et activités concourant au rayonnement et à l'attractivité scientifique	59
1.1	Revue . . . . .	59
1.2	Ouvrages . . . . .	61
1.3	Production dans des colloques / congrès, séminaires de recherche . . . . .	63
1.4	Produits et outils informatiques . . . . .	68
1.5	Développements instrumentaux et méthodologiques . . . . .	71
1.6	Autres produits propres à une discipline . . . . .	71
1.7	Activités éditoriales . . . . .	71
1.8	Activités d'évaluation . . . . .	72
1.9	Contrats de recherche financés par des institutions publiques ou caritatives . . . . .	74

1.10	Post-doctorants et chercheurs accueillis . . . . .	74
1.11	Indices de reconnaissance . . . . .	76
2	Interaction de l'équipe avec l'environnement non académique . . . . .	82
2.1	Brevets, licences et déclarations d'invention . . . . .	82
2.2	Interactions avec les acteurs socio-économiques . . . . .	83
2.3	Activités d'expertise scientifique . . . . .	83
2.4	Produits destinés au grand public . . . . .	83
3	Implication de l'équipe dans la formation par la recherche . . . . .	84
3.1	Produits des activités pédagogiques et didactiques . . . . .	84
3.2	Productions scientifiques (articles, ouvrages, etc.) issues des thèses . . . . .	85
3.3	Formation . . . . .	85
<b>4</b>	<b>Bench to Knowledge and Beyond</b>	<b>87</b>
1	Production de connaissances et activités concourant au rayonnement et à l'attractivité scientifique	87
1.1	Revue . . . . .	87
1.2	Ouvrages . . . . .	89
1.3	Production dans des colloques / congrès, séminaires de recherche . . . . .	90
1.4	Produits et outils informatiques . . . . .	93
1.5	Développements instrumentaux et méthodologiques . . . . .	95
1.6	Autres produits propres à une discipline . . . . .	95
1.7	Activités éditoriales . . . . .	95
1.8	Activités d'évaluation . . . . .	96
1.9	Contrats de recherche financés par des institutions publiques ou caritatives . . . . .	97
1.10	Post-doctorants et chercheurs accueillis . . . . .	98
1.11	Indices de reconnaissance . . . . .	99
2	Interaction de l'équipe avec l'environnement non académique . . . . .	99
2.1	Brevets, licences et déclarations d'invention . . . . .	100



2.2	Interactions avec les acteurs socio-économiques . . . . .	100
2.3	Activités d'expertise scientifique . . . . .	101
2.4	Produits destinés au grand public . . . . .	101
3	Implication de l'équipe dans la formation par la recherche . . . . .	102
3.1	Produits des activités pédagogiques et didactiques . . . . .	102
3.2	Productions scientifiques (articles, ouvrages, etc.) issues des thèses . . . . .	102
3.3	Formation . . . . .	102
<b>5</b>	<b>Programmation, Réseaux et Systèmes</b>	<b>105</b>
1	Production de connaissances et activités concourant au rayonnement et à l'attractivité scientifique	105
1.1	Revue . . . . .	105
1.2	Ouvrages . . . . .	106
1.3	Production dans des colloques / congrès, séminaires de recherche . . . . .	107
1.4	Produits et outils informatiques . . . . .	109
1.5	Développements instrumentaux et méthodologiques . . . . .	109
1.6	Autres produits propres à une discipline . . . . .	110
1.7	Activités éditoriales . . . . .	110
1.8	Activités d'évaluation . . . . .	111
1.9	Contrats de recherche financés par des institutions publiques ou caritatives . . . . .	111
1.10	Post-doctorants et chercheurs accueillis . . . . .	112
1.11	Indices de reconnaissance . . . . .	113
2	Interaction de l'équipe avec l'environnement non académique . . . . .	115
2.1	Brevets, licences et déclarations d'invention . . . . .	115
2.2	Interactions avec les acteurs socio-économiques . . . . .	116
2.3	Activités d'expertise scientifique . . . . .	117
2.4	Produits destinés au grand public . . . . .	117
3	Implication de l'équipe dans la formation par la recherche . . . . .	117

3.1	Produits des activités pédagogiques et didactiques . . . . .	117
3.2	Productions scientifiques (articles, ouvrages, etc.) issues des thèses . . . . .	118
3.3	Formation . . . . .	118
<b>6</b>	<b>Supports et AlgoriThmes pour les Applications Numériques hAutes performanceS</b>	<b>121</b>
1	Production de connaissances et activités concourant au rayonnement et à l'attractivité scientifique	121
1.1	RevueS . . . . .	121
1.2	Ouvrages . . . . .	123
1.3	Production dans des colloques / congrès, séminaires de recherche . . . . .	124
1.4	Produits et outils informatiques . . . . .	127
1.5	Développements instrumentaux et méthodologiques . . . . .	140
1.6	Autres produits propres à une discipline . . . . .	141
1.7	Activités éditoriales . . . . .	141
1.8	Activités d'évaluation . . . . .	142
1.9	Contrats de recherche financés par des institutions publiques ou caritatives . . . . .	148
1.10	Post-doctorants et chercheurs accueillis . . . . .	149
1.11	Indices de reconnaissance . . . . .	150
2	Interaction de l'équipe avec l'environnement non académique . . . . .	154
2.1	Brevets, licences et déclarations d'invention . . . . .	154
2.2	Interactions avec les acteurs socio-économiques . . . . .	154
2.3	Activités d'expertise scientifique . . . . .	155
3	Implication de l'équipe dans la formation par la recherche . . . . .	156
3.1	Produits des activités pédagogiques et didactiques . . . . .	157
3.2	Productions scientifiques (articles, ouvrages, etc.) issues des thèses . . . . .	157
3.3	Formation . . . . .	157



<b>IV</b>	<b>Listes exhaustives</b>	<b>159</b>
<b>1</b>	<b>Production de connaissances et activités concourant au rayonnement et à l'attractivité scientifique</b>	<b>161</b>
1	Publications en revue, 80% . . . . .	162
2	Conférences 80% . . . . .	207



Première partie

# Bilan et projet du laboratoire



# Présentation de l'unité - Bilan

## 1 Introduction

Le LaBRI a été créé en 1988. Auparavant, les informaticiens du site bordelais formaient une équipe au sein du laboratoire de « Mathématiques et Informatique ». Lorsque la partie informatique a atteint une masse critique suffisante, et vu le personnel CNRS présent, il a été décidé qu'un « essaimage » lui permettrait d'avoir une identité propre. Lors de sa création en 1988, le LaBRI comptait 5 membres en collège A (PR et DR) ainsi que 31 membres en collège B (CR et MCF) et 7 assistants. Aujourd'hui, il est composé de 54 membres en collège A, 102 membres en collège B, ainsi que 22 agents formant l'ensemble des services techniques et administratifs.

Le LaBRI a un statut d'unité mixte de recherche (UMR 5800) dont les tutelles sont le CNRS, l'université de Bordeaux (UB) et l'Institut National Polytechnique de Bordeaux (Bordeaux-INP). En 2002, le LaBRI est devenu partenaire de l'Unité Inria Futurs et, depuis sa création en 2007, du centre Inria Bordeaux Sud-Ouest avec qui le laboratoire partage actuellement 7 équipes-projets. Ce partenariat constitue un renfort substantiel à des thématiques de recherche ciblées (chercheurs, ingénieurs, doctorants, réseau scientifique international, environnement administratif...). On peut le qualifier de « bénéfique aux deux parties ».

Le LaBRI s'est construit dans l'unité et dans la durée, c'est-à-dire qu'il ne résulte pas de la scission ou de la fusion d'unités de recherche. Cette spécificité du laboratoire fait qu'il s'est exclusivement développé par recrutement ou mobilité. Ce mode de croissance a créé des habitudes de fonctionnement ancrées dans sa culture. Le laboratoire fédère, à de rares exceptions près, l'ensemble des personnels chercheurs et enseignants-chercheurs en informatique du site bordelais. Même si le statut de « membre associé » n'a rien d'officiel vis-à-vis de nos tutelles, nous accueillons au sein du laboratoire des membres extérieurs informaticiens, afin qu'ils se retrouvent en contact avec des chercheurs de leur communauté. Grâce à ce statut, ils disposent d'un bureau, et peuvent se porter candidats aux différents appels internes du laboratoire.



## 2 Structuration

### 2.1 Les équipes du LaBRI

La recherche au LaBRI est structurée en **6 équipes**, les équipes étant elles-mêmes subdivisées en **thèmes**. L'activité scientifique de ces équipes et de leurs thèmes sera détaillée dans le bilan de chaque équipe. Nous en donnons ici une description concise :

#### 1. Combinatoire et Algorithmique (CombAlgo).

L'équipe CombAlgo étudie les objets discrets, d'un point de vue structurel (codages, décomposition, propriétés mathématiques et statistiques...). Elle conçoit et étudie des algorithmes traitant ces objets. Un pan important de son activité est le développement des algorithmes utilisés dans les réseaux, l'algorithmique distribuée.

En dehors de l'informatique où elles sont omniprésentes, ces structures combinatoires, comme les graphes ou les arbres, sont utilisées par d'autres disciplines pour organiser l'information, représenter les interactions entre de petits éléments formant des structures plus grosses. Ainsi, l'équipe s'intéresse à de nombreux problèmes de physique statistique et a des contacts étroits avec la communauté probabiliste, par exemple, pour l'étude des grands objets combinatoires.

Elle a enfin, par ses thématiques de recherche, de fortes affinités avec les mathématiques (algèbre et probabilités, principalement). L'équipe s'ouvre également à d'autres thématiques, comme l'IA, le traitement des données massives hétérogènes, et également l'informatique quantique (dans les 3 cas, elle anime ou a animé les GT correspondants).

#### 2. Image et Son (I&S).

L'équipe I&S mène des recherches en acquisition, traitement, analyse, modélisation, synthèse et interaction de médias audiovisuels. Elle travaille sur toute la chaîne d'acquisition depuis la collecte des données jusqu'à l'extraction d'information ou la restitution de données numériques avec l'utilisateur au centre de la chaîne. Le spectre des données manipulées est très large : image 2D et 3D, vidéo, parole, musique, données 3D, EEG, données physiologiques, etc. Les différentes étapes de la chaîne de traitement intègrent des phases de modélisation que ce soit pour l'analyse ou la synthèse. Les domaines applicatifs visés sont : la santé, le médical, l'éducation, le jeu, etc.

#### 3. Méthodes Formelles (MF)

L'équipe MF a un large spectre qui s'est développé à partir de la théorie des langages. Ses principaux objets d'étude, considérés à la fois pour eux-mêmes ou comme outils, sont les décompositions de graphes, les algèbres non commutatives, les systèmes distribués, les logiques, les automates étendus (avec des données, des poids, des probabilités, des contraintes de temps, des compteurs...). Les recherches de l'équipe MF sont motivées par des applications, en particulier en vérification automatique, mais l'équipe garde un point de vue « recherche fondamentale ». La logique, au centre des travaux de recherche est un thème fédérateur de l'équipe. De nouveaux thèmes de recherche ont émergé pendant ces dernières années, on peut citer, par exemple, le raisonnement sur les données ou la robotique. Cette évolution thématique est présentée dans le projet de l'équipe.

#### 4. Bench to Knowledge and Beyond (BKB)

L'équipe BKB mène des recherches théoriques et finalisées sur la gestion, l'analyse et l'exploration de données complexes. Elle s'intéresse à tout ou partie du cycle de vie de la *donnée* (production, collecte, stockage, modélisation, exploitation, visualisation). La difficulté de ses recherches découle du volume des données, de leur variété ou de leur véracité, de leur vélocité. Elle est aussi inhérente au domaine d'application (e.g., santé, biologie,

données utilisateurs, géographiques, ville intelligente...), ce qui nécessite des collaborations avec les experts de ces données. Les données manipulées sont principalement réelles, mais peuvent être également générées par un algorithme. L'objectif ultime de cette équipe est de fournir des solutions technologiques utilisables par les experts des données.

## 5. Programmation, Réseaux et Systèmes (Progress).

L'équipe Progress mène une recherche sur le développement et la mise en œuvre de systèmes logiciels composés de plusieurs entités qui peuvent être autonomes et qui évoluent dans des environnements complexes. De tels systèmes peuvent avoir une existence à une échelle globale (celle de l'internet notamment avec les systèmes web ou les grands réseaux du futur), microscopique (au niveau d'une machine et de son système d'exploitation) ou intermédiaire (notamment avec les essaims de drones ou les véhicules intelligents). Une particularité de l'équipe Progress est qu'elle réalise une recherche finalisée dans le sens où l'objectif principal est la mise en œuvre de systèmes en conditions réelles.

## 6. Supports et AlgoriThmes pour les Applications Numériques hAutes performanceS (Satanas)

L'équipe Satanan a pour objectif de contribuer à la réalisation efficace de simulations *frontières* issues de recherches universitaires et industrielles difficiles. La résolution de ces problèmes exige une approche multidisciplinaire impliquant les mathématiques appliquées, le calcul scientifique et l'informatique. Pour avoir un réel impact sur les progrès et avancées scientifiques, l'équipe développe des compétences sur des aspects variés :

- la gestion efficace du nombre massif de nœuds de calcul, en utilisant des paradigmes de programmation ayant un niveau élevé d'expressivité, et en exploitant des couches de communication performantes ;
- la gestion adéquate d'entrées-sorties intensives ;
- des mécanismes sophistiqués d'ordonnancement de calcul sur des plates-formes ayant un grand nombre d'unités de calcul et des volumes massifs d'entrées-sorties ;
- des méthodes numériques innovantes pour analyser les volumes de données produites ;
- des algorithmes performants pouvant être intégrés dans des applications représentant des challenges scientifiques reconnus à forts impacts sociétaux et économiques.

Ces recherches sont menées en étroite collaboration avec des initiatives européennes et américaines, en particulier dans le cadre de projets de collaboration européens H2020 et Euro-HPC.

Durant la période 2015–2020, la structuration des équipes a subi des changements mineurs. Parmi ces changements, on note :

- la restructuration de l'équipe MaBioVis qui est devenue BKB ; l'équipe est aussi passée de deux à trois thèmes afin de mettre davantage en valeur ses compétences scientifiques ;
- l'équipe Progress est passée de trois à deux thèmes en intégrant la thématique de la mobilité, ubiquité et sécurité dans le thème « Convergence et optimisation des média et des réseaux de télécoms ».

## Thématiques transverses

Le laboratoire a encouragé le regroupement de chercheurs autour de thématiques transverses, qui dépassent la structuration en équipes et regroupent des compétences variées. On peut citer :

- les **systèmes distribués autonomes** dont les fondements se trouvent en partie dans l'équipe CombAlgo, et les applications dans les équipes Progress et MF pour la robotique mais également dans I&S pour ce qui est de la perception,

- **la convergence HPC-Bigdata** étudie l'utilisation des technologies « cloud » dans le cadre du HPC et, réciproquement, la parallélisation dans les algorithmes de traitement massif des données ; cela concerne principalement les équipes BKB et Satanas.
- **l'informatique de confiance** qui mobilise des compétences des équipes Progress, MF et BKB.
- **l'information quantique** qui intéresse des chercheurs du LaBRI appartenant principalement à CombAlgo, MF et Satanas.
- Enfin, **l'intelligence artificielle**, transverse aux équipes I&S, MF et CombAlgo.

Ces thématiques transverses ont fait l'objet de groupes de travail, de séminaires, certaines ont reçu des financements de thèses (thèses fléchées), ou ont bénéficié du soutien des ingénieurs du LaBRI. Enfin, un recrutement MCF (F. Zanon Boito) a été explicitement fléché sur la thématique « Convergence HPC-Bigdata ».

## 2.2 Équipes-projets communes Inria

En janvier 2015, le LaBRI avait huit équipes communes avec le centre Inria Bordeaux-Sud Ouest. Au premier juin 2020, il partage encore les **sept équipes-projets communes** suivantes :

1. **MNÉMOSYNE** travaille à la frontière entre *intelligence artificielle* et *neurosciences computationnelles*. L'équipe-projet MNÉMOSYNE modélise les principales formes de mémoire et d'apprentissage dans le cerveau et étudie comment leur organisation implémente des fonctions cognitives élaborées, comme le raisonnement, la prise de décision, les processus attentionnels et le langage. Les retombées touchent aussi bien les neurosciences et la médecine que le monde socio-économique, de l'industrie jusqu'aux SHS.
2. **MANAO** étudie les interactions entre lumière, forme et matière, au confluent de l'optique numérique et de la synthèse d'images. La recherche qui y est menée vise plusieurs objectifs : mise en œuvre de nouvelles représentations de l'apparence, acquisition de propriétés optiques et géométriques, visualisation et mise en œuvre de nouveaux dispositifs d'affichage. Les domaines d'application couvrent, outre les industries du divertissement (effets spéciaux, jeux vidéos), des domaines variés tels que l'archéologie ou la perception visuelle.
3. **POTIOC** conçoit, développe, et évalue de nouvelles approches qui exploitent l'interaction multimodale afin de favoriser une expérience utilisateur stimulante. En particulier, POTIOC explore des approches basées sur la réalité mixte (RA, RV), l'interaction tangible, les interfaces cerveaux-ordinateurs et les interfaces physiologiques. Les principaux domaines d'application visés sont l'éducation, le bien-être, l'art, et le domaine de l'accessibilité.
4. **STORM** étudie le *calcul haute performance* et se focalise plus particulièrement sur l'expression du parallélisme, que ce soit par des langages dédiés ou standard, des supports d'exécution efficaces pour architectures hétérogènes ou l'analyse du parallélisme et des performances.
5. **HIEPACS** (*High-End Parallel Algorithms for Challenging Numerical Simulations*) a pour objectif de contribuer au développement méthodologique et logiciel d'outils parallèles pour la simulation numérique sur des plates-formes de calcul de très grande taille. Les contributions portent sur des outils d'algèbre linéaire numérique, de calcul pour le problème à  $n$ -corps, de couplage multi-physique et d'ordonnancement pour le HPC.
6. **TADAAM** s'intéresse au comportement des couches basses de la pile logicielle HPC : gestion du matériel (mémoire, cœurs, caches), communication et stockage. L'approche de l'équipe-projet TADAAM est orientée « données », c'est-à-dire que les problèmes étudiés visent à ce que les données utilisées par les applications soient placées de telle façon que l'efficacité des programmes ou logiciels soit optimale. Les objectifs scientifiques

de l'EPC sont de : (1) modéliser les systèmes de calcul haute performance et extraire des applications de ces modélisations; (2) fournir des services aux applications pour optimiser leur exécution à l'aide d'algorithmes passant à l'échelle; (3) exposer ces services aux applications à travers une API et des abstractions bien définies.

7. **PLEIADE** regroupe des informaticiens, des biologistes et des mathématiciens dans une équipe-projet commune Inria-INRAE, pour une moitié à l'UMR CNRS LaBRI et l'autre à l'UMR INRAE BioGeCo de l'Université de Bordeaux. PLEIADE conçoit des méthodes informatiques et mathématiques pour décrire et modéliser la diversité en biologie—fonctionnelle, génomique et taxinomique. Ses méthodes vont de l'analyse de données en haute dimension à l'inférence de modèles par raisonnement ensembles-réponses et optimisation combinatoire. Ses collaborations avec des biologistes et l'industrie visent des applications en biotechnologie, santé et écologie/biodiversité.

En 2016 l'équipe-projet HIEPACS a été renouvelée. En 2017, ce fut MNÉMOSYNE. En 2018, MANAO et POTIOC ont été reconduites. En 2017, l'EPC RUNTIME a été scindée pour donner naissance à deux nouvelles EPC : « TADAAM » et « STORM ». PLEIADE a été créée en 2019, prenant la suite de l'ancienne EPC MAGNOME. C'est une équipe commune à BioGeco (UMR 1202) et au LaBRI. L'EPC PHOENIX n'a pas été renouvelée. Enfin en 2019, le seul membre du LaBRI encore présent dans l'EPC REALOPT s'est retiré de cette équipe, qui n'est donc plus une EPC du LaBRI.

## 2.3 Services communs

Les services communs se composent de deux structures primordiales :

1. **L'équipe « Systèmes et Réseaux »** assure principalement deux missions de première importance pour le laboratoire : d'une part, la gestion et la maintenance des moyens mutualisés; d'autre part, la gestion des infrastructures de recherche. La structuration actuelle de cette équipe est la suivante :
  - Le **Pôle Production** a en charge l'ensemble de l'infrastructure mutualisée (serveurs, sauvegarde, réseau, etc.).
  - Le **Pôle Expérimentation** a pour mission la gestion et la maintenance des plates-formes d'expérimentation du LaBRI.

Cette séparation en deux pôles permet une meilleure répartition de la charge de travail et permet de planifier des études et de la veille technologique.

L'organisation des ingénieurs en « soutien » aux équipes du laboratoire a évolué : ils sont maintenant rattachés à la direction du laboratoire. L'idée est de pouvoir utiliser une partie de leur temps de travail pour de nouveaux projets de développement, le reste étant consacré à leur ancienne équipe de rattachement. Deux projets ont été retenus, un sur la thématique « Convergence HPC-Big Data » et l'autre sur le développement d'un logiciel à usage médical. Cette initiative, encore perfectible, mérite d'être améliorée par, notamment, un suivi régulier de l'avancée du projet pour mesurer la motivation des chercheurs.

2. **Le service administratif et financier** accueille et gère les visiteurs et les missions, aide à l'organisation des colloques, et s'occupe de la myriade de questions administratives relatives aux contrats de recherche, aux contractuels, aux marchés publics, etc.

Le LaBRI ne peut réellement fonctionner sans la diligence et l'investissement des personnels de ces deux structures.

## 2.4 Effectifs et moyens

### Effectifs

Le tableau 1.1 présente l'évolution des effectifs du laboratoire sur la période 2015–2020. Cette évolution est commentée dans les sous-sections 2.4.1 (pour les enseignants-chercheurs), 2.4.2 (pour les chercheurs). Nous présentons également le détail des mouvements des personnels BIATSS en section 2.4.3, en distinguant suivant les services (ingénieurs en « soutien », services administratif et financier, équipe « Systèmes et Réseaux »).

Pour ne pas compter un membre une année de trop, on considère qu'un membre est présent s'il a passé au moins 6 mois de l'année au LaBRI. Ainsi, les membres recrutés en septembre de l'année  $n$  ne sont comptabilisés que l'année  $n + 1$ . En revanche, un CR arrivé au 1<sup>er</sup> janvier de l'année  $n$  est bien comptabilisé pour l'année  $n$ .

Tableau 1.1 : Chercheurs et E/C au LaBRI

	2015	2016	2017	2018	2019	2020
MCF	73	71	71	72	71	70
CR	28	28	29	28	32	30
PR	37	38	37	37	38	36
DR	13	14	14	15	15	17
Post-doctorant(e)s	9	7	14	8	9	11
Doctorant(e)s	96	100	90	91	97	106
Autres, dont émérites	13	14	13	14	14	14

Le LaBRI a actuellement 27 MCF ou CR habilités.

On constate que le nombre de MCF a diminué de 3 et celui des PR de 1. Cette baisse s'explique en partie par la politique mise en place par l'université de Bordeaux, qui a besoin de maîtriser sa masse salariale « fonctionnaire » pour financer le « Glissement Vieillesse Technique (GVT) ».

À l'opposé, le nombre de chercheurs (Inria et CNRS) a augmenté : on comptabilise 2 CR et 4 DR supplémentaires. Il faut noter que ce bilan intègre les des départs et 5 promotions CR vers DR, et ne résulte donc pas seulement de recrutements externes. Ainsi, jusqu'en 2020, le LaBRI a en fait attiré **14 CR supplémentaires** :

- 9 sur concours (5 CNRS, 4 Inria),
- 5 en mutation (4 CNRS, 1 Inria).

Ces recrutements montrent l'attractivité et le dynamisme du laboratoire. Si le nombre total de CR n'a pas augmenté d'autant, c'est qu'il y a également eu sur des promotions de CR en DR (5 sur la période), 2 mouvements sur des postes d'enseignants-chercheurs, ainsi que 5 départs.

#### 2.4.1 Recrutement et mobilité des enseignants-chercheurs

Durant la période 2015–2020, nous avons eu les mobilités suivantes (recrutements externes, sauf mention contraire) :

**2015** Sur un profil large « tout LaBRI », nous avons recruté un professeur spécialiste des liens physique-combinatoire (CombAlgo, A. Tanasa). Un maître de conférences dont la thématique portait sur les réseaux (Progress, D. Bromberg) a été promu à Rennes. Enfin, un MCF qui travaillait en vérification de logiciels est parti en détachement au CEA (initialement pour une durée de 4 ans). Il a, à présent, quitté le LaBRI de façon définitive.



- 2016** Toujours sur un profil « tout LaBRI », nous avons recruté un PR spécialiste de l'intelligence artificielle appliquée à reconnaissance d'objets (I&S, V. Lepetit) et un MCF sur la thématique génie logiciel (Progress, M. L. Lamali). Nous avons eu deux départs à la retraite : celui d'un PR dont le domaine recherche est la topologie-combinatoire (CombAlgo, A. Zvonkin), et celui d'une MCF travaillant en théorie des langages (MF, A. Dicky). Un MCF du LaBRI (A. Casteigts) a changé d'équipe, passant de Progress à CombAlgo et un PR a changé d'UMR (BKB, A. De Daruvar).
- 2017** Recrutement de deux MCF, un local dans le domaine des systèmes autonomes, orientation robotique (MF, G. Passault) et un extérieur sur un profil « génie logiciel » (MF, V. Penelle). Sur un profil large « tout LaBRI », nous avons également recruté un PR dans le domaine du génie logiciel (Progress, L. Réveillère, qui était en poste à Bordeaux INP). Un PR, spécialisé dans la théorie des langages, a pris sa retraite (MF, M. Bauderon).
- 2018** Recrutement de deux PR, promus localement : le premier profil portait sur la visualisation d'information (BKB, D. Auber) et le second sur les systèmes autonomes appliqués à la robotique (MF, O. Ly). Nous avons également recruté trois MCF ; la le premier travaille sur la reconnaissance de forme (I&S, L. Hofer, local). Le second, sur l'extraction d'information dans les images (I&S, M. Clément, externe). Le troisième, sur la diffusion d'information dans les réseaux (Progress, J. Bruneau-Queyreix, local). Deux collègues ont pris leur retraite : un MCF travaillant en théorie de la preuve (MF, P. Casteran), un PR en logique et théorie des langages (MF, G. Sénizergues). Un MCF en théorie des graphes a été promu à Caen (CombAlgo, P. Dorbec).
- 2019** Nous avons recruté une MCF sur la thématique transverse « Convergence calcul haute performance et traitement des données massives » (Satanas, F. Zanon Boito). V. Lepetit (PR I&S) a demandé son détachement à l'École des Ponts. Deux MCF ont fait valoir leur droit à la retraite (Progress, F. Rubi et MF, K. Musumbu).
- 2020** Sur un profil large, nous avons recruté localement une PR (I&S, A. Bugeau). Sur un profil en algorithmique des graphes, nous avons recruté en MCF un candidat externe (CombAlgo, F. Dross). Ces collègues prendront leurs fonctions au premier décembre 2020.

Les tableaux 1.2 et 1.3 présentent une synthèse des recrutements MCF et PR. Les **arrivées** au LaBRI sont indiquées en **bleu**, les **départs** en **rouge**. Lorsque le mouvement se fait en interne, (promotion, changement d'équipe), la couleur est affadie. Par exemple, O. Ly a été promu professeur en 2018 : on indique **O. Ly** pour les Maîtres de Conférence (en **rouge**, car c'est un maître de conférences de moins), et **O. Ly** pour les Professeurs (en **bleu**, car c'est un professeur de plus). Les **changements d'équipe** sont indiqués en **italique** (*arrivée dans la nouvelle équipe/départ de l'ancienne*). Les **recrutements externes** et les **départs pour promotion PR** sont soulignés. Enfin, les **mutations**<sup>(m)</sup> sont indiquées par un (m).

Tableau 1.2 : Mouvements « Maîtres de Conférence »

	CombAlgo (E1)	I&S (E2)	MF (E3)	BKB (E4)	Progress (E5)	Satanas (E6)
2015			<b>A. Vincent</b>		<b>D. Bromberg</b>	
2016	<i>A. Casteigts</i>		<b>A. Dicky</b>		<u><b>L. Lamali</b></u> <b>A. Casteigts</b>	
2017			<b>G. Passault</b> <b>V. Penelle</b>		<b>L. Réveillère</b>	
2018	<b>P. Dorbec</b>	<b>L. Hofer</b> <b>M. Clément</b>	<b>O. Ly</b> <b>P. Casteran</b>	<b>D. Auber</b>	<b>J. Bruneau-Queyreix</b>	
2019			<b>K. Musumbu</b>		<b>F. Rubi</b>	<b>F. Zanon-Boito</b>
2020	<u><b>F. Dross</b></u>	<b>A. Bugeau</b>				
Delta	<b>+1</b>	<b>+1</b>	<b>-3</b>	<b>-1</b>	<b>-2</b>	<b>1</b>

Tableau 1.3 : Mouvements « Professeurs »

	CombAlgo (E1)	I&S (E2)	MF (E3)	BKB (E4)	Progress (E5)	Satanas (E6)
2015	<a href="#">A. Tanasa</a>					
2016	<a href="#">A. Zvonkin</a>	<a href="#">V. Lepetit</a>		<a href="#">A. De Daruvar<sup>(m)</sup></a>		
2017			<a href="#">M. Bauderon</a>		<a href="#">L. Réveillère</a>	
2018			<a href="#">O. Ly</a> <a href="#">G. Sénizergues</a>	<a href="#">D. Auber</a>		
2019		<a href="#">V. Lepetit<sup>(m)</sup></a>				<a href="#">J. Roman</a>
2020		<a href="#">A. Bugeau</a>				
Delta	0	+1	-1	0	+1	-1

À partir de 2017, l'université de Bordeaux a mis en place une politique, dite de « rehaussement », qui lui permet de maîtriser sa masse salariale tout en autorisant la promotion locale de ses maîtres de conférences. Il s'agit d'ajouter un « chapeau professeur » sur un poste de MCF à condition que le PR recruté appartienne à l'université de Bordeaux. Ce mécanisme impose donc un recrutement endogène pour les PR. Le laboratoire a bénéficié par deux fois de ce dispositif, qui n'engendre pas de cascade (le poste de MCF libéré n'est pas republié). Il faut noter que L. Réveillère a été recruté en dehors de ce dispositif. Concernant les MCF, la politique du laboratoire est de favoriser les recrutements *externes*. Cependant, les comités de sélection en ont décidé autrement pour les recrutements de G. Passault, L. Hofer et J. Bruneau-Queyrex. Un message clair est désormais adressé aux comités.

Bordeaux-INP n'est pas encore passé aux « Responsabilités et Compétences Élargies » (RCE). Sa politique de recrutement est différente de celle de l'université de Bordeaux. Elle reconduit les postes de MCF en cas de recrutement hors de son établissement. Ainsi la promotion de L. Réveillère a permis de republier son poste de MCF.

## 2.4.2 Recrutement et mobilité des chercheurs

Le recrutement des chercheurs échappe largement à la politique scientifique du laboratoire : il se décide en fonction de la stratégie de l'INS2I pour ce qui est du CNRS, et de la politique locale et nationale pour ce qui est d'Inria.

Concernant le **CNRS** :

- Cinq chargés de recherche ont été affectés au LaBRI après leur recrutement par concours (CombAlgo, M. Bonamy, S. Labbé ; MF, N. Fijalkow, J. Ochremiak ; Progress, T. Degueule). Quatre sont venus en mobilité (BKB, M. Raffinot et MF, L. Bienvenu, M. Bienvenu, L. Paulevé). Trois chargés de recherche ont quitté le laboratoire, un pour des raisons de cohérence thématique (I&S, F.X Féron), un autre parce que son EPC était terminée (MF, R. Moot), un dernier pour poursuivre sa carrière à l'étranger (MF, G.Puppis).
- Deux CR ont été promus DR (MF, J. Leroux et I&S, P. Coupé). Ces deux promotions montrent la qualité des candidats, mais également celle de l'environnement de recherche offert par le laboratoire.
- une directrice de recherche (BKB, M. Nikolski) a demandé à être affectée à un autre laboratoire car l'orientation de la politique scientifique de son équipe n'était pas en phase avec son nouveau projet de recherche.

### Concernant Inria :

- En 2015, suite à une restructuration thématique de l'EPC RealOpt, un CR (L. Eyraud-Dubois) et un DR (O. Beaumont) ont changé d'équipe, passant de CombAlgo à Satanas.
- Cinq chargés de recherche ont été affectés à des EPC avec le LaBRI, une chargée de recherche a demandé son détachement pour se rapprocher de son conjoint (I&S, A. Brock), deux autres ont quitté le laboratoire pour poursuivre leurs activités de recherche à l'étranger (Satanas, E. Balland en Suisse et I&S, I. Irkhe en Allemagne). Un dernier a été promu professeur des universités à Lille (MF, S. Salvati).
- Trois CR locaux ont été promus DR (Satanas, B. Goglin et I&S, M. Hachet et F. Lotte).

En résumé, entre 2015 et 2020, on recense donc l'arrivée de 14 nouveaux CR, 5 promotions DR, et 7 départs, dont un DR, et une promotion PR. Ces informations sont synthétisées dans les tableaux 1.4 et 1.5.

Tableau 1.4 : Mouvements « CR »

		CombAlgo (E1)	I&S (E2)	MF (E3)	BKB (E4)	Progress (E5)	Satanas (E6)
2015	CNRS	<a href="#">M. Bonamy</a>		<a href="#">J. Leroux</a>	<a href="#">M. Raffinot<sup>(m)</sup></a>		
	INRIA	<a href="#">L. Eyraud-Dubois</a>					<a href="#">L. Eyraud-Dubois</a>
2016	CNRS			<a href="#">R. Moot<sup>(m)</sup></a>			<a href="#">G. Pallez(Aupy)</a>
	INRIA		<a href="#">I. Irkhe</a>	<a href="#">S. Salvati</a>			<a href="#">E. Balland</a>
2017	CNRS	<a href="#">S. Labbé</a>					
	INRIA		<a href="#">M. Hachet</a> <a href="#">A. Brock</a>		<a href="#">X. Hinaut</a>		<a href="#">B. Serpette<sup>(m)</sup></a> <a href="#">E. Saillard</a>
2018	CNRS		<a href="#">F. X Féron</a>	<a href="#">L. Bienvenu<sup>(m)</sup></a> <a href="#">M. Bienvenu<sup>(m)</sup></a> <a href="#">N. Fijalkow</a> <a href="#">L. Paulevé<sup>(m)</sup></a>			
2019	CNRS		<a href="#">P. Coupé</a>	<a href="#">G. Puppis</a> <a href="#">J. Ochremiak</a>			
	INRIA		<a href="#">F. Lotte</a>				<a href="#">B. Goglin</a>
2020	CNRS					<a href="#">T. Degueule</a>	
	INRIA				<a href="#">C. Frioux</a>		
Delta		+1	-6	+1	+3	+1	+2

Tableau 1.5 : Mouvements « DR »

		CombAlgo (E1)	I&S (E2)	MF (E3)	BKB (E4)	Progress (E5)	Satanas (E6)
2015	CNRS			<a href="#">J. Leroux</a>			
	INRIA	<a href="#">O. Beaumont</a>					<a href="#">O. Beaumont</a>
2017	INRIA		<a href="#">M. Hachet</a>				
2019	CNRS		<a href="#">P. Coupé</a>		<a href="#">M. Nikolski</a>		
	INRIA		<a href="#">F. Lotte</a>				<a href="#">B. Goglin</a>
Delta		-1	+3	+1	-1	0	+2

### 2.4.3 Mobilité des personnels BIATSS

Le tableau 1.6 présente une synthèse des mouvements des personnels BIATSS. Nous ne présentons que les mouvements des agents **permanents**, ou en CDI. Le code couleur indique ici le service : **personnel administratif**, **équipe « Systèmes et Réseaux »**, **ingénieurs en soutien**.

Tableau 1.6 : Mouvements « BIATSS »			
Année	Départs	Arrivées	Delta
2015	Ph. Biais	I. Garcia A. Mersier	+1
2016	M. Fontaine B. Gazel A. Lagaillarde M. Lamour T. Martin	A. Issouli E. Lesage J. Martz	-2
2017	P. Héricourt P. Van Gilst		-2
2018	J. Martz	M. Fontaine	0
2019		E. Berni F. Lalanne C. Pennanech	+3
2020		S. Maria	+1
Delta			+1

**Évolution du service administratif et financier.** Ph. Biais a quitté le laboratoire en 2015. En 2015, I. Garcia (anciennement en CDD) a réussi le concours de Tech. Suite au départ de B. Cudeville, E. Lesage nous a rejoint en 2016 comme AJT. Elle a ensuite réussi le concours interne CNRS de Tech en 2019. Le poste de responsable du service financier a subi de nombreux changements, notamment par les départs successifs de A. Lagaillarde en 2016, puis de J. Martz en 2018. Le recrutement de S. Maria a permis de revenir à une situation normale.

Concernant le poste associé à la rubrique « Contrats et Projets », M. Lamour (à mi-temps au LaBRI) a été remplacée par E. Berni, initialement en CDD financée par les fonds du LaBRI. Elle est maintenant affectée au LaBRI à 50%, et à 50% à l'université. Il n'y a donc pas de déficit sur cette fonction.

**Évolution de l'équipe « Systèmes et Réseaux ».** Les changements les plus importants ont eu lieu dans l'équipe « Systèmes et Réseaux ». En 2016, les départs de B. Gazel et M. Fontaine, deux AI CNRS, ont fragilisé cette équipe. En 2017, les départs de P. Héricourt (IE CNRS) et P. Van Gilst (Tech UB) ont été officialisés. Ces deux agents étaient déjà en congé maladie avant 2015. En 2016, A. Issouli (anciennement en CDD) a été titularisé comme Tech CNRS. Malgré ce recrutement, l'année 2017 a été très difficile pour cette équipe qui, même en sous-effectif, a continué à assurer ses missions en conservant la qualité requise pour le fonctionnement normal du laboratoire. Suite à un audit demandé par la direction et conduit par le CNRS, nous avons pu argumenter auprès de l'INS2I pour renforcer cette équipe. Nous avons obtenu un emploi NOEMI en 2018, qui a conduit au retour de M. Fontaine. Un second en 2019 nous a permis de recruter C. Pennanech. Même si la situation s'est améliorée, il demeure un point de fragilité concernant la situation de R. Chatillon (AI contratuel) qui ne pourra pas être reconduit au-delà de 2021.

**Évolution des ingénieurs en « soutien ».** L'effectif des ingénieurs en « soutien » à la recherche est resté constant. T. Martin était affectée à l'équipe BKB, elle avait en charge la gestion des bases données biologiques. Elle avait demandée son détachement bien avant 2015, mais son départ administratif n'a été officialisé qu'en 2016. En 2019, nous avons recruté F. Lalanne en CDI, sur les fonds de l'ancien département « Sciences et Technologies ». Il a en charge le maintien et le développement d'applications sur la plate-forme LSD (voir Annexe C).

## 2.4.4 Moyens

Le tableau 1.7 présente les masses financières obtenues par les différentes équipes du LaBRI en réponse à des appels à projets ou par du financement industriel. Nous avons décidé de retenir le montant des recettes à l'année de la notification, tout en étant conscients que cela produit des effets importants en terme de financement annuel (notamment pour les projets européens ou les projets régionaux). De 2015 à 2019, l'activité contractuelle du LaBRI s'élève à 20.4 M€ soit une moyenne annuelle d'environ 4.1M€. Les variations de l'année 2016 sur les financements internationaux s'expliquent par le succès de F. Lotte à l'ERC. Le financement national repose principalement sur les réponses ANR où le LaBRI obtient régulièrement des taux de succès supérieurs à la moyenne nationale (39 ANR sur la période pour une centaine de déposées).

Tableau 1.7 : Contrats du LaBRI, en k€

	2015	2016	2017	2018	2019	Total
International, dont Europe	1041	2006	364	521	590	4522
National	2398	1236	1352	1905	1391	8282
Régional	618	101	140	1554	206	2619
Industrie	807	955	945	1257	827	4791
Autres	32	86	32	0	0	150
<b>Total</b>	<b>4896</b>	<b>4384</b>	<b>2833</b>	<b>5237</b>	<b>3164</b>	<b>20.4M€</b>

Le tableau 1.8 présente les dotations de l'unité sur la période, qui est quasi-constante sachant. Celle du CNRS intègre des financements particuliers (plate-forme VolBrain, SCRIME, conférences importantes comme EDTB/ICDT 2016, ou IWOCA'2020,...).

La dotation est utilisée pour financer les *appels internes* du laboratoire dont les missions, le soutien aux séminaires et groupes de travail, le matériel commun du laboratoire, l'entretien du bâtiment (bureau, réfection...) et des opérations exceptionnelles comme la communication ou l'achat de serveurs GPU. Aux ressources de la dotation, il faut ajouter les prélèvements sur les projets européens (50% des « over-heads ») et 5% sur les contrats industriels. Les contrats des EPC étant gérés par Inria, nous n'effectuons aucun prélèvement, mais nous avons une somme de 10K€ au titre de l'animation scientifique. Le centre Inria finance directement les EPC communes avec le LaBRI lors du dialogue entre le directeur du centre et le responsable de l'EPC.

Tableau 1.8 : Dotation du LaBRI (hors Inria), en k€

	2015	2016	2017	2018	2019
Université de Bordeaux	149	149	148	149	144
Bordeaux-INP	58	52	52	52	57
CNRS	170	185	201	185	195
<b>Total</b>	<b>377</b>	<b>386</b>	<b>401</b>	<b>386</b>	<b>396</b>



## 2.5 Politique scientifique

La politique scientifique du laboratoire s'inscrit dans la continuité de celle menée précédemment.

De manière classique, les éléments permettant de conduire cette politique scientifique : la définition des profils « recherche » des postes d'enseignants-chercheurs, le choix des sujets fléchés des thèses (2 par an), l'intégration des compétences du laboratoire au niveau de l'écosystème, le dialogue avec Inria pour la création ou le renouvellement d'EPC, les actions incitatives pour encourager les chercheurs à répondre à des appels à projets, etc.

De manière plus originale, le LaBRI ne redistribue pas sa dotation aux équipes même s'il leur attribue une somme symbolique pour l'animation de groupe. En revanche, il soutient les membres du laboratoire à travers des appels à projets internes variés. Ces appels ont différents objectifs comme : concourir à la mobilité ; dynamiser les groupes de travail (GT), lieux importants pour les échanges d'idées ; encourager les collaborations internationales. L'idée est de permettre à tous d'avoir des conditions de recherche satisfaisantes, sans passer un temps considérable à la rédaction d'un projet (une page argumentée suffit pour se porter candidat à ces financements internes).

**Définition des profils de recherche des postes d'enseignants-chercheurs.** Le recrutement des enseignants-chercheurs se fait en concertation avec les structures de formation pour mettre en adéquation les besoins en enseignement avec la politique scientifique du laboratoire.

Trois principes généraux président à la définition des profils « recherche » des postes :

- maintenir le potentiel recherche des équipes existantes,
- soutenir le développement des activités en émergence,
- définir des profils cohérents entre enseignement et recherche.

Concernant le maintien du potentiel recherche des équipes existantes, le laboratoire a tenu compte des départs (retraite et promotion) des membres du laboratoire, mais aussi a adapté les profils « recherche » à la taille du vivier. Par exemple, le dernier profil MCF, « Aspects algorithmiques des graphes », portait sur une des thématiques d'une équipe alors que d'autres, comme « Informatique : méthodes et outils probabilistes et statistiques », concernaient plusieurs équipes. Pour les postes de PR, les profils étaient orientés « tout LaBRI », avec une exception pour le poste « Sciences des données et de leur traitement » qui visait spécifiquement l'équipe BKB.

Des profils spécifiques ont été définis pour favoriser le développement d'activités émergentes, dès lors qu'il existait une masse critique suffisante en interne sur une thématique nouvelle. Ce fut le cas pour le profil recherche associé à la *thématique transverse* « Convergence HPC-BigData », un des axes scientifiques mis en avant au sein du ClustEx « SysNum ». Un effort particulier a été fait pour la thématique « Systèmes autonomes », pour laquelle nous avons fléché un poste de MCF et un poste de PR.

**Fléchage des sujets de thèses.** Au moment de la fusion des universités, l'organisation de la recherche a été structurée autour de « départements ». Le LaBRI faisait partie du département « Sciences et Technologies ». Ce département avait la possibilité de flécher des sujets de thèse en fonction de ses propres critères, très généraux et orientés vers les RH (nouvel arrivant, jeune HDR, sujets inter-départements...). L'unité de recherche devait fournir un classement des candidats en accord avec ces critères. En 2018, au niveau de l'EDMI (École doctorale mathématiques et informatique), les deux unités de recherche rattachés à cette école doctorale (l'IMB et le LaBRI) ont eu la possibilité de définir leurs *propres critères* pour flécher les sujets de thèse. Le conseil de l'EDMI entérinait la qualité du candidat et l'adéquation de ses compétences avec le sujet. En disposant de deux sujets fléchés sur les 6 alloués à l'informatique, nous avons pu construire une politique scientifique favorisant l'émergence de nouvelles thématiques (IA, quantique...).

**Intégration des compétences du laboratoire au niveau de l'écosystème.** Sur la période 2015–2020, la volonté de la direction a été de permettre aux membres du LaBRI de profiter au mieux des dispositifs présents au sein de l'écosystème (cf. section 1.3). Même si certains LabEx étaient antérieurs à 2015, leur existence a été rappelée à différents conseils scientifiques ainsi que l'intérêt pour certaines équipes d'y participer. Un chantier important a été conduit en 2017, celui de la refonte du **ClustEx « CPU »**. La constitution des thématiques scientifiques de ce ClustEx a été complexe car elle se faisait sur un large périmètre (I2M, IMB, IMS, LaBRI) et avec plusieurs partenaires (CEA, Inria). La refonte est détaillée en section 1.3. Au niveau de la direction du laboratoire, l'idée était de permettre au mieux l'intégration des compétences du LaBRI, tout en respectant les objectifs de ce nouveau ClustEx.

Lors de la mise en chantier des « Grands Programmes de Recherches (GPR) », la direction du laboratoire a organisé différentes réunions entre les membres du LaBRI et les porteurs des GPR afin d'associer au mieux les compétences du laboratoire avec les objectifs des porteurs des GPR. Cela a permis au LaBRI d'être présent dans les réponses de 6 GPR sur les 16 retenus pour la phase 2.

**Dialogue avec Inria pour la création ou le renouvellement d'EPC.** La direction du LaBRI a eu des consultations régulières avec la direction du centre Inria pour le renouvellement ou la création de nouvelles EPC. Par exemple, la direction a soutenu très fortement, auprès de ses tutelles universitaires, la création de l'EPC « **PLEIADE** » alors même qu'elle est « à cheval » sur deux UMR; nous avons été également associés à la création des EPC « **TADAAM** » et « **STORM** ».

**Réponse aux appels à projets.** Il y a de plus en plus d'appels à projets, que ce soit au niveau local, national, européen ou international, ce qui engendre une véritable complexité pour savoir sur quel appel se positionner. Pour optimiser notre stratégie concernant les réponses, nous avons mis en place en 2016 un site accessible à l'ensemble des membres du LaBRI et du centre Inria, permettant de recenser les différents appels. Il a ultérieurement été ouvert à tout Inria. Il est alimenté depuis 2016 par E. Berni, qui effectue une veille rigoureuse et documentée. Ce site permet en particulier de rechercher des appels, par exemple par type de financement voulu.



FIGURE 1.1 – Capture d'écran du site des appels à projet

Ce recensement s'est accompagné d'une politique *individuelle ciblée* vers les membres du LaBRI. Nous avons fait

de même pour le dépôt de candidature à l'ERC, ainsi que pour les projets H2020.

**Dispositifs d'aide à l'émergence, à l'animation scientifique et à la mobilité.** Les dispositifs d'aide mis en place par la précédente mandature concernaient les *missions*, la *mobilité junior* (entrante et sortante), et les *projets émergents*. Ils ont été complétés par d'autres dispositifs : les *séminaires*, la *mobilité doctorante*, et l'*aide à la publication*.

- Pour les **missions**, il s'agit de soutenir les membres du laboratoire qui n'ont pas les budgets nécessaires pour se déplacer ; le budget afférent est géré par le président du conseil scientifique, qui dispose d'environ 50k€ annuels.
- Pour la **mobilité junior**, il existe au sein de nos tutelles différents appels pour favoriser la mobilité mais aucun ne cible vraiment les « juniors ». C'est pourquoi la direction précédente a mis en place ce dispositif de soutien. Le budget qui lui est consacré est de l'ordre de 10K€. En 2019, nous avons budgété 10K€ supplémentaires pour la « **mobilité doctorant** ». Il s'agit d'aider les doctorants faisant un séjour de plus de 4 semaines dans un laboratoire étranger. Cette somme vient compléter les différentes aides possibles.

Dans la volonté de suivre l'évolution de notre discipline, nous avons également mis en place un appel à **projets émergents** qui fournit un financement d'amorçage pour un budget de 10K€.

- L'animation scientifique se fait principalement au niveau de l'équipe, du thème, voire de groupes de plus petite taille lorsque la taille d'un thème est trop importante. Les animations sont nombreuses (séminaires hebdomadaires, groupes de travail thématiques, etc.) et permettent à tous les membres de présenter et d'échanger sur leurs travaux de recherche. Cela explique en partie le nombre important de séminaires indiqués dans le fichier de synthèse de l'HCERES. Certains groupes de travail sont liés à des activités transverses aux équipes, émergentes, ou qui visent à préserver celles existantes. C'est le cas pour les groupes de travail suivants, mis en place sur la période (en plus des séminaires récurrents des équipes et des thèmes). Ils impliquent souvent plusieurs équipes, et montrent la vitalité de la recherche au LaBRI :
  - GT sur les assistants de preuve (en particulier Coq) actif depuis 2015, initié par S. Salvati et P. Casteran.
  - GT sur l'apprentissage profond, actif de 2016 à 2018, animé par A. Zemmari.
  - GT sur la théorie de l'apprentissage, débuté en 2019 par N. Fijalkow.
  - GT sur l'intelligence artificielle depuis 2020, animé par A. Zemmari et L. Simon.
  - GT sur l'informatique quantique, animé en 2020 par Y. Le Borgne et S. Dartois.
  - GT sur le traitement des données massives et hétérogènes, actif entre 1/2017 et 5/2019, amorcé par N. Hanusse.

Comme les équipes n'ont pas toujours la capacité financière pour assurer le déplacement d'orateurs invités à leurs **séminaires ou groupes de travail**, nous avons consacré une partie de la dotation du laboratoire (10K€ annuels) à ces invitations. Suivant la localisation des intervenants, cela représente une trentaine d'invitations par an.

- Enfin, les pratiques des éditeurs évoluent, et le monde académique en est de plus en plus dépendant. Dans certaines disciplines et pour certaines revues, il faut désormais payer pour être publié. Même si le laboratoire ne cautionne pas ce procédé, il a décidé d'allouer un budget pour soutenir les demandes de **frais d'édition** de ses membres. Une vérification de la qualité des supports visés est faite de façon systématique par le président du conseil scientifique et la direction du laboratoire. Enfin, un budget est aussi alloué pour l'**aide à la rédaction** de publications dans des revues ou des conférences très prestigieuses. Pour les deux postes confondus, le budget est de 10K€.

Les chiffres indiqués ci-dessus sont une *ventilation prévisionnelle* : en fonction des demandes et des crédits consommés, les différentes lignes sont fongibles. Au total, le LaBRI soutient ces différents dispositifs à hauteur de 100K€ annuellement, soit près d'un quart de la dotation de ses tutelles.

## 2.6 Actions et prise en compte des recommandations de l'HCERES

**Recommandation 1 :** *Il est nécessaire de définir et stabiliser dès maintenant la nouvelle équipe de direction. En effet, cette nouvelle équipe prendra sa place dans un environnement difficile : baisse prévisible ou au mieux stagnation des financements récurrents, ainsi que des contrats ANR sur lesquels reposent de façon importante les financements des équipes.*

Le LaBRI a effectivement vu ses financements récurrents baisser : la dotation en janvier 2015 était de 450K€ alors que celle de 2019 est de 396K€, soit une baisse de 12%. Nous avons reporté ou renoncé à certaines dépenses pour l'entretien du bâtiment. De même, le financement des EPC est passé de 235K€ en 2015 à 162K€ aujourd'hui (pour une EPC en moins par rapport à 2015). Ce financement, directement négocié entre le responsable du centre Inria et les responsables des EPC, échappe au laboratoire.

La direction du LaBRI était pleinement consciente de l'importance de travailler dans la continuité. Elle l'a fait, malgré deux changements prévus dès le départ. La nouvelle équipe a pris ses fonctions au 1<sup>er</sup> janvier 2016. Ces deux remplacements ont eu lieu en 2018 : M. Desainte-Catherine et É. Sopena ont quitté l'équipe, tandis que F. Krief et C. Gavaille l'ont rejointe. Ces changements, anticipés dès janvier 2016, n'ont pas nui à la continuité du travail de la direction. Au contraire, comme M. Desainte-Catherine et É. Sopena appartenaient à la direction précédente, ils ont permis cette continuité, tout en donnant le temps aux deux nouveaux entrants de se préparer. Dans le même esprit, la future direction, qui prendra ses fonctions en janvier 2021, a été étroitement associée à l'équipe actuelle depuis 2019, pour effectuer un « tuilage ».

**Recommandation 2 :** *Il faudra donc impérativement réussir à diversifier les sources de financement (tous types de contrats européens, industriels, etc.). Le comité d'experts insiste aussi sur les demandes de financement de type ERC. Le LaBRI est totalement absent sur ce créneau, alors que les compétences scientifiques avérées de ses chercheurs devraient lui permettre d'obtenir presque à coup sûr de tels financements.*

Nous avons entamé une réelle politique pour inciter l'ensemble des membres juniors et seniors du LaBRI à concourir à l'ERC, allant jusqu'à les solliciter personnellement. Nous avons répertorié l'ensemble des candidats potentiels en fonction de la date de leur soutenance de thèse et de leur rayonnement scientifique.

Nous avons déposé sur la période un dossier ERC « Advanced », 3 dossiers ERC « Consolidator » et 3 dossiers ERC « Starting ». Nous avons obtenu en 2016 une ERC « Starting » (Fabien Lotte, DR Inria); actuellement, Pierrick Coupé (DR CNRS) est admissible à l'oral pour une ERC « Consolidator ». L'ERC reste une démarche individuelle même si elle est profitable à un groupe et il est difficile de convaincre des seniors reconnus de concourir. Les membres du laboratoire ont été plus enclins à candidater à l'IUF. Nous avons obtenu sur la période 3 IUF juniors (X. Blanc, T. Place, A. Tanasa) et un IUF senior (V. Lepetit).

**Recommandation 3 :** *Concernant les rapports LaBRI-Inria, le comité d'experts suggère la mise en place d'une réunion mensuelle ou bi-mensuelle entre les directions afin de gérer dans la transparence les réponses aux appels d'offres régionaux ou nationaux, voire internationaux. Ce type de réunion pourrait aussi être étendu aux autres échelons pour travailler au croisement des cultures.*

Les relations avec Inria ont été constructives sur la période. Les réunions suggérées ont été amorcées, mais se sont délitées au fil du temps. Nous avons conservé les invitations réciproques du directeur scientifique du centre au conseil scientifique du laboratoire et les invitations de la direction du laboratoire au comité des projets du centre. Avant la période de confinement, nous avons mis en place une réunion mensuelle avec le nouveau directeur du centre Inria et le directeur du LaBRI ; cette réunion sera remise en place prochainement.

**Recommandation 4 :** *Le comité d'experts invite le LaBRI à mieux prendre en compte la formation par la recherche, par exemple en innovant au sein de l'école doctorale et des masters afin d'assurer le recrutement des doctorants. Le comité d'experts incite les collègues du LaBRI à prendre une place importante dans la réflexion sur les masters et les écoles doctorales qui ne manquera pas de s'installer dans les prochains mois/années dans les conseils universitaires, voire à être proactifs sur le sujet.*

Le laboratoire s'est fortement impliqué dans la formation des étudiants à la recherche, au niveau du master comme au niveau du doctorat.

N. Hanusse et L. Simon sont co-porteurs (avec S. Renaud, IMS et J.-M. Couveignes, IMB du « **Graduate Research Program (GRP) in Digital Sciences NUMERICS** », accepté en 2020 et qui débutera en 2021 (cf. section 1.3, qui situe ce projet dans l'écosystème local). Son objectif est de proposer une offre de formation pluri-disciplinaire, de haute qualité et attractive, dès le master à une centaine d'étudiants par an, français ou étrangers. Le montage du dossier, débuté en 2017 comme une « École Universitaire de Recherche » (EUR), a impliqué quatre laboratoires (IMB, IMS, I2M, LaBRI) et le centre Inria. Les nombreuses discussions ont été ouvertes à tous les membres des structures impliquées. L'évaluation positive du projet, reçue début juillet 2020, nous donnera des moyens conséquents pour mettre en œuvre ce programme ambitieux (18 M€ sont alloués sur 8 ans pour les 9 GRP du site).

Par ailleurs, A. Bugeau, membre de l'équipe I&S, a été motrice dans le montage du master **Image Processing and Computer Vision (IPCV)**, labellisé « Erasmus Mundus » en 2017. Elle a piloté le montage du dossier de labellisation, puis co-géré ce master avec V. Lepetit. La labellisation a, à nouveau, apporté un soutien financier et humain important. Le LaBRI a mené une action de communication vers les étudiants de ce master pour les inciter à poursuivre leurs études en thèse.

Dans le même esprit, la direction du LaBRI a activement participé à des journées de sensibilisation à la poursuite d'études en doctorat pour les élèves ingénieurs de l'ENSEIRB-MATMECA. Enfin, nous avons accueilli chaque année, et parfois à plusieurs reprises, des étudiants des ENS de Cachan, Rennes et Lyon, pour leur présenter les activités du laboratoire. Cette initiative nous a permis d'attirer en stage quelques uns de ces étudiants.

Enfin, nous sommes actifs au niveau de l'École Doctorale Mathématiques et Informatique (EDMI). N. Hanusse en a été directeur de 2013 à 2017. Depuis 2017, Pascal Desbarats en assure la direction adjointe, pour l'informatique. La direction participe à tous les conseils de l'EDMI, auxquels siègent également deux membres du laboratoire, J.-C. Aval et A. Tanasa. Le laboratoire est impliqué dans l'organisation du séminaire de l'EDMI, commun à l'IMB et au LaBRI, et organisé par G. Sénizergues jusqu'en 2018, et par A. Tanasa depuis.

**Recommandation 5 :** *Le service technique ne semble pas préparé à une centralisation de ses missions au niveau de l'université. Un repositionnement stratégique des ingénieurs plus fortement en appui à la recherche semble être une piste à explorer dans le futur.*

Durant la période, l'équipe « Systèmes et Réseaux » a connu de nombreuses mobilités (cf. section 2.4.3). En 2015, l'effectif était de 1 IR, 3 IE, 3 AI, et 1 Tech (contractuel) avec deux ASI en congé maladie. Il a diminué jusqu'à ne plus compter qu'un seul IR, un IE et un Tech. Les départs successifs ont eu des conséquences importantes sur l'organisation du service, à tel point qu'une mission d'audit a été effectuée à la demande de la direction en 2017. Le rapport de cette mission préconisait certaines améliorations concernant l'organisation et le fonctionnement de



cette équipe, que nous avons essayé de prendre en compte du mieux possible, en concertation avec les intéressés. À l'heure actuelle, le pôle production est composé de 2 IE, d'un AI et d'un Tech ainsi que d'un AI contractuel. Le pôle « expérimentation » est lui composé d'un IR et d'un IE. Cette séparation en deux pôles permet de rapprocher le pôle « expérimentation » des équipes de recherche tout en permettant au « pôle production » de mieux organiser son travail.

Quant aux ingénieurs de recherche en appui à la recherche, ils ont été partiellement détachés des équipes du LaBRI pour être rattachés à la direction du laboratoire : une partie de leur temps de travail a été mutualisée afin d'aider à soutenir certains projets du laboratoire sélectionnés par une commission *ad hoc*. Un premier sujet portant sur le développement d'un logiciel médical a été retenu par la commission et un second sujet portant sur la convergence « HPC BigData » avait été validé en conseil scientifique. Autant l'idée peut paraître séduisante, autant son instanciation est délicate car fortement dépendante de l'implication des chercheurs concernés. Il y a un réel potentiel d'amélioration sur ce sujet, notamment sur le suivi des travaux.

**Recommandation 6 :** *L'équipe administrative paraît un peu perdue dans les restructurations universitaires en cours ; il faudrait la consolider et la soutenir (notamment dans le cadre de promotions).*

La promotion des agents de l'équipe administrative est une préoccupation constante de la direction. Nous avons essayé d'organiser le fonctionnement du laboratoire pour favoriser leur évolution de carrière en confiant autant que possible des missions correspondant au grades supérieurs. Cependant, il faut savoir qu'au sein de l'université, les évolutions de carrière passent très souvent par une mobilité. Par ailleurs, les chances de promotion au CNRS sont supérieures au niveau du concours interne qu'à l'avancement au choix. Nous avons sensibilisé les agents à ces mécanismes de promotion.

Ce mode de progression dans la carrière, par mobilité, est la raison pour laquelle nous avons perdu deux responsables du pôle financier sur la période, ce qui aurait pu déstabiliser le service. Ainsi, A. Lagaillarde a quitté le pôle financier en 2016 et a été remplacée par J. Martz cinq mois plus tard, qui, à son tour, nous a quittés en 2018. En janvier 2020, nous avons recruté S. Maria. Ce poste clé a donc été vacant pendant plus d'un an. Comme indiqué ci-dessus, ces départs s'expliquent par la politique de progression de carrière à l'université ; en effet, la responsabilité du pôle financier est un poste AI, alors que les responsabilités réelles exercées sont proches de celles d'un IE. Ce poste est donc particulièrement fragile.

Les promotions suivantes ont été obtenues sur la période : E. Meyre est passée Tech en 2015 et a obtenu une promotion dans le grade (CS) en 2019, par avancement au choix ; I. Garcia a réussi le concours interne CNRS de Tech en 2015 suivi d'un changement de grade en 2020. E. Lesage, recrutée comme AJT en 2016, a réussi le concours interne Tech CNRS en 2019. A. Mersier a réussi le concours interne de AJT en 2016 et obtenu un changement de grade en 2020. M. Hinnenberger a obtenu une promotion dans le grade IE 1er classe en 2016.

## 2.7 Profil d'activités

Les principales activités pour le LaBRI sont la recherche (production scientifique, animation de la recherche, formation par la recherche), le transfert de technologie mais aussi la production logicielle.

Même si statutairement les enseignants-chercheurs ont une obligation d'enseignement, il n'y a pas de raisons de les distinguer des chercheurs, car tous, chercheurs et enseignants-chercheurs, contribuent à la qualité de la recherche au LaBRI.



## Recherche

L'implication dans la recherche, son animation et la formation doctorale sont très largement majoritaires dans les activités des membres du laboratoire.

1. **Production scientifique.** La qualité de la recherche effectuée au LaBRI est attestée par le nombre de publications dans les revues Q1 (plus de 400) et dans les conférences de premier plan A\* ou A (près de 250), sans parler des monographies.
2. **Montage de projets.** Une part de l'activité des membres du laboratoire est consacrée à la réponse aux appels à projets. Ces dernières années, leur nombre et leur nature ont encore augmenté pour des budgets qui eux, malheureusement, n'ont pas suivi dans les mêmes proportions. Cette activité devient de plus en plus chronophage et de moins en moins productive ; pour les mêmes raisons, l'activité d'évaluation devient de plus en plus importante, mobilisant une partie non négligeable du temps-recherche. Cependant, vu le montant de la dotation, cette activité est impérative pour collecter les fonds nécessaires au fonctionnement des équipes du LaBRI. Il faut aussi remarquer qu'une partie des réponses aux appels à projets comporte une dimension interdisciplinaire (biologie, santé...) et même sociétale (éducation, artistique).
3. **Animation de la recherche**
  - **Activités éditoriales et comités de programme.** Les membres du LaBRI sont très impliqués dans les activités éditoriales et les comités de programme, mais aussi dans l'organisation de conférences et l'édition de numéros spéciaux de revues. Les détails sont indiqués dans les bilans de chacune des équipes. Il faut également souligner leur implication locale au niveau des groupes de travail et de l'organisation de séminaires.
  - **Participation à différentes instances.** Les membres du LaBRI sont impliqués dans :
    - les instances locales : un VP Patrimoine, un VP CEVU et deux VP Numérique sur la période,
    - les instances nationales : Comité national des sections 7 et 41 du CNRS, Conseil Scientifique de l'INS2I, Comités d'évaluation scientifique 25 et 40 de l'ANR, Conseil National des Universités, Groupement de Recherche CNRS et GT affiliés, Commission nationale de l'informatique et des libertés, Conseil Scientifique d'Inria...
    - les instances internationales : ETP4HPC-European Technology Platform for High Performance Computing, EATCS, PRACE...
  - **Activité d'évaluation.** Les membres du laboratoire ont une activité d'évaluation importante (projets, recrutements, articles), pour des organismes nationaux ou internationaux.
  - **Collaborations.** L'invitation ou les séjours, que ce soit en France ou à l'étranger, sont des éléments importants pour la recherche car ils permettent souvent d'établir des contacts qui se poursuivent par des collaborations pérennes. Les dispositifs offerts par le CNRS (GDRI, LIA, IRL), les projets BIS de l'université de Bordeaux (une vingtaine) ou les Partenariats Hubert Curien (plus d'une vingtaine) proposent des financements dans ce cadre.
  - **Formation doctorale.** Le nombre de thèses soutenues durant la période est important (près de 140) ainsi que le nombre global de doctorants (environ 250). Ces chiffres illustrent l'importance de l'implication des membres du LaBRI dans la formation par la recherche. À cela, il faut ajouter le nombre d'heures de formation dispensées chaque année dans le cadre de la formation doctorale (environ 50h par an).

- **Jury de thèses et d'HDR.** Une activité directement liée à celle de la formation doctorale concerne la participation (membre, rapporteur, président) à des jurys de thèse ou de HDR. Il est difficile de maintenir une comptabilité fine de la participation aux jurys de thèse et HDR, cependant nous estimons que la participation à des jurys de thèses ou de HDR avoisine 1 jury par an et par membre du laboratoire (les collègues A étant davantage sollicités que les collègues B).
- 4. **Transferts de technologie et recherche partenariale.** Les équipes du LaBRI mènent des recherches des plus amonts de l'informatique jusqu'à des aspects finalisés. Toutes les équipes du LaBRI sont en capacité de monter des collaborations de recherche partenariale avec des industriels. Par exemple, l'équipe MF collabore avec la SNCF, ATOS et SafeRiver et possède un partenariat avec la société Ubisoft. Au LaBRI, la recherche partenariale se fait aussi bien avec des grands groupes industriels (Airbus, Thales, Suez, Siemens...) que des PMI (ITECA, I2S, SCILLE...). Aux partenariats industriels s'ajoute la dimension entrepreneuriale avec la création de start-up (5 sur la période) ou encore l'activité de conseil aux entreprises.
- 5. **Développement de logiciels.** On peut distinguer plusieurs types de logiciels :
  - Les logiciels de grande taille qui demandent un temps important pour leur développement mais aussi pour leur maintenance et leur évolution. C'est le cas, par exemple, pour des logiciels phares du LaBRI comme : *StarPU*, *NewMadeleine*, *Tulip*, *AltaRica studio*. Au-delà de leur simple développement, ces logiciels demandent un travail constant de diffusion, d'amélioration et d'adaptation aux évolutions des technologies et à celles de leurs utilisateurs. Ce type de logiciel sert de support à des collaborations, aussi bien académiques qu'industrielles. C'est en quelque sorte un « ticket d'entrée ».
  - des logiciels de taille plus modeste, développés dans le cadre de compétitions, pour assurer la reproductibilité des résultats scientifiques ou pour faire une preuve de concept. Ceux-là n'ont pas de raison particulière d'être maintenus dans la durée. C'est par exemple le cas du logiciel *Glucose*, un solveur SAT de référence.
  - Un dernier type de production concerne les contributions à des logiciels ou plates-formes existantes. C'est le cas, par exemple, pour les contributions à SageMath où les modules fournis sont partagés avec une importante communauté.

### 3 Présentation de l'écosystème recherche de l'unité

**Le LaBRI dans l'IdEx Bordelais.** En 2011, le site bordelais a été retenu parmi les trois initiatives d'excellence (IdEx). Cette réussite tient en grande partie aux succès obtenus par le site aux différents appels du PIA (5 LabEx, 5 EquipEx, 1 IHU et une cohorte). Pour cette première phase, l'IdEx Bordeaux a reçu une dotation de 700 millions d'euros. Elle a ainsi pu développer un plan d'actions opérationnel reposant sur 6 « priorités d'action » et 8 « domaines scientifiques d'excellence ». Voir le site dédié de l'IdEx pour plus de détails.

Le LaBRI a bénéficié de certains des dispositifs de l'IdEx, notamment pour la mobilité ; on peut citer sur la période :

- 9 invitations de chercheurs étrangers (*Bordeaux Visiting Scholars*),
- 6 mobilités pour des chercheurs bordelais (*BIS*),
- un soutien à deux LIA (*INFORMEL* et *LIRCO*)
- la participation au financement de l'*IRL Relax* (UMI Relax, dans la terminologie pre-covid).

Dans le prolongement de l'IdEx, la **SATT Aquitaine Science Transfert** a été créée. Elle fait partie de l'écosystème du LaBRI. Elle a pour mission l'accompagnement des chercheurs dans la *protection*, la *maturation* et la *valorisation* de leurs résultats de recherche. Elle participe à la protection des résultats et à la gestion des droits. Elle investit également sous forme de fonctionnement ou d'investissement dans des dispositifs de maturation

technico-économique pour développer des concepts pré-industriels afin de favoriser le transfert rapide des résultats de la recherche sur le marché.

Même s'il n'est pas financé par l'IdEx Bordeaux, un acteur important est le « **Centre Aquitain des technologies de l'information et de l'électronique** » (CATIE). Il s'agit d'un centre de transfert technologique spécialisé dans les technologies numériques, dont la mission est de soutenir les PME et ETI de la région Nouvelle Aquitaine. Il est financé en partie par le Conseil Régional. Ce centre emploie une dizaine d'ingénieurs permanents sur trois axes stratégiques : les systèmes cyber-physiques, l'intelligence artificielle et le facteur humain. Le LaBRI collabore étroitement avec cette structure, soit en réalisant des études scientifiques sur des problématiques industrielles, soit en déléguant une partie des développements aux ingénieurs du CATIE.

**Le ClustEx CPU.** L'IdEx Bordeaux a également créé deux clusters d'excellence (ClustEx) : l'un, autour du numérique (CPU) et l'autre, autour de l'optique-photonique-laser (LAPHIA). Ces deux ClustEx étaient assimilables à des LabEx, ayant un mode de fonctionnement quasi-identique. Les membres du LaBRI se sont investis—bien naturellement—dans le ClustEx CPU, mais également dans deux autres LabEx (Brain et Trail), ainsi que dans l'Institut Hospitalo Universitaire (IHU) Lyric.

Initialement, CPU avait pour objectif de contribuer à la *qualification* et à la *certification* de systèmes numériques, notamment à travers le développement d'outils de simulation (des aspects amonts jusqu'aux aspects appliqués). Les fonds de CPU ont permis de financer, sur la période 2013–2016 :

- **4 contrats doctoraux,**
- **12.5 ans de contrats post-doctoraux,** et
- **10 années d'ingénieur.**

Pour développer les collaborations entre les partenaires de CPU, la condition de financement était de les intégrer dans des projets *collaboratifs*, impliquant des membres de différentes unités du site.

**De CPU à SysNum.** En 2016, les deux ClustEx ont été évalués par un jury international. Suite à cette évaluation, certains dysfonctionnements ont été identifiés dans l'organisation de CPU. Le comité de l'IdEX, via le VP recherche de l'université, a mandaté les directeurs des unités concernées (IMB, IMS, I2M, LaBRI), en concertation avec les partenaires du projet (CEA, Inria), pour proposer une refonte du projet CPU, aussi bien sur le plan scientifique que sur le plan organisationnel.

L'ambition de cette proposition, intitulée « **Systèmes Numériques distribués à large échelle (SysNum)** », était d'attaquer des problématiques allant **des capteurs** (le bas niveau) à **la décision** (le haut niveau). Elle a été entérinée par le comité de l'IdEX et sa direction a été confiée à Marius Tucsnak. L'idée initiale de CPU consistant à développer les collaborations entre les unités de recherche a été reprise dans « SysNum », les membres des différents axes de ce nouveau ClustEx relevant des différentes unités de recherche impliquées. Cette disposition a permis d'aborder les problématiques du numérique sous l'angle de plusieurs disciplines.

SysNum s'articule autour de **4 axes méthodologiques** et de *8 briques technologiques* :

### 1. Systèmes d'objets inter-connectés

- *Contrôle, optimisation, et algorithmique distribuée,*
- *Réseaux large échelle et Internet des objets,*
- *Perception et interaction dans les systèmes autonomes.*

### 2. Fiabilité et sécurité

- *Sûreté de fonctionnement dans les systèmes distribués (du matériel à la logique).*

### 3. Modélisation et simulation numérique

- *Méthodes pour la simulation numérique appliquée à la physique et la santé,*
- *Convergence entre données massives et calcul intensif.*

#### 4. Données massives et hétérogènes

- *Navigation, extraction d'information dans les données massives et hétérogènes,*
- *Imagerie multimodale.*

Initialement, trois plates-formes expérimentales devaient être développées. Il s'agissait de : (1) écologie numérique, (2) smart-campus, (3) drones et robots. La plate-forme dédiée à l'écologie numérique n'a pas pu se mettre en place du fait d'un manque de coordination entre la partie numérique et la partie agricole. Les deux autres plates-formes ont atteint leurs objectifs.

Le LaBRI, très impliqué dans la co-construction de Sysnum (par son directeur, par des membres chargés de la réflexion sur les axes et de l'interaction avec d'autres laboratoires) en a retiré des financements appréciables : il a disposé de 5 co-encadrements de contrats doctoraux, de 28.5 mois de stages post-doctoraux et de 242 mois d'ingénieur. De plus, le LaBRI a reçu sur la période 93k€ pour du fonctionnement (mobilité entrante et sortante, stages, workshop...) et 42k€ en investissement pour la plate-forme robotique.

CPU et son successeur SysNum ont réellement contribué à la mise en place de collaborations entre l'IMS, l'IMB et le LaBRI dans les différentes briques technologiques. Il s'agit donc de changements structurels, d'habitudes de collaborations croisées qui se sont installées.

Ceci est attesté par le fait que depuis 2018 (création effective de SysNum), on compte un nombre de publications scientifiques *inter-disciplinaires*, acceptées ou publiées, impliquant des membres du LaBRI. On compte : 1 chapitre de livre, 7 revues et 13 conférences avec actes et 4 publications soumises ou en révision. Ces chiffres doivent être mis en regard de la date récente de création de SysNum.

**France IA.** Plusieurs initiatives liées au plan « France IA » ont été menées sur le site bordelais. La première a été de répondre à l'appel pour la création des « Instituts Interdisciplinaires d'Intelligence Artificielle » (3IA). Une proposition, baptisée « Bordeaux Artificial Intelligence Alliance (BAIA) », a été portée par R. Thiébaut (PUPH). Le projet s'articulait autour de 3 axes :

1. Fondements des systèmes bio-inspirés d'apprentissage et leurs applications,
2. Recherche intégrative sur les images et au-delà,
3. IA dans la société : validation, efficacité et impact sur la population.

La santé était l'axe privilégié. Malheureusement, ce projet n'a pas été retenu, mais il a permis de poser les bases d'une politique de site autour de l'IA, qui a eu un impact sur la politique scientifique du laboratoire, l'IA devenant un axe transverse à plusieurs équipes du LaBRI (comme l'atteste le nombre de groupes de travail autour de l'apprentissage ou de l'intelligence artificielle, voir page 14).

Suite à l'appel 3IA et dans la dynamique du développement de l'IA sur le site, l'université de Bordeaux a fédéré une réponse dans le cadre de l'appel « chaire IA ». Dans ce contexte, 11 projets de chaire IA ont été déposés et des membres du LaBRI ont été impliqués dans 4 réponses. Au final, 3 chaires IA ont été sélectionnées, dont celle portée par M. Bienvenu sur les « méthodes intelligentes pour le traitement des données imparfaites ». Enfin, un troisième dispositif était celui des « doctorants en IA » auquel le site bordelais a également concouru en proposant une quinzaine de sujets de thèse articulés en fonction d'une stratégie de site. L'ANR a finalement accepté de participer au financement de 10 thèses. D'ici la fin de l'année, il faudra définir les modalités de sélection des sujets pour avoir une politique scientifique cohérente au niveau du site.

**Les départements de l'université de Bordeaux.** Le 12 décembre 2018, le CA de l'université de Bordeaux a entériné la création de 11 départements de recherche pour organiser la structuration de sa recherche. Ainsi en

mars 2019, le département « Sciences de l'Ingénierie et du Numérique » a été officiellement créé. Il regroupe l'ensemble des compétences dans les domaines de l'informatique, de l'électronique, des mathématiques et de la mécanique. Ces disciplines scientifiques présentent des complémentarités pour répondre aux grands enjeux que constituent l'industrie du futur et le numérique. Il est composé de 4 UMR (I2M, IMB, IMS et LaBRI) et associe également ESTIA-Recherche au titre de sa convention d'association avec l'université de Bordeaux. Un des atouts de ce département réside dans les liens relationnels créés à travers tous les dispositifs liés à l'IdEx. En effet, la refonte de CPU en SysNum, la réflexion sur la création du département, les collaborations mises en place sont autant d'éléments qui ont contribué à créer une vision commune au sein des 4 UMR impliquées. Cette relation basée sur le respect des autres disciplines permet un dialogue aussi serein que constructif au niveau du département, chacun essayant d'œuvrer pour le bien commun en étant à l'écoute des problématiques des autres avec comme objectif les développements scientifiques à l'interface des différentes disciplines. Concernant l'animation du département, elle en est à ses prémises : les premières actions ont porté sur l'organisation de la journée du département, le financement des colloques, l'aide à l'environnement des doctorants, le soutien ponctuel à des projets (dont les projets régions), le lancement d'un appel à projets à l'ensemble des membres...

**Les grands programmes de recherche.** Enfin, une des missions des nouveaux départements serait liée au pilotage des « Grands Programmes de Recherche », même si à l'heure actuelle ce dernier point doit être précisé par l'université de Bordeaux. Les « Grands Programmes de Recherche » peuvent être vus comme les successeurs des LabEx et ClustEx. Ils ont pour vocation le soutien à une recherche d'excellence sur des thématiques originales, visibles à l'international et « valorisables » auprès de partenaires industriels. Dans une première phase, 23 GPR ont fait l'objet d'une lettre d'intention, 16 ont été retenus pour le dépôt d'un projet plus abouti. Concernant le département SIN, deux ont été retenus, il s'agit de « Design, Analysis and Control of Smart Systems » (DACCS) dédié à la conception de systèmes complexes distribués et de « Making Better to live Better » (BEST 4.0) dont la thématique centrale est l'usine du futur. Le LaBRI est fortement impliqué dans ces deux GPR avec une implication plus forte dans DACCS que dans BEST 4.0. Mais au-delà des GPR portés par le département SIN, il faut aussi noter la participation des membres du LaBRI dans d'autres GPR comme : « IMaging for Precision medicine within A Collaborative Translational program » (IMPACT), « BRAIN 2.0 », « Public Health Data Science » (PHDS) et « ORIGINS : from the origin of matter and planetary systems to the evolution of the climate and our species » (ORIGINS). Bien que les sciences du numérique soient devenues indispensables à d'autres disciplines, l'implication des membres du LaBRI dans les thématiques scientifiques de ces 4 autres GPR a pour ambition de mener de véritables activités de recherche et non de développer des outils d'ingénierie. Ces participations montrent toute l'originalité du laboratoire qui est en capacité de mener des recherches au cœur de l'informatique mais également des participer à des recherches multidisciplinaires.

**Implications sur le site bordelais.** Il faut mentionner l'implication des membres du LaBRI dans la direction de l'université de Bordeaux (VP Patrimoine, CEVU, Numérique). L'ancien VP CEVU (A. Braquelaire) est le responsable du projet « NewDeal », dont l'objectif vise à refondre les cursus de l'université de Bordeaux sur un modèle centré sur les étudiants. M. Mosbah (directeur adjoint du LaBRI) est le VP numérique de Bordeaux-INP.

À Bordeaux INP, les membres du laboratoire sont également impliqués dans plusieurs grands projets structurants. La création d'un Fablab appelé EIRLAB au sein de cet établissement, destiné aux étudiants, aux entreprises et au grand public, a permis le lancement de plusieurs projets, notamment en robotique, animés par des chercheurs du laboratoire. Son « Fabmanager » est un membre du LaBRI. Par ailleurs, deux chaires industrielles en partenariat avec des entreprises viennent d'être lancées à Bordeaux INP, l'une concerne « les transports intelligents et la mobilité » et l'autre porte sur la « cyber-sécurité ». Ces deux chaires, adossées à la Fondation de site Bordeaux Université, sont pilotées et animées par des membres du laboratoire et portent sur des activités de formation, de recherche et de transfert. L'ensemble de ces projets démontre l'ancrage du laboratoire et l'implication de ses membres dans le développement de grands projets partenariaux ambitieux et structurants.



**Écoles Universitaires de Recherche (Graduate Research Programm).** Un autre élément à considérer au niveau de l'écosystème local concerne les « Écoles Universitaires de Recherche » (EUR) ; lors de la première phase de l'appel en 2017, nous avons proposé une réponse « Numérics » avec l'ensemble du périmètre du département SIN. Le positionnement scientifique sur les « systèmes intelligents » avait été apprécié par le jury international mais il avait jugé que l'ambition du projet était trop large vis-à-vis des objectifs et que le périmètre applicatif devait être plus spécialisé. Le porteurs actuel de l'EUR est N. Hanusse (membre du LaBRI), il est assisté dans cette responsabilité par J-M. Couveignes (IMB), C. Maneux (IMS) et L.Simon (LaBRI). Un nouveau projet a été à soumis en tenant compte des remarques du jury et accepté en 2020. Il s'agit de donner une formation interdisciplinaire dans le domaine des sciences du numériques (sciences de l'ingénieur, mathématiques, informatique) en y adjoignant des compétences en sciences sociales et humaines. La richesse scientifique du site sur cette thématique est réelle. De nombreux séminaires et écoles à destination des doctorants seront organisés et des bourses de mobilité interne et externe sont budgétisées. De plus, des partenariats sont d'ores et déjà prévus avec des IRL (Inde, Singapour, Chine et Inde). En outre, les collaborations industrielles avec les différents partenaires des unités de recherche (I2M, IMB, IMS et LaBRI) devraient permettre aux étudiants d'aborder les problématiques concrètes du monde industriel et de se constituer un réseau professionnel.

## 4 Produits et activités de la recherche de l'unité

### 4.1 Bilan scientifique

En reprenant les activités mentionnées dans la section 2.5, et synthétisées dans le tableau HCERES, la production scientifique est importante, tant du point de vue quantitatif que qualitatif. Pour qualifier **les publications scientifiques**, nous avons utilisé les indicateurs usuels (Q1 Scimago l'année de la publication) et A\*-A (Core Ranking).

Les données sont résumées sur les tableaux suivants. Qualitativement, la proportion des publications dans des revues de rang Q1 (Scimago) dépasse les **50%**. Pour les conférences, le taux de A-A\* est moindre : cela s'explique, d'une part, par les coutumes des communautés, où les revues sont privilégiées par rapport aux conférences (par exemple à l'interface math-info) et, d'autre part, par le fait que certaines équipes préfèrent cibler des conférences de moindre renom mais où elles peuvent diffuser leurs idées plus largement auprès de leur communauté.

La qualité scientifique et les commentaires des résultats des publications sont détaillés dans la présentation des équipes.

Le LaBRI a publié, sur la période, **760** articles en revues. Ce chiffre est inférieur aux 774 indiqués dans le document de synthèse, car nous avons ici supprimé les doublons, *i.e.*, les publications communes à plusieurs équipes.

Tableau 1.9 : Statistiques « revues » du LaBRI

	Q1	Autres
Nombre	409	351
Pourcentage	54%	46%

Le LaBRI a publié, sur la période, **1034** articles en conférences. Ce chiffre est inférieur aux 1056 indiqués dans le document de synthèse, car nous avons ici à nouveau supprimé les doublons.

Tableau 1.10 : Statistiques « conférences » du LaBRI

	A* ou A	Autres
Nombre	247	787
Pourcentage	24%	76%

La publication des doctorants est la suivante :

Tableau 1.11 : Production des doctorants du LaBRI

	Doctorants	Total labo	Pourcentage
Conférences	338	1034	33%
Revues	144	760	19%

Dans ces statistiques, une publication co-signée par plusieurs doctorants n'est comptabilisée **qu'une seule fois**.

On peut noter que le laboratoire compte :

- 7 publications en revue co-signées par **2 doctorants simultanément**,
- 21 publications en conférences co-signées par **2 doctorants simultanément**,
- 3 publications en conférences co-signées par **3 doctorants simultanément**,

Le document joint *Données du contrat en cours* demande (Onglet 4, *Produits et Activités de la Recherche*, ligne 115) le « Nombre moyen d'articles par docteur ». Stricto sensu, cela signifie le nombre d'articles par membre du LaBRI ayant un doctorat, ce qui inclut les permanents. Du fait du titre de la section (*2- Productions scientifiques (articles, ouvrages, etc.) issus des thèses*), nous avons interprété la demande comme concernant les **docteurs ayant obtenu leur thèse sur la période**. Pour obtenir cette statistique, nous avons donc recensé ces docteurs, par équipe, et retiré du compte des publications celles des doctorants non encore docteurs au premier juin.

La figure 1.2 montre les domaines scientifiques couverts par les membres du LaBRI. Ces données, extraites de Scopus à partir de la liste des membres permanents, donnent une idée de nos domaines de publication. Comme la combinatoire pour les anglo-saxons est considérée comme appartenant aux mathématiques, on peut estimer qu'environ 70% des publications se trouvent au cœur de notre discipline. Les 30% restants sont orientés vers d'autres sciences. Cette ouverture à d'autres disciplines comme la physique, les sciences de l'ingénieur, la médecine ou les neuro-sciences est aussi attestée par l'implication des équipes dans des LabEx ou des ClustEx du site, ainsi que par leur participation à des projets ANR ou des projets européens. Toujours selon les données extraites de Scopus, 13.8% des publications du LaBRI sont dans les 10% des publications les plus citées, 16.7% sont dans les 10% des meilleurs journaux du domaine (indice SJR) et 57.2% sont co-signées avec des institutions étrangères.

Concernant les publications entre les équipes du LaBRI, les tableaux 1.12a et 1.12b recensent le nombre de revues et conférences co-écrites par des membres d'équipes différentes. Lorsqu'une publication est commune à plus de deux équipes, elle est comptée autant de fois (une revue à 3 équipes est comptée commune aux 3). Les publications communes à plusieurs équipes portent principalement sur les thématiques émergentes (Traitement des données massives, systèmes autonomes, informatique de confiance...).

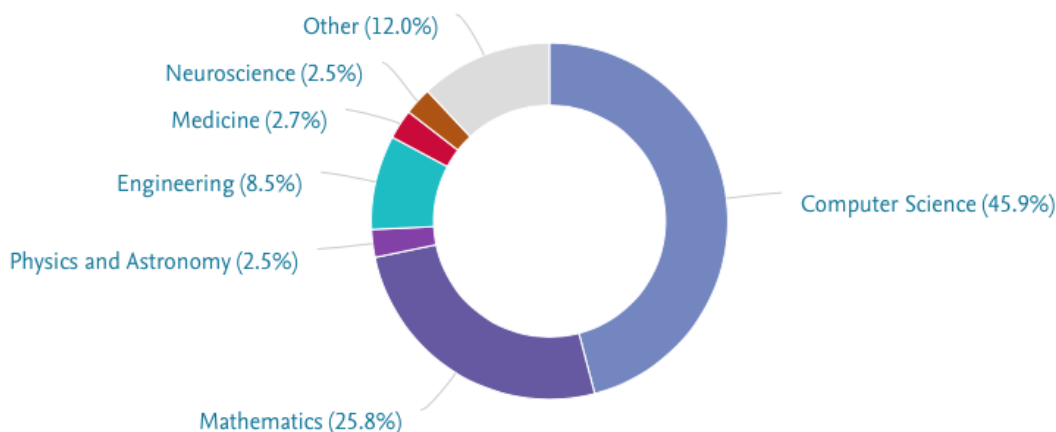


FIGURE 1.2 – Thématiques scientifiques des publications (source scival pour membres du LaBRI en 2019)

À l'échelle du LaBRI, l'investissement dans les comités de programme de conférences est important (plus d'une centaine). Par ailleurs, toutes les équipes sont investies dans des comités éditoriaux de journaux, et on peut noter que CombAlgo et MF le sont particulièrement. Il faut aussi compléter ce point par l'**organisation** de colloques, de conférences ou d'écoles jeune chercheur où les membres du LaBRI participent activement. Concernant les conférences, on peut citer JCB de manière récurrente, mais aussi JDEV 2015, JFPC 2015, SAT 2016, EDTB/ICDT 2016 BGW 2016, JG1 2017, ICOWA 2020, etc. Au total c'est près d'une quinzaine de colloques de plus de 50 personnes, organisés sur la période.

Des membres du LaBRI sont présents dans les **instances internationales** : instances de standardisation (MPI, OpenPM...), fédérations de recherche (« International Federation for Information Processing–IFIP », « European Association for Theoretical Computer Science –EATCS »...).

Le nombre de **visiteurs étrangers** accueillis au LaBRI est très important (de l'ordre de 550) mais il doit être aussi modulé par la durée de séjour, on recense tout de même 42 chercheurs étrangers qui sont restés plus de 3 mois au LaBRI. Pour les membres du LaBRI, les séjours à l'étranger sont plus courts avec 27 séjours d'une durée supérieure à 1 mois.

**Les collaborations internationales** se concrétisent sous différentes formes : participation à des projets internationaux (Europe et Hors-Europe), accords bilatéraux (style PHC ou CEFIPRA), IRL, LIA. Durant la période, nous avons eu 19 contrats financés par des fonds européens (H2020, PRACE, EINFRA...), un peu moins d'une cinquantaine de contrats liés à la mobilité (I dex, PICS, PHC...), la participation au GDRI (Alea Network), deux LIA (LIRCO et Informel) et un IRL (RELAX). Elles ont permis un nombre important de co-publications avec des chercheurs étrangers.

Concernant l'implication dans les **instances**, on recense la présence de membres dans différents comités ANR, dans les CoCNRS des sections 41 et 6, dans le conseil scientifique de l'INS2I, au CNU, dans les bureaux de différents GDR, dans le bureau de la SIF et également au sein de la CNIL, etc.

Les membres du LaBRI ont été impliqués dans la période dans une quarantaine de **projets ANR**, 2 FIU et



	I&S	MF	BKB	Progress	Satanas
CombAlgo	1	10	6	1	0
I&S		2	1	0	3
MF			1	1	0
BKB				0	0
Progress					0

(a) Revues communes

	I&S	MF	BKB	Progress	Satanas
CombAlgo	1	12	5	2	0
I&S		4	2	4	2
MF			2	6	2
BKB				2	0
Progress					0

(b) Conférences communes

différents autres projets. Parmi ces projets, il faut noter la contribution à la réalisation du logiciel « ParcourSup » où des membres du LaBRI ont participé à différentes phases : spécification, codage, interface interactive, développement d'interface et tests.

Au niveau de l'**écosystème local**, les membres du LaBRI ont impliqués des responsabilités des différents workpackages de « SysNum » et « Trail » et participent également aux travaux du LabEx Brain.

Pour ce qui est de la **recherche partenariale**, on compte sur la période :

- 55 Contrats Industriels pour un montant de 3164K€,
- 39 Thèses CIFRE pour un accompagnement de 1638K€.

Ces derniers indicateurs montrent l'importance de la recherche partenariale dans les ressources financières du laboratoire. A cela, il faut aussi ajouter le dépôt de brevet, sur la période nous avons déposé 14 déclarations d'invention, 9 brevets ont été déposés dont 6 acceptés. Un brevet antérieur à la période a été licencié.

Concernant, les activités d'expertises, nous pouvons noter que R. Namyst et P. Ramet sont conseillers scientifiques pour le domaine du HPC au CEA. Jusqu'à fin 2019, J. Roman a été membre du conseil scientifique du CEA DAM.

## 4.2 Faits marquants

Les faits marquants du laboratoire sont largement présentés au niveau des équipes du LaBRI. Il serait fastidieux de les rappeler tous. Une sélection, cependant, peut être évoquée ici montrant la diversité et la richesse de la recherche scientifique menée au LaBRI.

**Élection à l'Académie des Sciences en 2019 de M. Bousquet-Mélou.** Ancienne élève de l'ENS, détentrice de la médaille d'argent du CNRS et lauréate de divers prix (prix Charles-Louis de Saulces de Freycinet, Prix IBM des jeunes chercheurs, docteur honoraire de l'université de Linköping,...), elle est membre du LaBRI depuis trente ans. Au-delà de ses travaux au cœur de la combinatoire, M. Bousquet-Mélou s'intéresse aux liens de sa discipline avec d'autres domaines comme le calcul formel, l'analyse d'algorithmes, les probabilités et les modèles

de physique théorique. La profondeur de ses résultats, ses contributions importantes à l'animation scientifique de sa communauté ont été reconnus par son élection à l'Académie des Sciences.

**Nomination à l'IUF :** X. Blanc et A. Tanasa ont été nommés membres juniors de l'IUF en 2015, T. Place en 2017 et V. Lepetit membre senior en 2018.

**Prix :** B. Courcelle a reçu le prix de l'association "Computability in Europe" 2020, – M. Bousquet-Mélou a reçu sur la période le [prix australien Gavin Brown](#) pour l'un de ses articles. – G. Pallez-Aupy a reçu le prix IEEE TCHPC Early Career Researchers Award for Excellence in High Performance Computing en 2019.

**Plate-forme LSD.** Depuis 2014, nous avons développé, au LaBRI et avec nos partenaires les plus proches (les laboratoires IMB et IMS, le Centre Inria Bordeaux Sud-Ouest et les entreprises locales), la plate-forme « Labs in the Sky with Data » (LSD). Celle-ci permet aux équipes engagées dans la recherche sur le traitement de données massives, le calcul distribué et le génie logiciel de conduire des recherches spécifiques aux domaines du cloud et du big data. Un autre point important de cette plate-forme a été de permettre à nos ingénieurs et à nos équipes de monter en compétence, aussi bien en matière de développement d'algorithmes innovants que de déploiement d'infrastructures adaptées. Cette montée en compétence nous a permis dès 2015 d'ouvrir des enseignements au sein du master de l'Université de Bordeaux et au sein de l'Institut polytechnique de Bordeaux sur la thématique du big data. En 2020, nous avons obtenu un financement FEDER à hauteur de 1,5M€ pour étendre cette plate-forme Ceci permettra à terme d'élargir son accessibilité à plus de chercheurs et d'étudiants et de lancer des expérimentations à plus large échelle.

**IRL Relax.** En 2017, l'IRL (International Research Laboratory) Relax Research Lab in Computer Science a été créé à la suite du LIA Informel (Indo-French Formal Methods Lab). Les partenaires français de cet IRL sont le CNRS, l'Université de Bordeaux, l'ENS Paris-Saclay ; les partenaires indiens sont le Chennai Mathematical Institute et l'Institute of Mathematical Sciences en Inde. ReLaX tient également à servir de point d'appui pour les collaborations franco-indiennes au-delà des frontières de ses tutelles et des chercheurs des IIT de Bombay, Goa et Jammu participent à ses travaux, ainsi que des membres de l'IRIF, du LIS, du LIGM, de l'IRISA et d'autres laboratoires en France.

ReLaX finance des échanges de visites entre chercheurs et doctorants français et indiens et organise chaque année des workshops sur des thèmes variés. ReLaX favorise aussi les stages pré-doctoraux d'étudiants indiens en France, ce qui a amené à une forte augmentation du nombre de doctorants indiens en France.

L'IRL vient plus encore renforcer les collaborations franco-indiennes qui avaient commencé avec Informel et des contrats Cefipra.

**CNRS Momentum DeepSynth.** Ce projet conduit par N. Fijalkow a été retenu par le CNRS dans le cadre de son appel **Momentum** pour un financement de 60K€ et de deux ans de stage post-doctoral. L'objectif de ce projet est d'étudier l'apport de l'application des techniques d'apprentissage « profond » à la synthèse de programmes et de contrôleurs et de les comparer ou les combiner avec des techniques plus usuelles des méthodes formelles. Il s'agit d'un projet aussi ambitieux que novateur qui inclut une dimension internationale.

**Logiciels** Concernant les logiciels, seulement 3 seront présentés parmi le nombre important de logiciels développés au LaBRI.

- **GumTree.** Le logiciel GumTree est un logiciel développé au sein de l'équipe Progress par J-R. Falleri et F. Morandat. Ce logiciel permet de comparer des codes et d'en visualiser les différences. Sa particularité est de créer un arbre syntaxique du code qui s'abstrait du texte du programme permettant ainsi de pouvoir

détecter des modifications du code (déplacement, suppression, addition). Ce logiciel a une réelle visibilité dans la communauté génie logiciel et l'article qui le présente est déjà cité plus de 200 fois.

- **VolBrain.** La plate-forme VolBrain a été diffusée en mars 2015, elle est le fruit d'une collaboration avec l'université de Valence. VolBrain est une suite logicielle qui a vocation de segmenter et mesurer les structures cérébrales. Elle est composée de plusieurs logiciels (CERES, LesionBrain, HIPS, pBrain), chacun de ces logiciels étant spécialisé pour des tâches précises : analyse précise des sous-structures de cervelet, segmentation des lésions de la matière blanche, des sous-structures de l'hippocampe et des noyaux sous-thalamiques. VolBrain a été utilisé pour traiter plus de 200 000 IRM, il est en passe de devenir un outil indispensable pour le diagnostic et le pronostic des maladies neuro-dégénératives. Il a fait également l'objet d'une licence auprès de la société Artificial Insight. VolBrain est source de production de connaissance dans le milieu de la santé, par exemple, l'étude de l'évolution du cerveau sur l'ensemble du cerveau de 9 à 95 ans, puis l'étude sur l'évolution du cerveau dans le cadre de la maladie d'Alzheimer. Au vu de l'importance du sujet sociétal traité, ces études ont fait l'objet d'une large couverture médiatique.
- **Logiciels HPC.** Même s'il ne s'agit pas, à proprement parler, d'un seul logiciel ou d'une suite logicielle et que certains ont été créés avant 2015, les développements logiciels autour du HPC doivent être soulignés. Parmi les logiciels phares, on peut citer : SCOTCH, StarPU, hwloc, Topomatch, NewMadeleine, PaStiX, MAPHYS, Chameleon, AFF3CT. Cette activité de développements logiciels est centrale pour l'équipe SATANAS car elle permet de valider le passage à l'échelle des approches méthodologiques et numériques qui sont au cœur de son activité de recherche. Pour être en capacité d'avoir un impact visible, cela nécessite d'aller jusqu'à la mise en œuvre de la pile logicielle HPC (solveurs au sens large, supports d'exécution, bibliothèques de communication et de gestion des ressources) dans des codes applicatifs académiques ou industriels avec des outils de déploiements efficaces et robustes. Ces logiciels sont un vecteur essentiel de collaboration avec les communautés scientifiques qui en sont utilisatrices et qui, en retour, ouvrent de nouvelles perspectives de recherche dans une boucle avec feed-back vertueuse.

**Axe IA.** Le LaBRI avait initié une démarche autour de l'IA en 2018. Il s'agissait de recenser les compétences du laboratoire sur cette thématique pour les fédérer et développer la recherche sur cette thématique. Les recrutements de V. Lepetit, N. Fijalkow et l'arrivée de M. Bienvenu ont consolidé la dynamique existante. Cette activité est devenue un axe transverse du LaBRI et regroupe une vingtaine de membres permanents de différentes équipes. La chaire « Intended » de M. Bienvenu et le succès au dispositif « Doctorant en IA » attestent de cette dynamique. Il faut également mentionner l'ouvrage co-écrit par J. Benois-Pineau et A. Zemhari dont le titre est « Deep Learning in Mining of Visual Content ».

**RoboCup.** Depuis 2016, l'équipe Rhoban du LaBRI a remporté quatre fois consécutives la Robocup dans la catégorie Humanoid Kid Size". Cette compétition internationale exige des participants de réelles compétences en informatique pour ce qui est de la perception de l'environnement, de la prise de décision dans un environnement contraint (temps-mémoire), mais également en mécatronique car il faut concevoir les robots et s'assurer de leur robustesse dans des conditions difficiles. Les succès à cette compétition ont été déterminants dans l'obtention de l'organisation de cette compétition à Bordeaux en 2020, qui a dû être repoussée à 2021 en raison des conditions sanitaires.

## 5 Organisation et vie de l'unité

### 5.1 Gouvernance

La gouvernance du laboratoire comprend la direction, le conseil de laboratoire et le conseil scientifique.

La *direction du LaBRI* est composée d'un directeur et de 4 directeurs adjoints. Chaque directeur adjoint a un champ de compétence (industriel, projets externes, communication, gestion des appels internes). Toutes les semaines, le comité de direction se réunit en y associant la responsable administrative et financière. Cette réunion permet d'échanger différentes informations sur le laboratoire et son écosystème, de préparer les différents conseils, de se répartir les tâches et de définir les orientations stratégiques du laboratoire. Deux chargés de missions accompagnent la direction (relations internationales et communication).

Le LaBRI est organisé en *équipes* et *thèmes*. Les responsables d'équipes et de thèmes sont élus par leurs membres respectifs. Ils ont en charge l'animation scientifique de leur équipe (resp. thème) mais aussi la définition de la stratégie scientifique. À ce titre, ils siègent au sein du conseil scientifique du laboratoire.

Le *conseil scientifique* (CS) est composé des responsables d'équipes et de thèmes, des membres de la direction, du directeur de l'EDMI ou de son représentant et de trois maîtres de conférences ou chargés de recherche désignés par la direction pour deux ans. En réalité, ils sont nommés après un vote organisé au sein du collège B. Deux représentants du conseil de laboratoire sont invités permanents du conseil scientifique. De plus, les représentants des unités de formation (UF informatique, responsable du département informatique de l'IUT, responsables des filières télécoms et informatique de l'ENSEIRB-MATMECA). Le conseil scientifique élit un président parmi les membres du laboratoire ; pour éviter tout conflit d'intérêt, celui-ci ne doit pas être membre de la direction du laboratoire. Il gère également, en toute indépendance, un budget missions (environ 50K€) pour les déplacements, principalement en conférences, des membres qui n'ont pas de contrat en cours. Le CS se réunit tous les mois pour participer aux décisions scientifiques du laboratoire. Chaque séance débute par les informations de la direction afin que chaque membre prenne connaissance des éléments de contexte (locaux, nationaux...). Le CS est consulté sur le plan de gestion des emplois (PGE) au sein de l'université et de Bordeaux-INP, les évolutions des équipes et des thèmes, les demandes d'inscription à l'HDR... Son avis est sollicité pour les demandes de moyens, le dépôt des projets régions, les financements des projets internes du LaBRI.

Le *Conseil de laboratoire* est dirigé par le directeur du laboratoire. Le mandat du conseil est aligné avec celui du directeur pour une durée de 5 ans. Il est composé de la responsable administrative et financière du laboratoire, de 6 représentants élus parmi les chercheurs et enseignants-chercheurs du LaBRI, de deux représentants des doctorants, d'un représentant du service administratif et financier et d'un représentant de l'équipe technique. Depuis 2018, le responsable de l'équipe « Système et Réseaux » en est un invité permanent.

Le *Conseil administratif et technique* (CAT) regroupe l'ensemble des personnels BIATSS permanents de l'unité et la direction du laboratoire. Il élit un responsable au sein du personnel BIATSS. La réunion annuelle du CAT permet d'établir un dialogue ouvert avec la direction qui porte sur le fonctionnement des services et qui permet donc d'identifier certains dysfonctionnements. Cette réunion annuelle est importante et utile pour faire le bilan de l'année écoulée et améliorer l'organisation des services. Les conditions sanitaires n'ont pas permis de réunir le CAT en 2020.

Dans le règlement intérieur, il était fait état d'une *Commission consultative* dont les rôles étaient de contribuer

à la constitution des comités de sélection et de participer au classement des candidatures ATER. Cette commission a finalement été remplacée par un comité de 4 membres élus parmi les chercheurs et les enseignants-chercheurs du laboratoire. Une fois les profils de postes arrêtés en conseil scientifique, ces 4 membres participent à la constitution des comités de sélection avec la direction et les représentants des équipes et unités de formation concernés. Le classement des ATER est maintenant effectué au sein de chaque unité de formation avec des modalités différentes pour chacune.

La *Commission utilisateurs* a été maintenue mais les réunions ont été espacées pour diverses raisons. Cependant, elle demeure une interface utile pour un échange fructueux et constructif entre les représentants des 6 équipes scientifiques du laboratoire et le responsable de l'équipe « Systèmes et Réseaux ». Les membres de cette commission ont pour mission de présenter les besoins utilisateurs émanants de leur équipe, et d'établir un dialogue constructif avec les représentants de l'équipe « Systèmes et Réseaux » afin de faire évoluer les services rendus aux utilisateurs. La période du COVID n'a pas permis d'organiser les réunions en présentiel autant qu'il aurait été souhaitable.

Une *Commission communication* a été mise en place ; elle comprend la directrice adjointe en charge de la communication, le chargé de mission afférant, la chargée de communication et la responsable du pôle administrative ainsi que l'IE en charge du système d'information du LaBRI. Elle a en charge d'animer la communication du LaBRI et de mettre en place de nouveaux outils de communication interne et/ou externe. On peut citer les principales réalisations suivantes : ouverture du compte Twitter du LaBRI, diffusion d'une newsletter bimestrielle destinée aux personnel du laboratoire et diffusée auprès de nos partenaires institutionnels, diffusion d'un nouveau logo et d'une nouvelle charte graphique, mise à disposition d'un écran dynamique et de supports d'affichage dans le hall d'entrée permettant de présenter les travaux de recherche réalisés par nos équipes et doctorants, mise à disposition d'un équipement de diffusion et d'enregistrement vidéo des soutenances de thèse et d'HDR, réalisation d'une plaquette sur les faits marquants du laboratoire, refonte du site web du LaBRI. Les conditions sanitaires ont ralenti l'activité de la société en charge de la réalisation du site Web ; la refonte du site n'est pas encore achevée, mais elle devrait l'être d'ici la fin de l'année 2020.

Partant du constat que le nombre d'appels à projets était en forte croissance et qu'il était difficile au niveau des membres du LaBRI d'en avoir une connaissance fine, nous avons créé en 2016 une *Commission projets*, composée d'un directeur adjoint, de l'IE contractuelle en charge des projets et d'un représentant des équipes. Cette commission a été arrêtée après deux ans car elle n'était pas suffisamment efficace dans son fonctionnement. Cependant, nous avons réorienté notre stratégie en créant un site qui rassemble l'ensemble des appels à projets concernant les thématiques scientifiques du LaBRI (<https://projets.labri.fr>). Ce site est également accessible à tous les membres du centre Inria Bordeaux-Sud-Ouest.

## 5.2 Parité, intégrité scientifique, développement durable

### Parité

Bien qu'il s'agisse d'un problème très ancien, la parité-égalité homme/femme n'est apparue que récemment dans les directives de nos tutelles ; par exemple, une commission a été mise en place à l'université de Bordeaux en 2016. Les chiffres concernant le LaBRI, sont présentés dans le tableau 1.13a pour ce qui est du collège des chercheurs et des enseignants-chercheurs et dans le tableau 1.13b pour ce qui du collège des BIATSS.

De toute évidence, les femmes sont très peu représentées, et c'est encore plus criant pour les collèges A. Les 5 femmes collège A du laboratoire sont d'ailleurs très sollicitées et assument toutes des responsabilités importantes, à différents niveaux de l'écosystème — laboratoire, université, CoCNRS... Bien entendu, cette disparité est due en

C-EC	Féminin	Masculin
Collège A	9.4%	90.6%
Collège B	18.6%	81.4%
Doctorant	17.2%	82.8%

(a) Répartition F/H dans le C-EC.

BIATSS	Féminin	Masculin
Collège A	25.7%	64.3%
Collège B	83.3%	16.7%
Doctorant	100 %	0 %

(b) Répartition F/H dans le collège BIATS.

grande partie à la faible représentation des femmes dans les études scientifiques. Mais les chiffres du laboratoire sont moins bons que les moyennes nationales (pour mémoire, autour de 25 % de femmes en collège B, et 19 % en collège A).

À l'échelle du laboratoire, nous avons pensé à mettre en place une politique d'accompagnement de la carrière des « juniors » (indépendamment de leur genre, d'ailleurs), en attribuant à chacun un ou une « mentor » senior qui pourrait les conseiller. Ce dispositif avait été envisagé en partenariat avec le centre Inria et l'IMB ; malheureusement il n'a pas encore été mis en place faute de temps, freiné notamment par la période de confinement.

Des collègues interviennent régulièrement dans les lycées et les salons d'orientation. De plus, certains ont monté et animé en 2019 une semaine « *Moi informaticienne, moi mathématicienne* », en collaboration avec des collègues de l'IMB, qui rassemblait des collégiennes et lycéennes intéressées par ces disciplines. La seconde édition, prévue au printemps 2020, a été annulée à cause de l'épidémie de Covid.

Au niveau du collège BIATS, le tableau 1.13b montre une forte majorité de femmes en collèges B et C et, de nouveau, une tendance inverse en collège A.

Cela s'explique par la composition du collège BIATSS qui regroupe trois types de postes : équipe « Systèmes et Réseaux », ingénieurs en « soutien » à la recherche, pôle « administratif et financier ».

À l'exception de deux ingénieures de recherche (collège A), l'une en soutien à la recherche, l'autre attachée à la direction, toutes les femmes travaillent au sein du pôle « administratif et financier ». Le nombre de collègues A est limité structurellement à 3 par l'organisation de ce service : responsable administratif et financier (IE), responsable administratif (AI), responsable financier (AI). Au vue de son organisation, il semble difficile d'en changer les ratios, à moins d'une promotion individuelle ou du recrutement d'un agent de sexe masculin.

Pour conclure cette partie, M. Bonamy a accepté d'être l'interlocutrice du LaBRI auprès de la commission parité-égalité de l'INS2I en 2020.

## Ethique et Intégrité Scientifique

Le laboratoire n'a pas mis en place une politique particulière sur cette thématique, même si elle a fait l'objet d'une discussion lors de plusieurs conseils scientifiques consécutifs où était abordé la mise en place des MOOC sur ce sujet par l'université de Bordeaux. En effet, en partenariat avec la CPU, le COMETS-CNRS, l'INSERM et l'INRA, l'université a développé une série de MOOC intitulée *L'intégrité scientifique dans les métiers de la recherche*. L'utilisation de ces MOOC est obligatoire pour les étudiants en formation doctorale (comptabilisée 15h). Suite au retour des étudiants, elle a été améliorée et maintenant diffusée sur la plate-forme France Université Numérique (FUN). En complément, les doctorants doivent suivre également une formation à l'éthique diffusée par l'université de Lyon qui est, elle aussi, obligatoire dans le cadre de la formation doctorale.

Le collège des écoles doctorales de l'université de Bordeaux a mis en place une formation dédiée à l'« encadre-



ment des doctorants », le suivi de cette formation est rendu obligatoire pour le passage de l'HDR et très fortement conseillée pour la demande d'ADT.

L'université de Bordeaux, soucieuse de ces questions d'éthique et d'intégrité, diffuse une charte déontologique en matière d'activité de recherche et de valorisation et s'est dotée d'un référent à l'intégrité scientifique.

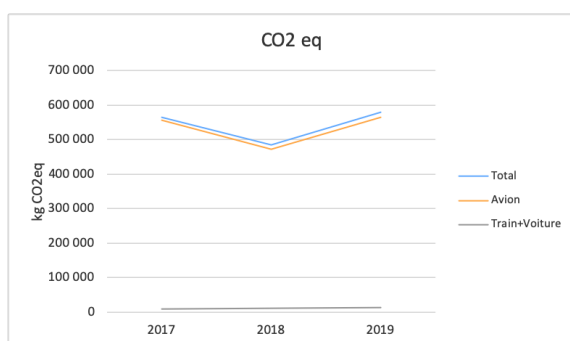
## Développement durable et prise en compte des impacts environnementaux

Un groupe de travail sur le développement durable au sein de l'unité a été créé en décembre 2019. Il a été mis en place par A. Bugeau qui en assure la coordination et se trouve ainsi chargée de mission « Développement durable » du laboratoire.

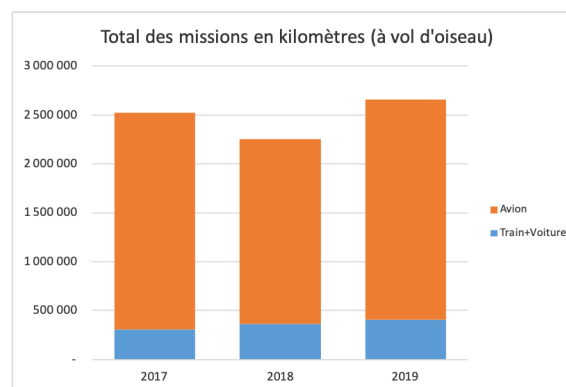
Il regroupe une quinzaine de personnes autour des thématiques suivantes : émissions liées aux missions, aux serveurs de calcul et aux équipements informatiques, consommation du bâtiment, enseignement de l'impact du numérique, déchets, transport domicile-travail.

Un bilan des activités de recherche de l'unité a été réalisé. L'objectif est d'amener des réflexions sur le sujet au sein du laboratoire afin de mettre en place un guide de bonnes pratiques ou une charte de développement durable. La première étape est la sensibilisation de l'ensemble des membres du laboratoire à l'impact environnemental de leur recherche.

**Missions :** les demandes d'ordre de mission du laboratoire se font via un formulaire interne. Celles-ci ne concernent pas l'ensemble des missions ; par exemple, elles n'incluent pas celles que gère l'Inria. De plus, les données contenues dans l'extraction du formulaire indiquent le lieu de départ et d'arrivée mais n'incluent pas les escales. Néanmoins, nous les avons utilisées pour avoir un ordre d'idée des émissions de GES (équivalent CO<sub>2</sub>) du laboratoire pour les missions. Ainsi en 2017, 781 missions ont été réalisées pour environ 560 tonnes eqCO<sub>2</sub>. En 2019, 850 missions pour 580 tonnes eqCO<sub>2</sub>.



(a)



(b)

**Serveurs de calcul :** nous avons mesuré la consommation électrique des différents serveurs en suivant la procédure donnée par ecoInfo (<https://ecoinfo.cnrs.fr/>). Les résultats doivent encore être analysés. Selon les résultats de cette analyse, de nouvelles solutions d'hébergement devront être étudiées, par exemple dans la « Salle hébergement mutualisée » (SHM1) de l'université de Bordeaux. Il est à remarquer que la nouvelle version de la plate-forme LSD sera hébergée dans cette salle.



**Consommation du bâtiment** : en parallèle, le laboratoire, en lien avec l'université de Bordeaux, a intégré le concours cube2020 visant à réduire les gaz à effet de serre (GES) du bâtiment au cours de l'année 2020. Après une étude des consommations électriques du bâtiment ainsi que de la répartition des bureaux sous/surchauffés, des solutions ont été proposées par la direction du patrimoine immobilier de l'université et sont en cours de mise en place ou de devis. Cette opération est suspendue depuis le confinement.

**Impact du numérique** : en tant que laboratoire d'informatique, le LaBRI est fortement concerné par l'impact sur l'environnement des matériels et outils numériques. Afin de mieux cerner cette thématique, deux séminaires ont été organisés début 2020. Par ailleurs, des membres du laboratoire ont rejoint ou sont en contact avec d'autres initiatives et groupes de travail nationaux (Inria, CNRS, ecoInfo, labo1.5, INR). L'objectif est de se former, d'échanger et de faire émerger des thématiques de recherche liées à la sobriété numérique et l'efficacité énergétique.

### 5.3 Hygiène et sécurité

Le LaBRI est une **Zone à Régime Restrictif (ZRR)** hébergée par l'Université de Bordeaux. À ce titre une liste exhaustive des personnes autorisées à pénétrer dans la ZRR a été établie et des procédures pour les personnes extérieures ont été mises en place et validées par le FSD de l'Université.

Le laboratoire est situé dans le périmètre d'intervention du **Poste Central de Sécurité Incendie (PCSI)** de Talence qui assure l'assistance aux personnes, la sécurité incendie et la surveillance du bâtiment 24h/24. Le PCSI assure aussi les formations des personnels en matière de sécurité incendie.

La **maintenance du bâtiment** et les contrôles périodiques réglementaires des installations sont réalisés par la Direction du Patrimoine Immobilier (DPI) de l'Université.

Pendant la période d'évaluation, un nouvel **assistant de prévention** a été nommé (G. Point a succédé à M. Beurton-Aimar). Il conseille le directeur d'unité en matière d'hygiène et sécurité. Il effectue les mises à jour des documents réglementaires tels que le Registre de Santé Sécurité au Travail et le Document Unique d'Évaluation des Risques (DUER). Il est aussi le référent auprès de la DPI en ce qui concerne la maintenance du bâtiment.

Le Conseil de laboratoire tient lieu de **Comité d'Hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail (CHSCT)**. Il valide le DUER et le programme annuel d'actions de prévention. Le DUER a été entièrement remanié afin de couvrir l'ensemble du bâtiment et des activités du LaBRI.

À l'initiative de X. Blanc (porteur du projet) et P. Desbarats (directeur adjoint de l'EDMI), la direction a mis en place un groupe de travail sur la **prévention des risques psychosociaux (RPS)** pendant la thèse. Cette initiative crée au sein du laboratoire une assistance pour prévenir les situations de RPS aussi bien pour l'étudiant que pour son encadrant. Le groupe de travail a commencé la rédaction d'une plaquette d'information à destination des doctorants et encadrants (relatifs à leur droits et obligations), et prévoit la constitution d'une commission de gestion des conflits, pour essayer de résoudre au plus tôt les conflits doctorants-encadrants. La dynamique de ce GT a malheureusement été interrompue par la pandémie en 2020.

## 6 Propriété intellectuelle et intelligence économique

Une grande partie de l'intelligence économique du LaBRI est directement gérée par « Aquitaine Science Transfert » en ce sens que la **valorisation et le transfert** des activités recherche du laboratoire se font par l'intermédiaire de la SATT Aquitaine. Un autre acteur important de l'écosystème du LaBRI est l'ADERA, cette association loi de 1901 gère la quasi-totalité des contrats de recherche partenariale du LaBRI. Depuis l'émission des factures jusqu'à la facturation des achats, elle travaille en étroite concertation avec AST pour le conventionnement des contrats de recherche partenariaux.

En s'appuyant sur trois acteurs (AST, ADERA, CATIE), le laboratoire a développé des relations partenariales pérennes avec les entreprises et avec l'écosystème régional.

**Cinq startups** ont été créées par des membres du laboratoire. IQSPOT en 2015 sur la thématique de la consommation énergétique des bâtiments, ProMyze, Ullo, RealityTech en 2016, leurs domaines respectifs d'activité sont le génie logiciel, le domaine du jeu et la réalité étendue, la réalité augmentée et enfin en 2018, UT4H, sur l'aide au maintien à domicile des personnes âgées. Rappelons qu'au moins deux autres startups ont été créés dans la période précédente et qu'elles continuent de se développer : Symbals et NFC-Interactive.

Des membres du laboratoire participent activement aux instances des réseaux socio-professionnels régionaux et nationaux. Citons par exemple l'implication des membres du laboratoire dans le conseil d'administration et dans le bureau de Digital Aquitaine, qui est le réseau qui regroupe de nombreuses **entreprises numériques régionales**. Avec l'aide de ce réseau, plusieurs rencontres entre les membres du laboratoire et des entreprises ont été organisées. Par exemple, courant 2019, nous avons organisé des journées scientifiques sur l'Intelligence Artificielle et sur le traitement de données massives qui ont regroupé à chaque fois de nombreuses entreprises.

Par ailleurs, les chercheurs du laboratoire participent au cluster **Aquitaine Robotics** qui fédère les entreprises robotiques de la région. De même, des membres du laboratoire participent aux activités du pôle **Aerospace Valley**. En effet, le cluster régional AETOS sur les drones a rejoint le pôle de compétitivité Aerospace Valley. Des membres du laboratoire sont fortement impliqués dans ce cluster, ce qui renforce la présence du laboratoire au sein du pôle.

Afin de pérenniser les collaborations industrielles, la politique du laboratoire est de participer à des grands projets structurants, tout particulièrement avec les grands groupes. Ces projets permettent de définir un cadre juridique qui simplifie les aspects administratifs et notamment les problèmes de propriétés intellectuelles et de se consacrer aux activités scientifiques. C'est le cas notamment avec Thales dans le cadre du GIS Albatros et avec Sogeti.

Les membres du laboratoire sont très actifs dans le GIS ALBATROS, qui est un GIS entre les établissements bordelais et **THALES** et dont les thématiques couvrent plusieurs travaux de recherche au LaBRI. Des chercheurs sont impliqués dans l'animation de certains axes, comme les systèmes distribués ou encore l'analyse d'images. Une autre originalité du GIS est de financer des micro-projets (entre 5 et 10 K€) pour intéresser des stagiaires et leur proposer plus tard de continuer en thèse CIFRE. D'autre part, un accord-cadre a été signé avec la société Sogeti en 2017 pour encourager les projets communs et certains sont en cours de finalisation.

Enfin, en 2018, dans le cadre de l'installation d'une nouvelle entité **UBISOFT** à Bordeaux, un projet de recherche important impliquant plusieurs partenaires a été élaboré. Ce projet, appelé KIWI, a été principalement piloté côté académique par le LaBRI et a permis de financer 3 thèses. Un autre projet est en cours avec la société BetClic en collaboration avec le CATIE, ayant pour objectif d'analyser les données de joueurs qui participent à des paris

sportifs en ligne dans le but d'améliorer la détection des personnes à risques et ainsi de mieux prévenir les comportements addictifs liés à ce type d'activités. Enfin, dans le cadre d'un partenariat établi avec la société SUEZ, nous nous intéressons aux techniques d'IA pour l'étude et l'analyse des réseaux de collecte d'eau.

D'autres collaborations existent avec de **grands groupes** comme Airbus, ArianeGroup, le CEA, Thales, soit autour de la plate-forme « StarPU » ou autour des activités d' HIEPACS, que ce soit sous forme de contrats industriels ou de collaborations à travers des thèses. Enfin, sur le plan international, nous avons eu deux contrats de recherche, l'un avec la société SIEMENS et l'autre avec la société Bosch.

Au-delà des collaborations avec des grands groupes industriels, le LaBRI est attaché à collaborer avec des petites et moyennes entreprises (I2S, ITECA, SCILLE, JOADA...), tout particulièrement au niveau régional. Ces collaborations permettent de financer des thèses CIFRE, en moyenne 3 à 4 thèses par an.

Ces projets montrent la visibilité régionale et nationale du laboratoire et son ancrage territorial.



# 2

## Projet

Depuis sa création, le LaBRI ne cesse de développer ses capacités de recherche pour répondre aux nombreux défis scientifiques de son époque. Il produit ainsi une excellente recherche dans quasiment tous les domaines de l'informatique. Grâce aux résultats qu'il obtient, il accroît sa visibilité tant sur le plan national qu'international favorisant une attractivité importante notamment auprès des jeunes chercheurs. Néanmoins, pour continuer dans cette dynamique, le LaBRI doit aujourd'hui faire face aux profonds changements de son écosystème. En effet, depuis ces dernières années les institutions qui lui sont proches ont beaucoup évolué avec notamment la mise en place de l'approfondissement de l'autonomie des universités et la création des IdEx. Les politiques scientifiques favorisent actuellement un mode de financement de la recherche par projet ; ce qui se reflète dans les appels à projets européens (H2020), nationaux (PIA, BPI France, ANR), régionaux ou locaux (IdEx, chaires). Enfin le domaine scientifique du LaBRI est devenu incontournable et se retrouve fréquemment au cœur des enjeux sociétaux : masses de données, sécurité, robotique, "villes intelligentes" (smart cities), écoresponsabilité (greenIT), santé et Intelligence Artificielle pour n'en citer que quelques uns.

Tous ces changements influencent fortement et durablement la politique scientifique du LaBRI que cela soit dans l'évolution de ses ressources humaines, dans l'attribution et l'affectation de ses moyens ou dans l'identification des sujets de recherche de demain. Ce projet à 5 ans a pour objectif de perpétuer la dynamique scientifique du LaBRI tout en s'adaptant aux changements de son environnement.

Pour ce faire nous proposons les trois actions suivantes : (1) renforcer les activités de recherche existantes, (2) promouvoir les thématiques scientifiques qui émergent et enfin (3) favoriser lorsque cela est pertinent la création de nouvelles thématiques.

### 1 Renforcer les activités de recherche existantes

Le LaBRI est un laboratoire plus que vivant dans lequel les chercheurs collaborent et travaillent activement à développer leurs activités, et ce dans quasiment tous les domaines de l'informatique. Certains domaines sont étudiés depuis la création du LaBRI, c'est le cas des méthodes formelles, de la combinatoire et de l'algorithmique.

D'autres ont été initiés peu après, tels le domaine de l'image et du son ou celui du calcul parallèle. Enfin certains domaines sont plus récents ce qui est le cas notamment du génie logiciel ou de la fouille de données. Pour mener à bien leurs activités, les chercheurs du LaBRI ont mis en place des moyens favorisant leurs modes de travail et leur façon de collaborer. C'est notamment le cas des groupes de travail riches en présentations scientifiques dans lesquels interviennent souvent des chercheurs invités. On peut aussi citer les visites dans d'autres laboratoires qui permettent aux membres du LaBRI d'aller collaborer avec d'autres chercheurs dans leur environnement, et encore les projets émergents qui allouent des moyens pour démarrer des activités nouvelles dans les meilleures conditions. Ces moyens sont nécessaires et c'est pour cela que nous proposons de les renforcer. Ils portent souvent sur des thématiques précises d'un domaine scientifique et regroupent plusieurs membres qui développent des activités connexes. Nous proposons de renforcer ce niveau de collaboration en proposant un nouveau concept d'équipe. Le rôle d'une équipe sera de faciliter les activités menées par ses membres, de favoriser les collaborations internes et externes, d'assurer une animation notamment au travers de réunions, ateliers et groupes de travail et de dégager une politique à moyen et long terme. Pour mener à bien ces missions, l'équipe exprimera ses demandes de ressources auprès du laboratoire et de son département. Dans l'organisation actuelle (le LaBRI est structuré en 6 grandes équipes chacune composée de plusieurs thèmes), c'est le thème qui reflète le mieux ce niveau de collaboration. Nous proposons donc que les anciens thèmes deviennent de nouvelles équipes quand cela est naturel. De plus, dans l'objectif d'assurer une gouvernance collégiale dans laquelle tous les domaines scientifiques se retrouvent, nous proposons de regrouper ces nouvelles équipes dans des départements. Le rôle d'un département sera de garantir le bon fonctionnement de ses équipes. Il s'agira de structurer les activités des équipes, d'en arbitrer les demandes de ressources et de coordonner l'animation scientifique. Dans l'organisation actuelle du LaBRI, les équipes jouent déjà ce rôle de département. Nous proposons donc que les anciennes équipes, pour la plupart, deviennent des départements.

Dans l'état actuel, notre projet est constitué de 5 départements de recherche dont les périmètres scientifiques sont clairement définis mais dont la structuration en équipes est encore en cours :

- département Combinatoire et Algorithmique : Ce département correspond à l'ancienne équipe Combinatoire et Algorithmique. Il s'emploie à comprendre, décrire et parfois définir les structures combinatoires. Il contribue également à inventer, analyser et optimiser les algorithmes qui travaillent sur ces objets. Parmi ses spécialités, il y a l'énumération de structures, l'étude des graphes et l'algorithmique distribuée. Ce département devrait être composé de trois équipes : Combinatoire et interactions ; Graphes et optimisation ; Algorithmique distribuée,
- département Image et Son : Ce département correspond à l'ancienne équipe Image et Son. Il s'emploie à étudier les méthodes et outils permettant de modéliser, d'analyser et mais aussi de construire les objets sonores et graphiques. Ce département devrait être composé de deux équipes : Manioc ; Traitement et Analyse des Données,
- département Méthodes Formelles : Ce département correspond à l'ancienne équipe Méthodes Formelles. Il s'emploie à étudier les aspects fondamentaux de l'informatique. Ce département devrait être composé de quatre équipes : MTV : Modèles & technologies pour la vérification ; LX : Fondements Logiques du calcul ; RATIO : Raisonnement sur les données, les connaissances et les contraintes ; DART : Décision et apprentissage : de la théorie aux applications robotiques,
- département Supports et algorithmes pour les applications numériques hautes performances : Ce département correspond à l'ancienne équipe Satanas. Il s'emploie à étudier principalement l'algorithmique hautes performances,
- département Données & Systèmes : Ce département est un nouveau département. Il s'emploie à étudier les méthodes et outils permettant d'analyser et de développer les grands systèmes. Ce département devrait être composé de deux équipes : Progress et BKB.

L'apparente simplicité de cette transposition équipes → départements et thèmes → équipes masque en fait une profonde restructuration au niveau des anciennes équipes et thèmes pour se conforter aux évolutions de leurs thématiques de recherche.

Enfin, adossé à ces 5 départements, le département Services Communs, réunira tous les services administratifs et techniques. Il devrait être composé de quatre équipes : Finance, Administration, Système et Support.

## 2 Promouvoir l'émergence

L'émergence est omniprésente au LaBRI. Tous les chercheurs travaillent sur de nouvelles problématiques. Ils proposent de nouvelles activités qui font écho aux défis scientifiques de notre époque. Notre volonté est de promouvoir cette émergence mais plus particulièrement de soutenir et de mettre en avant les activités de recherche qui ont émergé et dont on peut voir les premiers résultats. Pour ce faire, nous proposons de mettre en place des axes de recherche dans la structuration du LaBRI. Le rôle des axes de recherche sera de développer et d'assurer la visibilité d'une politique scientifique spécifique à une thématique inter-départements de recherche qui aura émergé, et qui sera mise en avant par la politique scientifique du laboratoire. L'axe soutient les demandes des équipes qui portent sur ses activités. Dans l'état actuel, notre projet prévoit la mise en place d'un axe IA (Intelligence Artificielle). En effet de nombreux chercheurs du LaBRI ont des activités de recherche sur des problématiques de l'IA. Ces chercheurs ont déjà créé un groupe de travail et ont déjà organisé plusieurs séminaires. Certains d'entre eux, travaillant sur des domaines différents, co-encadrent des thèses. De plus, le LaBRI vient d'obtenir une Chaire lors de l'appel à projet ANR "Chaires de recherche et d'enseignement en intelligence artificielle". Ces éléments tangibles sont la preuve que l'IA a bel et bien émergé au LaBRI et qu'il faut donc la promouvoir et la mettre en avant. D'autres axes sont actuellement en gestation. C'est le cas notamment de l'initiative ASPIC (Autonomous Systems : Perception, Interaction and Control) qui devrait regrouper les chercheurs qui portent des activités dans le domaine de la robotique, des drones et de la vision. D'autres activités émergent fortement au LaBRI, par exemple l'informatique de confiance ou l'informatique quantique, mais il est encore un peu trop tôt pour pouvoir en faire des axes.

## 3 Favoriser la création

Le LaBRI a su, par le passé, prendre des risques en créant ex nihilo de nouvelles activités de recherche. Cela s'est fait par des recrutements externes avec une politique d'accueil importante permettant notamment aux nouveaux arrivés de démarrer sereinement leurs activités. À titre d'exemple on peut citer le génie logiciel avec le recrutement en 2010 d'un professeur et d'un maître de conférences. Dix ans plus tard, cette activité est maintenant bien établie au LaBRI et regroupe plus de 10 chercheurs. Nous proposons de favoriser la création d'une nouvelle activité de recherche durant la période couverte par de notre projet. Si la conjecture n'est absolument pas favorable aujourd'hui à un tel projet, il nous paraît pour autant important de préciser cette volonté. Dans l'état actuel aucune activité scientifique n'a été choisie pour supporter cette création. Si certains domaines peuvent être envisagés, comme celui de l'informatique quantique par exemple, il est encore trop tôt pour décider. La décision se fera d'ailleurs de façon collégiale et sera portée par tous les membres du LaBRI.



## 4 Implanter durablement le LaBRI dans son écosystème

Les trois propositions que nous portons visent à développer durablement l'implantation du LaBRI dans son écosystème. Les nouveaux départements, équipes et axes vont permettre de mieux présenter les différentes activités menées au LaBRI et ainsi de renforcer les liens avec les différents acteurs de son environnement. À titre d'exemple, la future nouvelle équipe DART regroupera les chercheurs qui œuvrent au développement de la robotique et qui sont donc fortement impliqués dans la Robocup qui se déroulera à Bordeaux en 2021. La création de cette équipe renforcera les liens entre le LaBRI, l'Université de Bordeaux, la région, le CNRS et l'international. Un autre exemple est l'axe IA qui permettra de mieux mesurer l'impact du LaBRI sur ce domaine. Cet axe est déjà très actif et travaille notamment à l'organisation du PFIA en 2021 à Bordeaux. Son existence renforcera les liens avec l'Université de Bordeaux, Inria, l'ANR et l'Europe. Il y a bien d'autres exemples à présenter. Le but est de faire en sorte que toutes les initiatives des chercheurs du LaBRI soient soutenues par le laboratoire. Pour toutes ces raisons, cette restructuration devrait aussi permettre l'émergence de projets de haut niveau, nationaux et internationaux, comme les ERC. Notre projet permettra aussi de mettre en avant l'un des points forts du LaBRI : le fait que plusieurs de ses membres pratiquent une recherche multidisciplinaire, en collaboration avec les Mathématiques, les Sciences Physiques, la Biologie, les Sciences Cognitives ou la Médecine. Cela se reflète notamment dans l'implication de ces membres dans les Grands programmes de recherche (GPR) lancés par l'université de Bordeaux. Ces nouvelles structures, toutes multidisciplinaires, sont appelées à remplacer les LabEx et les ClustEx (Clusters d'Excellence). L'implication des futures équipes du LaBRI dans ces grands programmes montrera la diversité et la richesse des activités multidisciplinaires menées par le laboratoire. Enfin, de par la nature même d'une unité mixte, les membres du LaBRI sont fortement impliqués dans les activités d'enseignement de l'université et de Bordeaux INP. Cette implication, notamment au niveau master ou 3e année d'école d'ingénieurs assure un premier vivier de recrutement pour les thèses. La récente création de masters internationaux (comme le master Erasmus Mundus IPCV) ainsi que les collaborations internationales entretenues par les membres du laboratoire permettent de plus d'attirer des étudiants étrangers de très bon niveau. L'obtention récente d'une École universitaire de recherche (GRS - Graduate research school), Numerics, nous permettra de renforcer notre attractivité et ainsi notre vivier de recrutement en thèse. Notre projet veillera à renforcer cette implication dans la formation par la recherche qui est essentielle pour le laboratoire.

## 5 Le laboratoire en tant qu'acteur

Pour renforcer encore les liens avec l'écosystème et pour soutenir les départements, équipes et axes, nous comptons mettre en place un nouveau chargé de mission dont le but sera de faciliter le développement de projets collaboratifs et d'étendre les relations du laboratoire avec les industriels. Les membres du laboratoire participent déjà activement aux réseaux socio-économiques régionaux, par exemple Digital Aquitaine ou Aquitaine Robotics. Le LaBRI a déjà de nombreux projets collaboratifs structurants dont certains d'entre eux couvrent plusieurs thématiques scientifiques (c'est le cas notamment des collaborations avec Sogeti, Thales et Ubisoft, et la mise en place de chaires industrielles). L'objectif est ici d'aller encore plus loin et notamment d'accroître les bourses CIFRE (actuellement environ 6-7 par an), de multiplier les projets de recherche collaboratifs (au travers de Aquitaine sciences transfert) qui constituent souvent un premier contact entre les entreprises et le laboratoire, et enfin de développer des laboratoires communs (appel LabCom de l'ANR). De plus, le LaBRI a déjà créé plusieurs startups et ce mouvement sera poursuivi, bon nombre d'activités de notre laboratoire produisant des résultats qu'il paraît pertinent de faire vivre dans la société civile. Nous souhaitons de plus nommer un chargé de mission sur les enjeux sociétaux, pour faire en sorte que le LaBRI soit un acteur fort sur le plan écologique. Nous souhaitons qu'il soit porteur de projets pilotes en ce sens sur le campus de Talence, et qu'il puisse aussi être source de réflexions et

d'actions en ce qui concerne les autres enjeux sociétaux comme la parité ou l'accessibilité.

## 6 Mise en œuvre du projet

Le projet que nous proposons est le fruit d'un travail de longue haleine qui a débuté dès le début de 2020. Il fait écho aux différents conseils émis par les tutelles du laboratoire mentionnant le manque de visibilité des activités de recherche, mais aussi et surtout à la volonté des membres du LaBRI de repenser son organisation.

Il fait enfin écho à l'analyse AFOM que nous avons menée :

Tableau 2.1 : Analyse AFOM

Atouts	Faiblesses
Fortes activités de recherche	Organisation en grandes équipes peu alignée avec la visibilité des activités de recherche
Attractivité pour le recrutement	Peu d'ERC junior ou sénior malgré la visibilité de certains membres
Spectre de recherche allant de l'informatique fondamentale à la recherche appliquée	Prédominance des financements ANR par rapport aux financements industriels et européens
Implication forte dans l'enseignement (Master, École d'ingénieurs, Doctorat)	
Opportunités	Menaces
Orientations stratégiques locales, nationales et internationales en adéquation avec les domaines d'expertise du laboratoire	Une politique scientifique gérée exclusivement/essentiellement par les appels à projets
Nature multidisciplinaire de l'Université de Bordeaux (par ex GPR)	Réduction des ressources au niveau local et national
	Évaluation stéréotypée par indicateurs

Le projet que nous décrivons ici a été présenté à l'intégralité des membres du LaBRI en assemblée générale. Les propositions qu'il contient ont donc été discutées et amendées. En outre la liste des départements, équipes et axes a fait l'objet de nombreux entretiens et discussions. Nous planifions un démarrage de notre projet dès le début de l'année 2021. À cette date les départements, équipes et axes seront officialisés. De plus, afin de mesurer les effets de notre projet, nous souhaitons mettre en place une évaluation interne à mi-parcours. Cette évaluation permettra de vérifier l'intérêt pour le laboratoire des mesures mises en place et permettra d'effectuer les modifications nécessaires. L'idée principale derrière ce souhait est de permettre la remise en question des différentes parties de ce projet à mi-parcours, afin de pouvoir résoudre rapidement les éventuels problèmes et de pouvoir s'adapter aux changements qui peuvent survenir. Ces ajustements permettront de poursuivre une démarche agile, démarche qui a été suivie dès le début de la rédaction de ce projet et que nous souhaitons prolonger au cours des prochaines années. Nous pensons que ce projet, associé à ce type de méthodologie agile, permettra au LaBRI de se réinventer et de suivre, voire d'anticiper et de précéder les évolutions du paysage de la recherche.



A

# Lettre Engagement

LABORATOIRE  
BORDELAIS  
DE RECHERCHE  
EN INFORMATIQUE

**LaBRI**

université  
de BORDEAUX



Talence, le 11 octobre 2020.

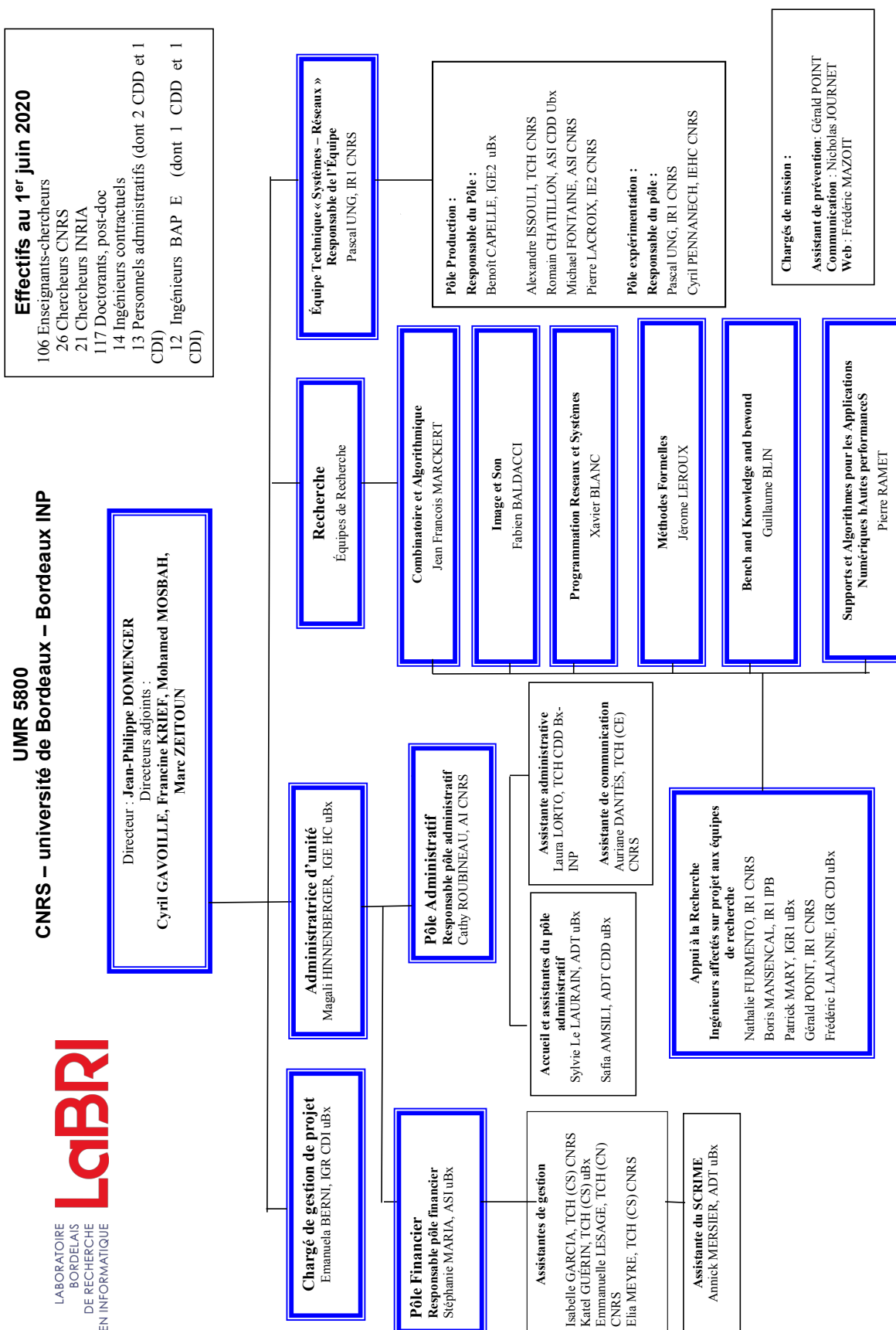
Je, soussigné, DOMENGER Jean-Philippe, en tant que directeur de l'entité de recherche « Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique (LaBRI UMR 5888) » certifie, par la présente, l'exactitude des données contenues dans le dossier d'autoévaluation, comprenant le document d'autoévaluation et les deux fichiers Excel « Données du contrat en cours » et « Données du prochain contrat ».

Jean-Philippe Domenger,  
Directeur du LaBRI.



*B*

# Organigramme







# Plates-formes

Nous n'avons retenu dans le fichier de synthèse que des **plates-formes** nationales ou qui ont vocations à devenir des plates-formes de site. Cependant, nous ajouterons dans cette annexe certaines plates-formes qui ont un véritable intérêt pour les recherches menées au sein des équipes du LaBRI.

- **PLAFRIM** est une plate-forme expérimentale de recherche et développement en modélisation, simulation et de calcul haute performance. Elle a été mise en place à partir de 2009 sous l'impulsion d'INRIA Bordeaux Sud-Ouest en collaboration avec des laboratoires d'informatique et de mathématiques, respectivement LaBRI et IMB avec un fort soutien de la région Aquitaine. Le but de la plate-forme est de proposer aux chercheurs et aux ingénieurs un outil interactif et attractif de recherche et de développement de capacité suffisante pour prototyper leur application, sachant que la phase d'exploitation continuera à se faire sur les grands centres de calcul pilotés par le GENCI. Elle regroupe différents types de ressources informatiques à des fins de recherche et développement. Les technologies les plus récentes en matière de processeurs, de mémoires et d'architecture sont ajoutées lorsqu'elles sont disponibles sur le marché. Ce sont désormais plus de 3000 cœurs (hors GPU et Xeon Phi) qui sont disponibles.
- **MCIA** offre un environnement permettant aux chercheurs ayant développé un outil de simulation sur une machine de laboratoire de passer à une plus grande échelle en lui offrant la puissance de calcul (machine de calcul curta 10 000 cœurs de calcul) mais aussi un soutien technique et scientifique. En 2017, suite au financement acquis au CPER pour un nouveau calculateur, la communauté scientifique réunie dans le MCIA a souhaité repenser le mésocentre. Le mésocentre est devenu l'unité de services MCIA qui a été labellisée « plate-forme de recherche » de l'université de Bordeaux en 2019. Cette machine est utilisée à l'échelle régionale dans des disciplines variées (physique, chimie, mécanique, mathématiques, informatique, médecine, biologie, etc.).
- **LSD**. Depuis 2014, nous avons développé, au LaBRI et avec nos partenaires les plus proches (les laboratoires IMB et IMS, le Centre INRIA Bordeaux Sud-Ouest et les entreprises locales), la plate-forme « Labs in the Sky with Data » (LSD). Elle permet aux équipes engagées dans la recherche sur le traitement de données massives, le calcul distribué et le génie logiciel de conduire des recherches spécifiques aux domaines du *cloud* et du *big data*. Un autre point important de cette plate-forme a été de permettre à nos ingénieurs et à nos équipes de monter en compétence aussi bien en matière de développement d'algorithmes innovants que

de déploiement d'infrastructures adaptées. Cette montée en compétence nous a permis dès 2015 d'ouvrir des enseignements au sein du master de l'Université de Bordeaux et au sein de l'institut polytechnique de Bordeaux sur la thématique du *big data*. En 2020 nous avons obtenu un financement FEDER à hauteur de 1,5M€ pour étendre cette plate-forme. Il permettra à terme d'élargir son accessibilité à plus de chercheurs et d'étudiants et de lancer des expérimentations à plus large échelle.

- **SCRIME**. Le SCRIME est un groupement d'intérêt Scientifique et Artistique regroupant rattaché au LaBRI. Il a pour objectifs principaux le développement de collaborations entre scientifiques et artistes à des fins de recherche et de création, la diffusion scientifique et artistique. La plate-forme du SCRIME est composée de plusieurs studios de composition dont un studio 3D, d'une salle de spectacle d'expérimentation et d'une plate-forme logicielle pour piloter les équipements. Une des originalités du SCRIME porte sur le dôme 3D qui permet la spatialisation du son. Une suite logicielle dédiée à la spatialisation permet de piloter le dôme et également d'interagir avec lui. Le SCRIME accueille en résidence une quinzaine de personnes annuellement. Les projets développés au SCRIME sont issus notamment du domaine de recherche du LaBRI, mais aussi d'INRIA (lutherie instrumentale), de l'INCLIA (sonification), de IREMUS et Paris Sorbonne (musicologie)...

D'autres équipements sont aussi disponibles à travers le matériel des équipes. On peut citer :

- Équipe POTIOC. À travers l'EPC POTIOC, commune avec INRIA, le LaBRI a accès aux **espaces expérimentaux du centre INRIA Bordeaux Sud-Ouest**. Ces espaces sont équipés avec des grands écrans de projection ( $9 \times 5\text{m}$ ), vidéoprojecteurs stéréoscopiques, casques de réalité virtuelle (*HTC Vive*) et de réalité augmentée (*Hololens2*), systèmes de *tracking* optiques (*optitrack*). Ces espaces sont reconfigurables afin d'expérimenter de nouvelles façons de visualiser et d'interagir. Par ailleurs, **un atelier mécanique et un atelier électronique** permettent de prototyper de nouvelles interfaces physiques. De plus, le laboratoire a également accès à la plate-forme de recherche sur les **interfaces cerveau-ordinateur** (*Brain-Computer Interfaces*). Il s'agit d'un espace expérimental équipé pour enregistrer et analyser des signaux ElectroEncéphaloGraphique (EEG) sur des participants humains. Cette plate-forme comporte notamment un système *EEG g.USBamp* (48 voies, g.tec, Autriche), un *LiveAmp* (EEG mobile, 32 voies, BrainProduct, Allemagne) et un *ActiCHamp* (64 voies, BrainProduct, Allemagne). Cette plate-forme comporte également des capteurs de mesures de signaux physiologiques tels que ElectroMyoGraphie (EMG), ElectroOculoGraphie (EOG), ElectroCardioGraphie (ECG), Réponse Electrodermale, Respiration ou encore température, pour compléter les signaux EEG.
- Équipe MF Le LaBRI dispose de **plates-formes robotiques** dédiées à l'expérimentation. Ces plates-formes ont été conçues et développées au sein du projet transversal Rhoban et sont destinées à faire partie de la future équipe DART. La première plate-forme est un **robot humanoïde**, SigmaBan entièrement autonome. Elle est utilisée pour l'expérimentation de systèmes de locomotion à pattes, notamment basés sur l'apprentissage. Une nouvelle version, à taille humaine est en cours de développement et verra le jour en 2021. Sigmaban a été utilisé pour concourir à la RoboCup. Sigmaban est aujourd'hui utilisé par plusieurs autres universités dans le monde (MIPT à Moscou et Shenyang University en Chine). La seconde plate-forme développée dans l'équipe est un **robot agricole** électrique et autonome, le ETRACT. Cette plate-forme est utilisée notamment dans le projet BipBip (Concours ANR Rose) pour le désherbage de précision intra-rang.
- Équipe I&S et Progress Le LaBRI dispose d'une **plate-forme Vision et 3D** qui s'est constituée au cours des dernières années à la suite de différents projets de recherche. L'objectif est de disposer de dispositifs d'acquisition de précision (scanner laser avec bras, caméras 3D, bras robotisé), mais aussi d'un banc dédié à l'acquisition. Nous disposons aussi de deux imprimantes 3D, de caméras 2D et de plusieurs casques/lunettes de Réalité Augmentée (*Hololens 1 et 2*, *Epson BT300*, *Meta 2*). En complément, l'équipe Progress dispose d'une plate-forme d'expérimentation pour les systèmes de drones. Elle a été construite au fur à mesure du développement de différents projets menés avec le support de la DGA, de l'EDA, de la Région Nouvelle Aquitaine et en collaboration avec des industriels comme Thales par exemple. Cette plate-forme comporte

plusieurs types d'appareils (Parrot, DJI, systèmes construits au laboratoire) dont certains développés dans le cadre d'une maturation financée par la SATT Aquitaine. Cette plate-forme sera en particulier réutilisée au sein du projet SUSPECT (H220 déposé fin août 2020), sous réserve d'acceptation de celui-ci.

Cette plate-forme est notamment utilisée par des membres de l'équipe I&S mais aussi par des membres de Progress pour des thématiques communes de vision pour les systèmes autonomes (drones, robots).

- Le LaBRI met à disposition une plate-forme mutualisée d'expérimentation pour l'**apprentissage profond** (*deep learning*), depuis mars 2017. Cette plate-forme a été financée par le laboratoire, sur fonds propres. Elle se compose pour le moment de 5 serveurs proposant 15 GPUs (9 Nvidia Titan Xp 12GB, 6 Nvidia GeForce 2080Ti 11GB). Une cinquantaine d'utilisateurs (41 doctorants et 13 permanents) en tirent profit actuellement ; il s'agit principalement de membres de l'équipe I&S, mais des membres des cinq autres équipes du laboratoire sont également impliqués. Elle est nécessaire à de nombreuses recherches : de la segmentation d'images (IRM, satellites, LIDAR, vidéo, ...) à l'évaluation automatique de visualisations abstraites, en passant par la prédiction d'utilisation des réseaux de vélo-partage, la reconnaissance de parole ou l'étude de l'explicabilité des réseaux. Elle permet aussi de prototyper et valider les évolutions des algorithmes au cœur de la plate-forme VolBrain, avant leur mise en production. Cette plate-forme se veut souple d'utilisation, sans trop de contraintes. Elle est exploitée en complément d'autres ressources mutualisées de calcul GPU, comme celles offertes par exemple par PLAFRIM ou le CATIE sur le site bordelais. Le nouveau supercalculateur national Jean Zay est aussi envisagé pour des problématiques plus exigeantes.



**Deuxième partie**

# **Auto-évaluation des équipes**



# Combinatoire et Algorithmique

## 1 Bilan

### 1.1 Présentation de l'équipe

#### 1.1.1 Introduction

La Combinatoire et l'Algorithmique sont deux disciplines intimement liées. La combinatoire est la science des structures discrètes : elle a pour but de concevoir, décrire, et comprendre les différentes familles d'objets discrets, leurs codages, ainsi que leurs relations. Les structures discrètes sont les briques essentielles utilisées pour représenter les données, en informatique d'abord, mais également dans les autres sciences, notamment en physique, mathématiques et biologie ; en fait partout où on cherche à structurer la connaissance sous forme de tableaux, de graphes, ou d'arbres, cela inclut donc également de nombreux domaines relevant de l'administration privée ou publique.

L'un des buts de l'informatique est de concevoir des outils permettant le traitement automatique et efficace des données. Les structures de données ont dans les faits toujours une nature discrète, et finalement, prennent un ensemble de formes assez restreint (souvent, à un étiquetage ou une abstraction près, ce sont des graphes, des tableaux, des mots de tel ou tel type...). Les structures discrètes sont également utilisées pour modéliser les interactions virtuelles ou physiques dans les réseaux de télécommunication : les particularités de chaque structure vont déterminer toute l'algorithmique de réseau « possible ». De manière générale la structure de données n'est jamais une fin en soi : le traitement des données va toujours nécessiter une algorithmique *ad hoc*, allant du traitement de simples requêtes sur une liste, à l'optimisation combinatoire dans des espaces de grande dimension, en passant par tous les cas où la structure discrète représente des liens de communication, entre des ordinateurs par exemple, et où l'algorithmique distribuée va prendre toute sa place.

L'émergence puis la maturation de nouvelles technologies, en lien notamment avec le big data, amènent de nouvelles problématiques : le passage à l'échelle, le traitement distribué de masses de données, la résistance aux erreurs ou à l'instabilité des réseaux.



L'équipe de Combinatoire et Algorithmique du LaBRI est l'une des équipes anciennes du LaBRI ; elle est composée d'une trentaine de permanents, et d'une vingtaine de non-permanents, principalement des doctorants, et quelques postdoctorants et visiteurs. Ses domaines de recherche embrassent une large palette de spécialités correspondant à la liste de points évoqués plus haut : principalement tournée vers la recherche amont, elle s'intéresse également aux problématiques des techniques et technologies actuelles.

Elle est divisée en trois thèmes :

- *Algorithmique distribuée (AD)*, qui est l'art consistant à organiser, faire communiquer ou travailler ensemble de manière efficace et sûre des entités communicantes dans un environnement non centralisé,
- *Combinatoire énumérative et algébrique (CEA)*, qui a pour but l'étude des structures discrètes en tant que telles, de leurs aspects mathématiques et statistiques, en lien avec d'autres sciences, notamment la physique statistique,
- *Graphes et optimisation (GO)*, qui a pour but d'étudier les propriétés combinatoires des graphes, de résoudre des problèmes d'optimisation sur les graphes, et qui s'emploie également à inventer, analyser et optimiser les algorithmes qui travaillent sur ces objets.

Cette « division » est principalement liée à l'organisation administrative actuelle du LaBRI, et à l'organisation de groupes de travail thématiques hebdomadaires. En pratique, plusieurs membres de l'équipe sont membres de fait de plusieurs thèmes.

### 1.1.2 Effectifs et moyens

Tableau 1.1 : Chercheurs et E/C de l'équipe Combinatoire et Algorithmique

	2015	2016	2017	2018	2019	2020
MCF	15	15	15	15	14	14
CR	5	5	6	6	6	6
PR	7	8	7	7	7	7
DR	5	4	4	4	4	4
Post-doctorant(e)s	2	1	4	1	1	3
Doctorant(e)s	12	11	6	9	10	13
Autres, dont émérites	4	4	5	6	5	5

L'équipe Combinatoire et Algorithmique a actuellement 6 MCF ou CR habilités.

**Recrutements :** Marthe Bonamy (CR CNRS Graphes et optimisation, 2015), Adrian Tanasa (professeur, 2015, membre de CEA), Sébastien Labbé (CR CNRS 2016, membre de CEA), Arnaud Casteigts (MCF, 2016, après un changement d'équipe ; membre d'AlgoDist et de Graphes et optimisation), François Dross (concours MCF, 2020, Graphes et optimisation, non encore officiellement membre, ni compté dans le tableau).

**Départs :** Olivier Beaumont et Lionel Eyraud Dubois, pour des raisons thématiques, ont choisi de rejoindre l'équipe SATANAS. Alexandre Zvonkine (retraite, 2016, professeur émérite depuis, membre de CEA). Paul Dorbec, promotion externe sur un poste PR à Caen (2018) ;

Le tableau suivant donne les contrats de l'équipe (il est rappelé dans l'annexe 4).

Tableau 1.2 : Contrats de l'équipe Combinatoire et Algorithmique, en k€

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total
National	355	313	323	368	158	11	1528
Régional	0	0	27	46	0	0	73
Industrie	0	0	0	108	22	0	130

Montant total des contrats pour l'équipe Combinatoire et Algorithmique : **1731 k€**.

### 1.1.3 Politique scientifique

L'équipe CombAlgo est une équipe de recherche très active au quotidien, avec de nombreux thèmes de recherche, et une très forte production scientifique (plus de 200 articles de journaux, plus de 150 actes de conférences internationales sur la période 2015-2020). Ses domaines de recherche sont très divers.

L'une des particularités de cette équipe est sa très grande animation scientifique, avec en local, l'organisation de groupes de travail (« GT », ouverts à toutes et tous) chaque semaine par chaque thème, le lancement de petites écoles, de nouveaux GT thématiques, l'organisation de conférences régulières comme les Journées de Combinatoire de Bordeaux (JCB, chaque année depuis plus de 10 ans), ou le Bordeaux Graph Workshop (BGW, tous les 2-3 ans), la participation à l'organisation de nombreuses conférences avec audience internationale. En moyenne, c'est entre 4 et 5 exposés par semaine qui sont organisés par l'équipe, au LaBRI.

Il est à noter que lors du confinement, dès fin mars 2020, les groupes de travail de l'équipe ont repris, et pour certains ont connu une affluence jamais connue auparavant, avec la participation de nombreux extérieurs à ces rendez-vous fréquents (une partie des exposés peuvent être trouvés ici : [GT virtuels du LaBRI](#), en collaboration avec MF; d'autres exposés du thème [Combinatoire énumérative et algébrique](#), et d'[Informatique quantique](#) ont été également organisés). Le GT Graphes et optimisation a d'ailleurs saisi l'opportunité de ces exposés à distance pour s'ouvrir très largement à l'international.

Les activités de l'équipe s'étendent régulièrement en dehors de ses frontières naturelles, avec de nombreuses initiatives d'ouverture. Des membres de l'équipe ont mis en place, ou on participé à la mise en place, de groupes de recherche inter-équipes ces dernières années : le groupe de recherche *Apprentissage profond* (*Deep learning* mis en place par Akka Zemmari en 2016), remplacé par le groupe de travail *Intelligence artificielle* (co-organisation A. Zemmari et Laurent Simon (MF) en 2019), groupe de travail *masse de données* (mis en place par Nicolas Hanusse entre 2017 et 2019), le GT informatique quantique (mis en place par Yvan Le Borgne et Stéphane Dartois en 2019), le GT Coq (démarré en 2019) mis en place par Olivier Gauwin (MF), repris depuis septembre 2019 par David Ilcinkas (CombAlgo) et Jérôme Leroux (MF).

## 1.2 Présentation de l'écosystème recherche de l'équipe

L'équipe CombAlgo est partie prenante de nombreuses instances locales et nationales ; en local, des membres de l'équipe participent à l'administration du LaBRI (C. Gavaille, directeur adjoint ; E. Sopena, président du CS) ; A. Pêcher est à la tête du département Informatique de l'IUT. Nicolas Hanusse a été directeur de l'école doctorale (math-info) de 2013 à 2017. On trouve également des élus aux conseils de l'université (Ph. Duchon, conseil du collège ST puis CFVU), au conseil du département ST (JC. Aval, N. Bonichon), au conseil du département des Sciences de l'Ingénierie et du Numérique (M. Bonamy, A. Tanasa), au conseil de l'UF info (C. Gavaille, Ph. Duchon,

F. Kardos), au conseil de l'École doctorale math-info (JC. Aval, A. Tanasa)...

Nicolas Hanusse est l'un des porteurs du « Graduate Research Program in Digital Sciences *NUMERICS* » qui commencera en 2021, et qui est un projet commun entre le LaBRI, l'IMS, l'IMB, I2M et INRIA BSO. Cette école, dotée de moyens propres importants, destinées à des étudiants souhaitant effectuer un doctorat, a pour but d'organiser des offres de formation dès le master pour une centaine d'étudiants par an.

L'équipe entretient également des liens particuliers avec le laboratoire de mathématiques (IMB) avec qui un certain nombre d'initiatives sont prises régulièrement (codirection de thèses, organisation des *Leçons de mathématiques et d'informatique d'aujourd'hui*, participations croisées aux groupes de travail respectifs).

Au niveau national, des membres de CombaAlgo sont impliqués dans les instances du CNRS (D. Ilcinkas, membre du bureau du Conseil Scientifique d'Institut de l'INS2I (C. Gavoille, l'était entre 2014 et 2018); M. Bousquet-Mélou, membre de la section 41 du comité national); par ailleurs de nombreux membres participent à l'animation du GDR IM (organisation des journées du GDR IM en 2015, de l'école du GDR IM en 2020; C. Gavoille était co-responsable du GT CoA (2011-2017)), David Ilcinkas, membre du comité de pilotage du pôle ResCom du GdR RSD; enfin, des membres sont impliqués dans la SIF (Olivier Baudon, Secrétaire jusqu'en fév. 2020; C. Gavoille, membre du Conseil Scientifique).

À l'international, l'équipe participe à de nombreux projets; de 2011 à 2018, elle a piloté un LIA en association avec des universités du Québec (le LIRCO, dirigé en local par J.-C. Aval puis M. Bousquet-Mélou). J.-F. Marckert a dirigé le GDRI (Europe) Alea Network (2013-2018), et est maintenant responsable adjoint de l'IRN Alea Network.

D'autres projets internationaux : mobilité France-Australie, dont PRC, projet bilatéral franco-indien, PHC avec la République tchèque, la Slovaquie, la Slovaquie, les Pays-Bas, projet multilatéral avec l'Amérique du Sud.

### 1.3 Produits et activités de la recherche

#### 1.3.1 Bilan scientifique

Nous déclinons le bilan d'équipe par thème.

**Algo Dist** Le thème Algorithmique Distribuée regroupe 16 permanents. Un séminaire hebdomadaire permet aux membres du groupe et à leurs invités de présenter leurs résultats et d'échanger autour des thématiques de recherche qui intéressent ses membres. Il s'agit d'un séminaire ouvert auquel assistent régulièrement une trentaine de participants, y compris des membres d'autres thèmes et d'autres équipes du LaBRI.

Les résultats dans ce thème concernent notamment la conception d'algorithmes distribués efficaces, fiables et capables de passer à l'échelle, mais aussi des aspects plus amonts, comme des résultats d'existence et d'inexistence d'algorithmes distribués pour résoudre certaines tâches. Les résultats des membres de notre équipe sont reconnus et validés par des publications dans les meilleurs journaux et les meilleures conférences du domaine (plus de 150 contributions ces cinq dernières années) : FOCS, SODA, PODC, DISC, IPDPS, ICALP, STACS, Distributed Computing, Information and Computation, Algorithmica, Journal of Parallel and Distributed Computing, ACM Transactions on Algorithms, Theory of Computing Systems, etc.

Nous illustrons les résultats de ce thème par les points suivants :

■ **Schémas d'étiquetage de structures de données distribuées** : Les performances des algorithmes distribués sont tributaires du fait que les informations nécessaires aux calculs sont réparties sur les nœuds du graphe modélisant

le réseau. Les schémas d'étiquetage consistent à répartir de manière succincte une connaissance *a priori* globale du graphe sur ses nœuds, après une étape de pré-calcul. Chaque nœud se voit ainsi attribuer par le schéma une étiquette permettant de répondre aux questions comme « les nœuds  $u$  et  $v$  sont-ils voisins ? » ou « quelle est la distance entre  $u$  et  $v$  ? », grâce aux seules étiquettes de  $u$  et de  $v$ , sans aucune autre source d'information ou de communication. La principale mesure de qualité d'un schéma est alors la taille des étiquettes qu'il attribue.

Les schémas permettant de répondre à la question de la distance ont été étudiés au moins depuis 1971 par R. Graham et H. Pollack puis réintroduit en 1999 par D. Peleg dans le cadre du calcul distribué. Plus récemment nous avons établi dans [3] (SODA 2016) que des étiquettes de  $0.793n$  bit/nœud suffisent pour déterminer la distance pour tout graphe (non valué) ayant  $n$  nœuds. C'est la meilleure borne connue à ce jour. De plus la distance peut être donnée en temps constant. Ce schéma implique aussi l'existence de structure de données de  $0.793n^2$  bits supportant les requêtes de distance en temps constant, à mettre en balance avec la représentation classique des matrices de distances de  $n^2 \lceil \log_2 D \rceil$  bits pour un graphe de diamètre  $D$ .

De manière intéressante les schémas permettant de répondre à l'adjacence sont en relation étroite avec les graphes universels étudiés par P. Erdős et F. Chung dans les années 1980. Le cas des arbres, et plus largement des graphes planaires, a particulièrement été étudié, avec en point d'orgue le schéma optimal de S. Alstrup *et al.* (FOCS 2016) donnant des étiquettes de seulement  $\log_2 n + O(1)$  bits pour les arbres. Pour les graphes planaires la longueur des étiquettes a graduellement diminué de  $6 \log_2 n$  bits (J. Muller en 1988) à  $2 \log_2 n$  bits (C. Gavoille, A. Labourel en 2007). En utilisant de nouvelles techniques, nous avons réduit une première fois la borne à  $(4/3 + o(1)) \log_2 n$  bits [18] (SODA 2020) pour la porter ultimement à  $(1 + o(1)) \log_2 n$  bits [50] (FOCS 2020).

■ *Autostabilisation et tolérance aux pannes* : Un algorithme est dit auto-stabilisant lorsqu'il respecte sa spécification même exécuté sans initialisation de ses variables. Ce type d'algorithmes est particulièrement utile dans un environnement distribué car un algorithme auto-stabilisant va converger vers un *mode nominal* après toute période transitoire constituée de pannes ou due au dynamisme du réseau.

Dans [55, 56], nous développons un algorithme auto-stabilisant calculant un arbre de plus courts chemins, enraciné en un nœud distingué. Cet algorithme a un nombre linéaire de rondes (la mesure classique de complexité en temps dans ce domaine), fonctionne quelle que soit l'asynchronie, et permet à un nœud n'étant pas dans la composante connexe de la racine de s'en apercevoir. Il a cependant un nombre de pas de calcul (progrès élémentaire dans le réseau) exponentiel dans certains cas. Dans [45, 46], nous améliorons le résultat précédent en proposant un algorithme, toujours auto-stabilisant, ayant les mêmes garanties mais s'exécutant toujours en un nombre polynomial de pas de calcul. Dans [47], nous généralisons le résultat précédent à de nombreux problèmes dont les solutions peuvent être basées sur des variantes d'arbres couvrants. Malgré sa genericité, l'algorithme est asymptotiquement aussi performant que les meilleurs algorithmes spécialisés connus pour (au moins) les problèmes de l'élection de leader, de la forêt couvrante, et de l'arbre de plus courts chemins.

■ *Algorithmes dans les graphes temporels* : Un graphe temporel est un graphe dont l'ensemble d'arêtes (et parfois de sommets) varie dans le temps. Les concepts classiques de l'algorithmique et de la théorie des graphes s'y transposent à des degrés divers et le cas des arbres couvrants est assez emblématique. Plusieurs approches ont été explorées par notre équipe autour de ce sujet :

- 1) Un algorithme distribué de maintien d'un sous-ensemble de liens qui, à tout moment, définit une forêt (ensemble d'arbres) couvrante dans le réseau [11, 12].
- 2) Un algorithme centralisé qui évalue la stabilité d'un réseau dynamique (graphe temporel) en fonction de la durée maximale de survie d'un arbre couvrant en son sein [32, 31].
- 3) La construction de spanneurs temporels, où la notion même de structure couvrante n'est plus définie à un instant donné, mais à travers le temps. Ce cas est plus intrigant, car un graphe temporellement connexe (qui

admet des chemins temporels entre toutes paires de sommets) n'admet pas forcément de sous-ensemble d'arêtes sans cycle préservant cette connexité. En fait, il a été montré dans [61] que certains graphes ayant  $O(n \log n)$  arêtes ne peuvent pas être « sparsifiés » (se voir enlever des arêtes) sans rompre la connexité temporelle, et ce résultat a été étendu dans [7] aux graphes denses en général : il existe donc des graphes temporellement connexes ayant  $\Theta(n^2)$  arêtes desquels on ne peut rien enlever *sans perdre cette propriété* ! Dans ce cadre, nous avons montré le premier résultat positif, à savoir que si le graphe de départ est construit à partir d'un graphe complet (chaque arête existe à un moment ou à un autre), alors on peut toujours trouver un spanneur peu dense de  $O(n \log n)$  arêtes [36, 37].

■ *Objets concurrents tolérants aux pannes* : Les objets partagés sont une abstraction essentielle dans le calcul distribué, car ils fournissent une interface cohérente permettant à plusieurs processus d'interagir avec les données partagées. Dans [29], nous étudions la complexité des algorithmes anonymes tolérants aux pannes et implémentant un consensus dans le modèle à mémoire partagée. Nous prouvons une complexité non triviale pour les exécutions sans contention, ce qui signifie que même lorsque un seul processus exécute l'algorithme, le nombre d'étapes qu'il doit exécuter dépend du nombre de processus dans le système et de la taille de l'ensemble des valeurs d'entrée qui peuvent être proposées.

Dans [51], nous identifions une propriété naturelle pour des constructions universelles et nous prouvons qu'il n'y a pas de construction universelle (avec cette propriété) qui assure à la fois un bon parallélisme et la tolérance aux pannes. Une construction universelle fournit un mécanisme général pour obtenir une implémentation simultanée de n'importe quel objet à partir de son code séquentiel.

Dans un travail très récent, [9], nous étudions la complexité des compteurs partagés tolérants aux pannes lorsqu'ils sont implémentés dans une mémoire partagée en lecture/écriture. Le compteur est un objet fondamental et largement utilisé dans l'informatique distribuée. Dans ce modèle, nous présentons le premier compteur sans attente dont la complexité des pas amortis est poly-logarithmique.

■ *Algorithmes probabilistes et distribués* : Un algorithme probabiliste est un algorithme qui utilise des tirages de type pile ou face ou des générateurs de nombres aléatoires. Les algorithmes probabilistes permettent de fournir des solutions parfois plus « efficaces » que les solutions déterministes, ou encore des solutions pour des problèmes qui n'admettent pas de solution déterministe. Dans [65], les auteurs ont introduit un modèle où les processus ne sont autorisés à échanger que des messages de taille  $O(1)$  bits. Il s'agit d'un modèle beaucoup plus contraignant que les deux précédents mais qui permet d'unifier en quelque sorte la complexité en temps et en messages : on parle alors de la complexité en bits. Dans une série d'articles [72, 74, 73, 35], des membres de l'équipe se sont intéressés à la complexité en bit de plusieurs paradigmes de l'algorithmique distribuée. Ils ont conçu des solutions optimales pour des problèmes tels que la coloration, le MIS [74, 73], ou encore l'élection [72]. Plus récemment, un autre modèle de communication a été défini et a connu un grand essor [49, 52, 54]. Il s'agit du *beeping model* ou du modèle à base de beeps [78]. Dans ce modèle, les nœuds du système ne communiquent que par des beeps : à chaque ronde, un nœud choisit soit d'émettre un beep soit d'écouter. Concevoir des algorithmes pour ce modèle est beaucoup plus difficile que pour les modèles précédents. En effet, la « connaissance » des nœuds est vraiment limitée car ils ne peuvent ni cibler un voisin pour lui envoyer un beep ni distinguer entre les beeps émis par les voisins. Néanmoins, des membres de l'équipe ont démontré, dans [34, 33] que les complexités de plusieurs algorithmes tels que la coloration, le MIS ou encore le 2-MIS restaient *logarithmiques*. Ils ont également montré la puissance de ce modèle en donnant un algorithme *optimal* pour le comptage des nœuds du système.



Ces dernières années, des membres du thème se sont également intéressés à de nouvelles thématiques telles que l'information quantique, les réseaux de capteurs intelligents et l'apprentissage distribué ou encore la blockchain. Ils sont également impliqués dans le développement de logiciels.

**Combinatoire énumérative et algébrique** Ce groupe compte 15 membres permanents, dont 3 membres émérites actifs. Son GT hebdomadaire attire régulièrement une vingtaine de personnes, et parfois beaucoup plus, dont des membres des autres thèmes de l'équipe, des membres de l'équipe Méthodes Formelles, ou des mathématiciens de l'*Institut de Mathématiques de Bordeaux*.

Les recherches du groupe ont pour visée l'obtention de résultats de nature mathématique sur des objets discrets et leurs propriétés. Beaucoup de ces objets jouent un rôle central en informatique. Les techniques employées s'appliquent également à l'analyse d'algorithmes ou à l'étude de modèles de physique statistique, entre autres. Les principaux types d'objets étudiés sont des arbres, chemins, mots, permutations, tableaux et cartes combinatoires.

Le thème Combinatoire énumérative et algébrique a une forte activité de publication, principalement dans des journaux de combinatoire (Journal of Combinatorial Theory (series A), European Journal of Combinatorics, Annals of Combinatorics), mais aussi de probabilité (Stochastic processes and their applications, Elec. J. of probability, Random structures and algorithms, ...), de mathématiques (Advances in mathematics, Journal of the European Mathematical Society, Journal of AMS, Erg. Th. and Dyn. Sys, Advances in Applied Mathematics,...), de physique statistique (Comm. Math. Phys., Journal of Mathematical Physics, ...). Un certain nombre de publications apparaissent également dans les actes de la principale conférence de combinatoire, FPSAC.

Il est difficile de faire un bilan complet de la production de ce thème, tant est grande la diversité des thématiques de recherche en son sein. Quatre ensembles de résultats témoins de cette diversité sont décrits ci-dessous.

■ *Énumération de chemins dans un quart de plan.* Le dénombrement de chemins sur une grille, possiblement confinés dans un domaine prescrit, est un problème basique de combinatoire énumérative. De nombreuses instances de ce problème sont motivées par des questions précises (en termes de piles ou de files d'attente par exemple). Une formulation emblématique est la suivante : si on se donne un point de départ  $p_0$  dans  $\mathbb{Z}d$ , un ensemble (fini)  $S$  de pas autorisés et un domaine  $D$  qui contient  $p_0$  (le tout dans  $\mathbb{Z}d$ ), quel est le nombre  $a(n)$  de chemins de  $n$  pas, tous pris dans  $S$ , partant de  $p_0$  et restant dans  $D$ ? Que vaut la série génératrice associée,  $\sum_n a(n)t^n$ ? Bien des exemples sporadiques sont connus depuis très longtemps, surtout en dimension 1 et 2. Par exemple, il est compris depuis des lustres que si  $D = \mathbb{Z}d$ , la série  $A(t)$  est rationnelle, et depuis les années 1980 que si  $D$  est un demi-espace, elle est algébrique : c'est-à-dire qu'il existe un polynôme  $P$ , bivarié, tel que  $P(t, A(t)) = 0$ . Bien sûr, toute série rationnelle est algébrique. Le domaine suivant qu'il était naturel de considérer était le quart de plan : les exemples connus suggéraient que la série  $A(t)$ , sans être forcément algébrique, se trouvait du moins toujours dans un ensemble plus grand de séries, appelée D-finies : ce sont celles qui satisfont une équation différentielle linéaire à coefficients polynomiaux. Était-ce vrai?

Les premiers travaux systématiques sur les chemins du quart de plan ont commencé dans l'équipe dès les années 2000. En 2003, un premier article [26] a prouvé que les choses étaient plus compliquées qu'attendu, via un exemple qui n'était pas D-fini. Plus tard, Bousquet-Mélou et Mishna ont lancé l'étude systématique des chemins du quadrant à petits pas (variations 0,  $\pm 1$  le long de chaque axe). Cet article, finalement paru en 2010, a attiré l'attention de chercheurs de différentes communautés : combinatoire bien sûr, calcul formel, probabilités, et même théorie de Galois différentielle. Leurs efforts combinés ont abouti à une classification complète de tous ces problèmes selon la nature de la série génératrice. De nombreuses extensions sont désormais à l'étude, à Bordeaux comme ailleurs : pas plus grands [24], cônes non convexes [25, 27], dimension supérieure [23]...

■ **Pavages apériodiques.** L'étude des structures apériodiques [57, 8] a suscité beaucoup d'intérêt depuis la découverte en 1982 des quasicristaux par Shechtman [79], qui lui a valu d'obtenir le prix Nobel de chimie en 2011. Ces développements en chimie et physique sont reliés à l'informatique et aux mathématiques via l'étude des pavages apériodiques. Les premières structures apériodiques avaient été découvertes par des chercheurs en informatique dans les années 1960 et étaient basées sur la notion de tuiles de Wang. Une *tuile de Wang* peut être représentée par une tuile carrée dont les côtés sont colorés. On dit qu'un ensemble de tuiles de Wang admet un pavage du plan si on peut recouvrir le plan par des copies de tuiles de telle sorte que le côté commun de deux tuiles adjacentes soit de la même couleur.

L'ensemble des pavages du plan admis par un ensemble de tuiles de Wang est appelé *sous-shift de Wang*. En répondant à une question de Wang [81], Berger [14] a démontré qu'il découle de l'indécidabilité du problème de l'arrêt d'une machine de Turing qu'il existe des ensembles de tuiles de Wang qui admettent des pavages du plan sans qu'aucun ne soit périodique. On dit qu'un tel ensemble de tuiles de Wang est *apériodique*.

Berger a construit le premier ensemble de tuiles apériodique contenant 20426 tuiles [14], réduit plus tard à 104 par lui-même [13] et d'autres [64, 77]. La recherche du plus petit ensemble de tuiles de Wang s'est poursuivie jusqu'à ce que Jeandel et Rao découvrent en 2015 un ensemble apériodique de 11 tuiles (Figure 1.1) et prouvent qu'aucun ensemble de 10 tuiles ou moins n'est apériodique [60]. Leur calcul de tous les candidats de taille 11 “took approximately one year on several hundred cores.” Ce qui était considéré par plusieurs comme la fin de l'histoire a suscité l'intérêt de Sébastien Labbé à son arrivée au LaBRI au printemps 2017.

Labbé a découvert que les pavages de Jeandel-Rao sont essentiellement le codage d'une action de  $\mathbb{Z}^2$  agissant

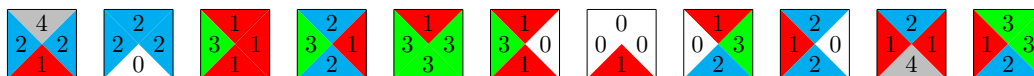


FIGURE 1.1 – Depuis 2015, nous savons que les pavages du plan avec ces 11 tuiles de Jeandel-Rao existent et sont tous non périodiques. On sait maintenant qu'ils sont obtenus par le codage de deux rotations irrationnelles sur un tore de dimension 2.

par translations sur le tore  $\mathbb{R}^2/\Gamma$  où  $\Gamma$  est le réseau engendré par les combinaisons linéaires entières des vecteurs  $(\varphi, 0)$  et  $(1, \varphi + 3)$  où  $\varphi = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$  est le nombre d'or. Le codage est défini via une partition du tore  $\mathbb{R}^2/\Gamma$  en polygones indexés par les entiers de l'ensemble  $\{0, 1, 2, \dots, 10\}$  en correspondance avec les 11 tuiles de Jeandel-Rao. La preuve de ce résultat est difficile. Elle a été découpée en 4 articles [67, 70, 66, 68] et a nécessité l'ajout de nouveaux modules dans le package optionnel `slabbe` [69] basé sur le logiciel libre SageMath. Le résultat s'inspire et généralise des résultats fondamentaux en dynamique symbolique dont le théorème de Morse-Hedlund sur les mots sturmiens [75], l'existence des partitions de Markov décrivant les automorphismes hyperboliques du tore [2, 80, 28] et la première description de la fractale de Rauzy [76].

■ **Physique Combinatoire - modèles de tenseurs aléatoires et cartes 3D.** Le recrutement PR d'Adrian Tanasa en 2015 a amené un renforcement important de l'activité de recherche en physique combinatoire de l'équipe, notamment dans le domaine des tenseurs aléatoires et des cartes 3D.

Les modèles de tenseurs aléatoires peuvent être vus comme une généralisation naturelle de modèles de matrices aléatoires, qui ont été intensivement étudiés dans les dernières décennies par des probabilistes, des physiciens mathématiciens mais aussi des combinatoristes (en lien avec le comptage de cartes combinatoires — voir par exemple Zvonkine [82]).

Les modèles de matrices aléatoires peuvent être vus comme des théories quantiques de champs et, dans ce cas, on leur associe d'une façon canonique de graphes de Feynman, qui sont des graphes à ruban ou des cartes. Pour les modèles de tenseurs aléatoires, les graphes de Feynman sont ainsi des cartes 3D, généralisation naturelle des



cartes.

Tanasa et Carrozza [30] (post-doc au LaBRI en 2015-2016) ont ainsi étudié en détail le développement asymptotique en  $1/N$ ,  $N$  étant la taille du tenseur, d'un modèle de tenseurs dont la classe de graphes de Feynman est plus large que la classe de graphes de Feynman de modèles de tenseurs précédemment connus (voir le livre [58]).

En 2016, Witten a relié les modèles de tenseurs à un modèle utilisé dans la physique des trous noirs, le modèle de Sachdev-Ye-Kitaev (SYK). Suite à cette découverte, plusieurs études combinatoires de différents modèles de tenseurs de type SYK ont été faites par Tanasa, Lionni (post-doc au LaBRI) et Fusy (LIX) [53], ou bien par Tanasa, Nador (stagiaire au LaBRI) et Bonzom (LIPN) [22], [21].

■ *Étude du tas de sable.* En physique statistique, combinatoire, et théorie des probabilités, le modèle du tas de sable popularisé par Dhar [48] est un modèle de diffusion sur un graphe : des grains sont ajoutés successivement sur des sommets pris au hasard. Lorsqu'un sommet contient un nombre de grains dépassant son degré, il devient instable, s'écroule, et envoie un grain à chacun de ses voisins, qui à leur tour peuvent devenir instables et s'écrouler... Un sommet absorbant les grains qu'il reçoit assure une certaine stabilité à ce système. Dhar a démontré qu'en régime asymptotique, le nombre d'états possibles de ce système (états dits récurrents) coïncide avec le nombre d'arbres couvrants du graphe considéré ; sous des hypothèses très générales sur le modèle d'arrivée de grains, la loi invariante est uniforme. Le lien avec les arbres couvrants se raffine car la distribution du nombre de grains sur les états récurrents coïncide avec une évaluation partielle du polynôme de Tutte du graphe. Ces dernières années, trois principales directions de recherche concernant le modèle du tas de sable ont été poursuivies dans le thème :

- Aspects algébriques : en 2007, Baker et Norine [10] ont proposé un analogue pour les graphes d'un théorème de Riemann-Roch célèbre en géométrie algébrique reposant sur un certain paramètre du modèle du tas de sable, le rang, dont le calcul est NP-complet [62]. Cori et Le Borgne [40] ont proposé de nouvelles preuves de certains de ces résultats (reprises dans le livre de Klivans [63] notamment) ; dans le cas des graphes complets, on trouve aussi dans [40] un algorithme de complexité arithmétique linéaire pour le calcul du rang, ainsi que le calcul d'une série génératrice décrivant la distribution jointe du rang, du nombre de grains et du nombre de sommets sur les états récurrents. En collaboration avec D'Adderio (Université Libre de Bruxelles), Le Borgne [41] a étendu ces résultats au cas des graphes bipartis (travaux ayant donné lieu à certaines études ultérieures [39], [38]). D'autres contributions concernant les aspects algébriques du modèle du tas de sable obtenus par des membres de l'équipe peuvent être trouvées dans les articles d'Aval et Le Borgne et leurs coauteurs [6], [5], [4].

- Construction d'analogue sur les graphes infinis : il y a plusieurs manières de définir le tas de sable sur les graphes infinis comme  $\mathbb{Z}^2$ , selon que l'on ajoute des sommets absorbants, que l'on parte de configuration vide, que l'on ajoute toujours les grains au même endroit, etc. Dans sa thèse encadrée par Le Borgne, Derycke [43] (voir aussi [42], [71]) définit un modèle cohérent pour le réseau carré 2D où le puits est envoyé à l'infini, et où seules les configurations périodiques sont considérées ; dans ce cas, des liens peuvent être faits avec des forêts couvrantes périodiques. De nombreuses propriétés mathématiques sont mises à jour ; cela permet notamment, de proposer une définition « du polynôme de Tutte sur une période et une orientation » (Derycke et Le Borgne [44]) avec un puits projeté à l'infini selon l'orientation.

- Une autre piste poursuivie par Le Borgne concerne l'utilisation de modèles de tas de sable pour l'analyse de simulations d'écoulement de fluide (projet ENDEAR 2017-2018, initiatives transverses et interdisciplinaires du CNRS).

**Graphes et optimisation** Le groupe « Graphes & Optimisation » compte 20 membres permanents, 1 post-doctorant et 4 doctorants. Son séminaire hebdomadaire attire une vingtaine de personnes en moyenne, et bénéficie d'une certaine visibilité au niveau du laboratoire. Depuis le confinement, le séminaire s'est transposé en ligne, a plus que doublé en effectifs moyens et s'est octroyé une visibilité internationale avec par exemple des exposés de Paul Seymour et Noga Alon.

Les recherches du thème portent sur la théorie des graphes, notamment sous l'angle des problèmes d'optimisation. Il s'agit tant d'obtenir des algorithmes efficaces que de dégager une meilleure compréhension de la structure de certains graphes. En dehors de leur intérêt propre, les résultats de ce type sont souvent aussi des outils à court ou moyen terme, au sens où ils peuvent permettre de réduire directement d'autres problèmes à des cas particuliers – soit en identifiant immédiatement les cas difficiles, soit en déduisant que tout résultat obtenu sur une certaine structure simple aura des conséquences sur toute la classe de graphes considérée.

Les résultats du groupe apparaissent entre autres dans des journaux tels que *Journal of the ACM*, *Journal of Combinatorial Theory* (series A et series B), *Advances in Combinatorics*, *Combinatorics, Probability and Computing*, *ACM Transactions on Computation Theory*, *ACM Transactions on Algorithms*, *Electronic Journal of Combinatorics*, *SIAM Journal on Discrete Mathematics*, *Journal of Graph Theory*, *Journal of Computer and System Science*, *Algorithmica*. Si les publications en actes de conférences sont plus rares dans notre domaine, nous notons quelques résultats parus dans FOCS, SODA, STACS, ESA.

■ *Homomorphismes de graphes signés*. L'étude des homomorphismes de graphes, qui généralisent la notion de coloration propre, est un domaine de recherche très actif en théorie des graphes. La notion de graphe signé (dont chaque arête est porteuse d'un signe, positif ou négatif) a été étudiée dès les années 50 par Frank Harary en tant que modèle de certains types de réseaux sociaux. Ce n'est par contre que très récemment, en 2005, que la notion d'homomorphisme de graphes signés est apparue, dans un papier non publié de Bertrand Guenin.

Notre équipe s'est intéressée à l'étude de ces homomorphismes dès le début des années 2010, à l'occasion d'un stage post-doctoral de Reza Naserasr (maintenant CR CNRS à l'IRIF, Paris). Nous avons pu ainsi participer de façon très active au développement de cette théorie, en lien avec la théorie des mineurs de graphes signés, motivée par diverses extensions du théorème des quatre couleurs : conjecture de Hadwiger (sur le lien entre le nombre chromatique et la présence de certains mineurs) et son extension dite "impaire" proposée par Gerards et Seymour, conjecture de Guenin et Naserasr (sur les homomorphismes de graphes planaires vers les cubes projectifs), ou conjecture de Seymour (sur l'index chromatique des multigraphes planaires) par exemple.

Cette étude est soutenue par le projet ANR HOSIGRA (ANR-17-CE40-0022, 2018–2022), en collaboration avec l'IRIF (Paris) et le LIRMM (Montpellier), et un projet bilatéral franco-indien IFCAM (2019–2021).

■ *Reconfiguration combinatoire*. Au lieu de chercher une solution pour une instance donnée, supposons qu'une solution est déjà en place. Certains aspects de l'instance (objectif, contraintes) peuvent évoluer avec le temps, surtout dans un environnement dynamique. Dans ce cas, on peut vouloir reconfigurer la solution existante en une nouvelle solution plus adaptée. Pour des raisons pratiques (ressources limitées), il peut être nécessaire d'opérer cette transformation de façon graduée, sans perdre les propriétés voulues à un seul instant.

Notre groupe s'est intéressé à la reconfiguration combinatoire notamment dans le cadre de la coloration de graphes. Avec des collègues du laboratoire G-SCOP et de l'université de Durham, nous avons en particulier montré que si le théorème de Brooks garantit l'existence d'une  $\Delta$ -coloration<sup>1</sup>, toutes les  $\Delta$ -colorations d'un graphe sont équivalentes à changements de Kempe près [16]. Avec des collègues du LIRIS et des universités de Sendai, Tokohu et Tokyo, nous avons également étudié la complexité algorithmique de calculer une plus courte séquence de reconfiguration dans ce contexte [19].

Dans le cadre plus limité où un seul sommet peut être recoloré à la fois, les  $\Delta$ -colorations sont loin d'être équivalentes. En réalité, même avec une couleur de plus, il existe souvent des  $(\Delta + 1)$ -colorations « gelées », c'est-à-dire des colorations qui ne peuvent être modifiées. Avec des collègues de l'Université Polytechnique de Catalogne et du G-SCOP, nous avons étudié la probabilité qu'une coloration aléatoire soit gelée [17].

Cette étude est soutenue par le projet ANR GrR (ANR-18-CE40-0032, 2019–2023), portée au G-SCOP (Grenoble).

■ *Structure des graphes géométriques*. Beaucoup de problèmes durs en général ont des comportements intéressants

1. sauf cas très spécifiques

lorsqu'il sont restreints à des graphes dits *géométriques*, c'est-à-dire dont la structure respecte des contraintes d'origine géométrique. L'exemple le plus courant est celui des graphes *planaires*, qui respectent la contrainte géométrique d'être dessinable dans le plan sans croisement d'arêtes. Ils peuvent de façon équivalente être définis comme les graphes représentables comme des contacts de cercles sur la plan – chaque sommet étant un cercle et deux sommets étant adjacents s'ils sont en contact sans se superposer.

Les graphes *de disques* sont définis de façon similaire : chaque sommet est un disque du plan et deux sommets sont adjacents si les disques correspondants s'intersectent. Calculer une clique de taille maximale dans un graphe est NP-dur en général. Dans le cadre des graphes de disques, le problème n'est que conjecturé être NP-dur. Avec des collègues du G-SCOP, de l'IRIF et du LIP, nous avons prouvé qu'il était en revanche approximable de façon arbitrairement précise de façon polynomiale [15] – ce point est développé dans les faits marquants (plus bas).

Sous un angle plus combinatoire, nous nous sommes intéressés à des questions de partitionnement. Tout hypercube est partitionnable en copies induites d'un sous-graphe, pourvu seulement que ce dernier vive dans une dimension suffisamment petite par rapport à celle de l'hypercube. Avec des collègues de l'université d'Oxford, nous avons généralisé ce résultat au cas d'un tore de base paire, et montré qu'aucun résultat de ce type n'est possible pour certaines longueurs de base [20].

Cette étude est soutenue par le projet ANR Distancia (ANR-17-CE40-0015, 2017-2021), en collaboration avec le LIF (Marseille) et l'IRIF (Paris).

■ *Graphes et matroïdes*. La notion de matroïde a été introduite comme un cadre général englobant différents concepts d'indépendance, provenant de plusieurs domaines mathématiques, tels que l'algèbre linéaire, la théorie des graphes ou la géométrie.

Un matroïde peut représenter la structure d'un graphe de plusieurs façons. Il est donc naturel de regarder quels paramètres et invariants définis sur les graphes peuvent avoir un équivalent dans le monde des matroïdes.

František Kardoš, en collaboration avec Dan Král, Anita Liebenau et Lukáš Mach (University of Warwick), a proposé une généralisation de la notion de *tree-depth*, définie pour les graphes, aux matroïdes. Ils ont ainsi défini la notion de *branch-depth* (profondeur-branches) d'un matroïde, un paramètre décrivant la complexité de la structure de celui-ci. En dehors des applications algorithmiques, ce nouveau paramètre est utilisé pour étudier la question d'existence de limites pour des suites convergentes de matroïdes.

Marthe Bonamy et František Kardoš, en collaboration avec Thomas Kelly, Peter Nelson, Luke Postle (University of Waterloo) ont regardé quelles propriétés de la coloration de graphes, notamment des liens entre l'absence de certains sous-graphes induits et les bornes sur le nombre chromatique, peuvent être également généralisées aux matroïdes. La conjecture de Gyárfás et Sumner [59] stipule que pour tout arbre  $T$  et clique  $K$ , il existe un entier  $c$  tel que si  $G$  ne contient ni  $T$  ni  $K$  comme sous-graphe induit, alors  $\chi(G) \leq c$ . Autrement dit, exclure un arbre et une clique suffit pour borner le nombre chromatique par une constante. Le nouveau résultat montre que la conjecture n'est pas vraie pour les matroïdes, même si on interdit les analogues de clique et arbre les plus simples ; cependant, il suffit d'ajouter une troisième restriction pour qu'elle devienne vraie.

Voici une collection **de faits marquants** pour l'équipe CombAlgo sur la période 2015-2020.

### Fait marquant Élection de Mireille Bousquet-Mélou à l'Académie des sciences (2019).

Mireille Bousquet-Mélou est membre du thème Combinatoire énumérative et algébrique au sein de l'équipe CombAlgo, où elle développe des recherches principalement centrées sur la combinatoire énumérative. L'ensemble de ses contributions à cette discipline est considérable : elle a publié des travaux remarquables concernant la plupart des objets d'étude de la combinatoire, mais aussi à ses frontières, notamment en physique statistique, théorie des probabilités...

L'un des points saillants de ses travaux est sa dextérité pour d'une part, caractériser les séries génératrices

étudiées à l'aide d'équations fonctionnelles (le calcul de séries génératrices est l'un des Graal du combinatoriste) et d'autre part, la mise au point de méthodes algébriques permettant la résolution de ces équations fonctionnelles.

### Nous souhaitons maintenant détailler quatre résultats de recherche particuliers.

**Fait marquant** *Adjacency Labelling for Planar Graphs (and Beyond)*, V. Dujmovic, L. Esperet, C. Gavoille, G. Joret, P. Micek, P. Morin (FOCS 2020).

Cet article donne une nouvelle représentation implicite des graphes planaires. Nous montrons qu'il est possible étiqueter les sommets de tout graphe planaire de taille  $n$  par des étiquettes de  $(1 + o(1)) \log n$  bits/sommet de sorte que l'adjacence entre deux sommets peut être déterminée seulement à partir des étiquettes des deux sommets. Cette borne asymptotiquement optimale, recherchée depuis les années 1980, implique l'existence d'un graphe de  $n^{1+o(1)}$  sommets contenant tous les graphes planaires de taille  $n$  comme sous-graphe induit.

**Fait marquant** *EPTAS for Max Clique on Disks and Unit Balls*, M. Bonamy, É. Bonnet, N. Bousquet, P. Charbit, S. Thomassé (FOCS 2018).

Calculer la taille maximale d'une clique dans un graphe est un problème NP-dur, y compris si on cherche uniquement une approximation même grossière. Dans le cas de graphes correspondant à l'intersection de disques dans le plan, la structure géométrique sous-jacente permet de calculer une 2-approximation en temps polynomial (Ambühl et Wagner 2005). Obtenir même une 1.9999-approximation dans ce cadre restait un défi de taille depuis. En janvier 2018, Marthe Bonamy avec des collègues de Grenoble, Lyon et Paris (Édouard Bonnet, Nicolas Bousquet, Pierre Charbit, et Stéphan Thomassé) qu'en augmentant l'exposant du polynôme, il était possible de remplacer 2 par n'importe quelle constante strictement supérieure à 1. Ces travaux ont fait l'objet d'une publication à FOCS 2018 et sont disponibles ici : <https://arxiv.org/abs/1803.01822>

**Fait marquant** *Distributed coloring in sparse graphs with fewer colors*, P. Aboulker, M. Bonamy, N. Bousquet, L. Esperet (PODC 2018). D'après le théorème des 4 couleurs, tout graphe planaire est 4-colorable. Intéressons-nous à une version distribuée de ce théorème, où chaque sommet doit choisir sa propre couleur, en  $p$  étapes dans le modèle LOCAL (informellement, en connaissant la structure du graphe à distance  $p$  de lui). Le théorème des quatre couleurs, reformulé, dit que si  $p$  est au moins le nombre  $n$  de sommets (donc chaque sommet connaît tout le graphe), alors on peut définir un protocole résultant en une 4-coloration. C'est en revanche impossible si  $p$  est sous-linéaire par rapport à  $n$ . En 1988, Goldberg, Plotkin, et Shannon ont montré qu'il suffisait que  $p$  soit (au moins) polylogarithmique en  $n$  pour qu'on puisse définir un protocole résultant en une 7-coloration. Marthe Bonamy, en collaboration avec Pierre Aboulker, Nicolas Bousquet et Louis Esperet, a défini un protocole résultant en une 6-coloration [1].

**Fait marquant** *Deterministic Leader Election Takes  $\Theta(D + \log n)$  Bit Rounds*, A. Casteigts, Y. Métivier, J.M. Robson, A. Zemmari, Algorithmica (Springer), Vol. 81, Issue 5, 1901-1920, 2019. Il s'agit de la résolution d'une vieille question en algorithmique distribuée. Ils ont caractérisé finement (pour la première fois) la complexité du problème de l'élection déterministe dans les réseaux avec identifiants. La communauté pensait jusqu'à présent qu'il était impossible d'être à la fois optimal en temps et en nombre de messages pour ce problème, mais cette impression venait de l'utilisation de messages de taille logarithmique. En considérant de plus petits messages (de taille constante), ils ont obtenu un algorithme qui pulvérise la complexité connue de l'élection (qui passe de  $O(D \log n)$ , où  $D$  est le diamètre, à  $O(D + \log n)$ ). Ils ont également montré que l'ordre de la borne inférieure obtenue est équivalente au coût de leur algorithme, caractérisant ainsi la complexité intrinsèque de cette variante de l'élection (dans le cas général); il s'agit d'un problème très étudié depuis une trentaine d'années.

## 1.4 Organisation et vie de l'équipe

### 1.4.1 Pilotage, animation, organisation de l'équipe

La politique scientifique de l'équipe peut se résumer en quelques slogans : soutenir tous les collègues quelle que soit leur initiative ou demande, favoriser les échanges internes avec l'organisation de nombreux exposés notamment, et externes, avec l'incitation à profiter des dispositifs d'invitations (mois invités, séminaires) mis en place par l'université et le laboratoire. Les thématiques de recherche ne sont jamais imposées, mais l'opportunité de s'ouvrir vers de nouveaux domaines de recherche est discutée en interne, avec parfois, la mise en place de groupes de travail dédiés comme déjà discuté plus haut.

CombAlgo a mis en place un bureau d'équipe constitué de 9 membres (3 par thème) en 2015 ; le but recherché est de rendre plus transparents et plus justes les différents arbitrages que la direction d'équipe doit faire, concernant les partages de ressources notamment (par exemple, pour la définition des profils de poste, des postes d'ATER, des bourses de thèse, etc.). L'un des objectifs importants du bureau est de préserver la bonne ambiance et la cohésion de l'équipe en garantissant une équité entre les collègues.

Chaque année depuis 2015, en plus des réunions habituelles, l'équipe organise une réunion sur une journée, avec exposés scientifiques le matin (de membres de l'équipe), pique-nique à midi, et « réunion administrative et prospective » l'après-midi.

Les nombreuses animations au sein de l'équipe permettent de multiples rencontres entre ses membres, et des occasions pour tous, notamment pour les doctorants, de présenter des travaux de recherche.

## Bibliographie

- [1] Pierre ABOULKER, Marthe BONAMY, Nicolas BOUSQUET, and Louis ESPERET. "Distributed coloring in sparse graphs with fewer colors." In: *Proceedings of the 2018 ACM Symposium on Principles of Distributed Computing (PODC)*. 2018, pp. 419–425.
- [2] Roy L. ADLER and Benjamin WEISS. *Similarity of automorphisms of the torus*. Memoirs of the American Mathematical Society, No. 98. American Mathematical Society, Providence, R.I., 1970, pp. ii+43.
- [3] Stephen ALSTRUP, Cyril GAVOILLE, Esben Bistrup HALVORSEN, and Holger PETERSEN. "Simpler, faster and shorter labels for distances in graphs." In: *Proceedings of the Twenty-Seventh Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, SODA 2016, Arlington, VA, USA, January 10-12, 2016*. Ed. by Robert KRAUTHGAMER. SIAM, 2016, pp. 338–350. DOI: 10.1137/1.9781611974331.ch25.
- [4] Jean-Christophe AVAL and François BERGERON. "Interlaced rectangular parking functions." In: *Seminaire Lotharingien de Combinatoire* (2020). URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02491597>.
- [5] Jean-Christophe AVAL and François BERGERON. "Rectangular Schröder parking functions combinatorics." In: *Seminaire Lotharingien de Combinatoire* (2018). URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02333312>.
- [6] Jean-Christophe AVAL, Michele D'ADDERIO, Mark DUKES, and Yvan LE BORGNE. "Two operators on sandpile configurations, the sandpile model on the complete bipartite graph, and a Cyclic Lemma." In: *Adv. Appl. Math.* 73 (2016), pp. 59–98. DOI: 10.1016/j.aam.2015.09.018.



- [7] Kyriakos AXIOTIS and Dimitris FOTAKIS. “On the size and the approximability of minimum temporally connected subgraphs.” In: *arXiv preprint arXiv:1602.06411* (2016).
- [8] Michael BAAKE and Uwe GRIMM. *Aperiodic order. Vol. 1*. Vol. 149. Encyclopedia of Mathematics and its Applications. Cambridge University Press, Cambridge, 2013, pp. xvi+531. ISBN: 978-0-521-86991-1. DOI: 10.1017/CB09781139025256.
- [9] Mirza Ahad BAIG, Danny HENDLER, Alessia MILANI, and Corentin TRAVERS. “Long-Lived Counters with Polylogarithmic Amortized Step Complexity.” In: *33rd International Symposium on Distributed Computing, DISC 2019, October 14-18, 2019, Budapest, Hungary*. Ed. by Jukka SUOMELA. Vol. 146. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2019, 3:1–3:16. DOI: 10.4230/LIPIcs.DISC.2019.3.
- [10] Matthew BAKER and Serguei NORINE. “Riemann-Roch and Abel-Jacobi theory on a finite graph.” In: *Adv. Math.* 215.2 (2007), pp. 766–788. ISSN: 0001-8708. DOI: 10.1016/j.aim.2007.04.012.
- [11] Mathieu BARJON, Arnaud CASTEIGTS, Serge CHAUMETTE, Colette JOHNEN, and Yessin M. NEGAZ. “Maintaining a Spanning Forest in Highly Dynamic Networks: The Synchronous Case.” In: *18th International Conference on Principles of Distributed Systems - OPODIS 2014*. Vol. 8878. Cortina d’Ampezzo, Italy: Springer, Dec. 2014, pp. 277–292. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01410314>.
- [12] Matthieu BARJON, Arnaud CASTEIGTS, Serge CHAUMETTE, Colette JOHNEN, and Yessin M. NEGAZ. “Maintaining a Distributed Spanning Forest in Highly Dynamic Networks.” In: *Comput. J.* 62.2 (2019), pp. 231–246. DOI: 10.1093/comjnl/bxy069.
- [13] Robert BERGER. *The undecidability of the domino problem*. Thesis (Ph.D.)—Harvard University. ProQuest LLC, Ann Arbor, MI, 1965, (no paging).
- [14] Robert BERGER. “The undecidability of the domino problem.” In: *Mem. Amer. Math. Soc. No. 66* (1966), p. 72. ISSN: 0065-9266.
- [15] Marthe BONAMY, Edouard BONNET, Nicolas BOUSQUET, Pierre CHARBIT, and Stéphan THOMASSÉ. “EPTAS for Max Clique on Disks and Unit Balls.” In: *59th IEEE Annual Symposium on Foundations of Computer Science, FOCS 2018, Paris, France, October 7-9, 2018*. Ed. by Mikkel THORUP. IEEE Computer Society, 2018, pp. 568–579. DOI: 10.1109/FOCS.2018.00060.
- [16] Marthe BONAMY, Nicolas BOUSQUET, Carl FEGHALI, and Matthew JOHNSON. “On a conjecture of Mohar concerning Kempe equivalence of regular graphs.” In: *J. Comb. Theory, Ser. B* 135 (2019), pp. 179–199. DOI: 10.1016/j.jctb.2018.08.002.
- [17] Marthe BONAMY, Nicolas BOUSQUET, and Guillem PERARNAU. “Frozen colourings of bounded degree graphs.” In: *Electron. Notes Discret. Math.* 68 (2018), pp. 167–172. DOI: 10.1016/j.endm.2018.06.029.
- [18] Marthe BONAMY, Cyril GAVOILLE, and Michal PILIPCZUK. “Shorter Labeling Schemes for Planar Graphs.” In: *Proceedings of the 2020 ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, SODA 2020, Salt Lake City, UT, USA, January 5-8, 2020*. Ed. by Shuchi CHAWLA. SIAM, 2020, pp. 446–462. DOI: 10.1137/1.9781611975994.27.
- [19] Marthe BONAMY, Marc HEINRICH, Takehiro ITO, Yusuke KOBAYASHI, Haruka MIZUTA, Moritz MÜHLENTHALER, Akira SUZUKI, and Kunihiro WASA. “Shortest Reconfiguration of Colorings Under Kempe Changes.” In: *37th International Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science, STACS 2020, March 10-13, 2020, Montpellier, France*. Ed. by Christophe PAUL and Markus BLÄSER. Vol. 154. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2020, 35:1–35:14. DOI: 10.4230/LIPIcs.STACS.2020.35.

- [20] [Marthe BONAMY](#), Natasha MORRISON, and Alex SCOTT. “Partitioning the vertices of a torus into isomorphic subgraphs.” In: *Journal of Combinatorial Theory, Series A* 174 (2020), p. 105252.
- [21] Valentin BONZOM, Victor NADOR, and [Adrian TANASA](#). “Diagrammatic proof of the large N melonic dominance in the SYK model.” In: *arXiv:1808.10314* (2018).
- [22] Valentin BONZOM, Victor NADOR, and [Adrian TANASA](#). “Diagrammatics of the quartic  $O(N)^3$ -invariant Sachdev-Ye-Kitaev-like tensor model.” In: <https://arxiv.org/abs/1903.01723> (2019).
- [23] Alin BOSTAN, [Mireille BOUSQUET-MÉLOU](#), Manuel KAUSERS, and Stephen MELCZER. “On 3-dimensional lattice walks confined to the positive octant.” In: *Annals of Combinatorics* (Oct. 2016), p. 36. DOI: 10.1007/s00026-016-0328-7.
- [24] Alin BOSTAN, [Mireille BOUSQUET-MÉLOU](#), and Stephen MELCZER. “Counting walks with large steps in an orthant.” In: *J. Eur. Math. Soc. (JEMS)* 6 (2020). URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01802706>.
- [25] [Mireille BOUSQUET-MÉLOU](#). “Square lattice walks avoiding a quadrant.” In: *J. Comb. Theory, Ser. A* 144 (2016), pp. 37–79. DOI: 10.1016/j.jcta.2016.06.010.
- [26] [Mireille BOUSQUET-MÉLOU](#) and Marko PETKOVŠEK. “Linear recurrences with constant coefficients: the multivariate case.” In: *Discrete Math.* 225.1-3 (2000), pp. 51–75. ISSN: 0012-365X.
- [27] [Mireille BOUSQUET-MÉLOU](#) and [Michael WALLNER](#). “More models of walks avoiding a quadrant.” In: *AofA 2020 (Analysis of Algorithms)*. Vol. 159. LIPIcs. 2020.
- [28] Rufus BOWEN. *Equilibrium states and the ergodic theory of Anosov diffeomorphisms*. Lecture Notes in Mathematics, Vol. 470. Springer-Verlag, Berlin-New York, 1975, pp. i+108.
- [29] [Claire CAPDEVIELLE](#), [Colette JOHNEN](#), Petr KUZNETSOV, and [Alessia MILANI](#). “On the uncontended complexity of anonymous agreement.” In: *Distributed Comput.* 30.6 (2017), pp. 459–468. DOI: 10.1007/s00446-017-0297-z.
- [30] Sylvain CARROZZA and [Adrian TANASA](#). “A.  $O(N)$  Random Tensor Models.” In: *Lett Math Phys.* 1531–1559 (2016).
- [31] [Arnaud CASTEIGTS](#), [Ralf KLASING](#), Yessin M NEGGAZ, and Joseph PETERS. “Computing Parameters of Sequence-Based Dynamic Graphs.” In: *Theory of Computing Systems* 63.3 (Apr. 2019), pp. 394–417. DOI: 10.1007/s00224-018-9876-z.
- [32] [Arnaud CASTEIGTS](#), [Ralf KLASING](#), Yessin M. NEGGAZ, and Joseph G. PETERS. “Efficiently Testing T-Interval Connectivity in Dynamic Graphs.” In: *Algorithms and Complexity - 9th International Conference, CIAC 2015, Paris, France, May 20-22, 2015. Proceedings*. Ed. by Vangelis Th. PASCHOS and Peter WIDMAYER. Vol. 9079. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2015, pp. 89–100. DOI: 10.1007/978-3-319-18173-8\_6.
- [33] [Arnaud CASTEIGTS](#), [Yves MÉTIVIER](#), [John Michael ROBSON](#), and [Akka ZEMMARI](#). “Design Patterns in Beeping Algorithms.” In: *20th International Conference on Principles of Distributed Systems, OPODIS 2016, December 13-16, 2016, Madrid, Spain*. Ed. by Panagiota FATOUROU, Ernesto JIMÉNEZ, and Fernando PEDONE. Vol. 70. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2016, 15:1–15:16. DOI: 10.4230/LIPIcs.OPODIS.2016.15.
- [34] [Arnaud CASTEIGTS](#), [Yves MÉTIVIER](#), [John Michael ROBSON](#), and [Akka ZEMMARI](#). “Counting in one-hop beeping networks.” In: *Theor. Comput. Sci.* 780 (2019), pp. 20–28. DOI: 10.1016/j.tcs.2019.02.009.



- [35] Arnaud CASTEIGTS, Yves MÉTIVIER, John Michael ROBSON, and Akka ZEMMARI. “Deterministic Leader Election Takes  $\Theta(D + \log n)$  Bit Rounds.” In: *Algorithmica* 81.5 (2019), pp. 1901–1920. DOI: 10.1007/s00453-018-0517-3.
- [36] Arnaud CASTEIGTS, Joseph PETERS, and Jason SCHOETERS. “Trouver des spanners peu denses dans les cliques temporelles.” In: *ALGOTEL 2019 - 21èmes Rencontres Francophones sur les Aspects Algorithmiques des Télécommunications*. Saint Laurent de la Cabrerisse, France, June 2019. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02117940>.
- [37] Arnaud CASTEIGTS, Joseph G. PETERS, and Jason SCHOETERS. “Temporal Cliques Admit Sparse Spanners.” In: *46th International Colloquium on Automata, Languages, and Programming, ICALP 2019, July 9-12, 2019, Patras, Greece*. Ed. by Christel BAIER, Ioannis CHATZIGIANNAKIS, Paola FLOCCHINI, and Stefano LEONARDI. Vol. 132. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2019, 134:1–134:14. DOI: 10.4230/LIPIcs.ICALP.2019.134.
- [38] Filip COOLS, Michele D’ADDERIO, David JENSEN, and Marta PANIZZUT. “Brill-Noether theory of curves on  $\mathbb{P}^1 \times \mathbb{P}^1$ : tropical and classical approaches.” In: *Algebr. Comb.* 2.3 (2019), pp. 323–341. DOI: 10.5802/alco.47.
- [39] Filip COOLS and Marta PANIZZUT. “The gonality sequence of complete graphs.” In: *Electron. J. Combin.* 24.4 (2017), Paper No. 4.1, 20.
- [40] Robert CORI and Yvan LE BORGNE. “On Computation of Baker and Norine’s Rank on Complete Graphs.” In: *Electron. J. Comb.* 23.1 (2016), P1.31. URL: <http://www.combinatorics.org/ojs/index.php/eljc/article/view/v23i1p31>.
- [41] Michele D’ADDERIO and Yvan LE BORGNE. “The sandpile model on  $K_{m,n}$  and the rank of its configurations.” In: *Sém. Lothar. Combin.* 77 (2018), Art. B77h, 48.
- [42] Henri DERYCKE. “An automaton describing left burnable configurations in the sandpile model on the ladder graph  $\mathbb{Z} \times P_H$ .” In: *International Colloquium on Graph Theory and combinatorics*. 2018.
- [43] Henri DERYCKE. “Combinatoire dans des stabilisations du modèle du tas de sable sur le réseaux carré  $\mathbb{Z}^2$ .” PhD thesis. Université de Bordeaux, 2018.
- [44] Henri DERYCKE and Yvan LE BORGNE. “Restricted Tutte polynomials for some periodic oriented forests on infinite square lattice.” In: *Sém. Lothar. Combin.* 82B (2020), Art. 51, 12.
- [45] Stéphane DEVISMES, David ILCINKAS, and Colette JOHNNEN. “Self-Stabilizing Disconnected Components Detection and Rooted Shortest-Path Tree Maintenance in Polynomial Steps.” In: *20th International Conference on Principles of Distributed Systems, OPODIS 2016, December 13-16, 2016, Madrid, Spain*. Ed. by Panagiota FATOUROU, Ernesto JIMÉNEZ, and Fernando PEDONE. Vol. 70. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2016, 10:1–10:16. ISBN: 978-3-95977-031-6. DOI: 10.4230/LIPIcs.OPODIS.2016.10.
- [46] Stéphane DEVISMES, David ILCINKAS, and Colette JOHNNEN. “Self-Stabilizing Disconnected Components Detection and Rooted Shortest-Path Tree Maintenance in Polynomial Steps.” In: *Discret. Math. Theor. Comput. Sci.* 19.3 (2017). URL: <http://dmtcs.episciences.org/4116>.
- [47] Stéphane DEVISMES, David ILCINKAS, and Colette JOHNNEN. “Silent self-stabilizing scheme for spanning-tree-like constructions.” In: *Proceedings of the 20th International Conference on Distributed Computing and Networking, ICDCN 2019, Bangalore, India, January 04-07, 2019*. Ed. by R. C. HANSDAH, Dilip KRISHNASWAMY, and Nitin VAIDYA. ACM, 2019, pp. 158–167. DOI: 10.1145/3288599.3288607.
- [48] Deepak DHAR. “Theoretical studies of self-organized criticality.” In: *Phys. A* 369.1 (2006), pp. 29–70. ISSN: 0378-4371. DOI: 10.1016/j.physa.2006.04.004.

- [49] Fabien DUFOULON, Janna BURMAN, and Joffroy BEAUQUIER. “Beeping a Deterministic Time-Optimal Leader Election.” In: *32nd International Symposium on Distributed Computing, DISC 2018, New Orleans, LA, USA, October 15-19, 2018*. Ed. by Ulrich SCHMID and Josef WIDDER. Vol. 121. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2018, 20:1–20:17. DOI: 10.4230/LIPIcs.DISC.2018.20.
- [50] Vida DUJMOVIĆ, Louis ESPERET, Cyril GAVOILLE, Gwenaël JORET, Piotr MICEK, and Pat MORIN. “Adjacency Labelling for Planar Graphs (and Beyond).” In: *61st Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science (FOCS)*. Virtual Conference: IEEE Computer Society Press, Nov. 2020.
- [51] Faith ELLEN, Panagiota FATOUROU, Eleftherios KOSMAS, Alessia MILANI, and Corentin TRAVERS. “Universal constructions that ensure disjoint-access parallelism and wait-freedom.” In: *Distributed Comput.* 29.4 (2016), pp. 251–277. DOI: 10.1007/s00446-015-0261-8.
- [52] Klaus-Tycho FÖRSTER, Jochen SEIDEL, and Roger WATTENHOFER. “Deterministic Leader Election in Multi-hop Beeping Networks - (Extended Abstract).” In: *Distributed Computing - 28th International Symposium, DISC 2014, Austin, TX, USA, October 12-15, 2014. Proceedings*. Ed. by Fabian KUHN. Vol. 8784. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2014, pp. 212–226. DOI: 10.1007/978-3-662-45174-8\_15.
- [53] Éric FUSY, Luca LIONNI, and Adrian TANASA. “Combinatorial study of graphs arising from the Sachdev-Ye-Kitaev model.” In: *Eur. J. Comb.* 86 (2020), p. 103066. DOI: 10.1016/j.ejc.2019.103066.
- [54] Seth GILBERT and Calvin C. NEWPORT. “The Computational Power of Beeps.” In: *Distributed Computing - 29th International Symposium, DISC 2015, Tokyo, Japan, October 7-9, 2015, Proceedings*. Ed. by Yoram MOSES. Vol. 9363. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2015, pp. 31–46. DOI: 10.1007/978-3-662-48653-5\_3.
- [55] Christian GLACET, Nicolas HANUSSE, David ILCINKAS, and Colette JOHNEN. “Disconnected Components Detection and Rooted Shortest-Path Tree Maintenance in Networks.” In: *Stabilization, Safety, and Security of Distributed Systems - 16th International Symposium, SSS 2014, Paderborn, Germany, September 28 - October 1, 2014. Proceedings*. Ed. by Pascal FELBER and Vijay K. GARG. Vol. 8756. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2014, pp. 120–134. ISBN: 978-3-319-11763-8. DOI: 10.1007/978-3-319-11764-5\_9.
- [56] Christian GLACET, Nicolas HANUSSE, David ILCINKAS, and Colette JOHNEN. “Disconnected components detection and rooted shortest-path tree maintenance in networks.” In: *J. Parallel Distributed Comput.* 132 (2019), pp. 299–309. DOI: 10.1016/j.jpdc.2019.05.006.
- [57] Branko GRÜNBAUM and G. C. SHEPHARD. *Tilings and patterns*. W. H. Freeman and Company, New York, 1987, pp. xii+700. ISBN: 0-7167-1193-1.
- [58] R. GURAU. “Random Tensors.” In: *Oxford University press* (2016).
- [59] A. GYÁRFÁS. “Problems from the world surrounding perfect graphs.” In: *Proceedings of the International Conference on Combinatorial Analysis and its Applications (Porkrzywna 1985)*. Zastos. Mat. 19, 1987, pp. 413–441.
- [60] Emmanuel JEANDEL and Michael RAO. “An aperiodic set of 11 Wang tiles.” In: (June 2015). arxiv1506.06492. URL: <http://arxiv.org/abs/1506.06492> (visited on 01/22/2016).
- [61] D. KEMPE, J. KLEINBERG, and A. KUMAR. “Connectivity and inference problems for temporal networks.” In: *Proceedings of 32nd ACM Symposium on Theory of Computing (STOC)*. Portland, USA: ACM, 2000, pp. 504–513.

- [62] Viktor KISS and Lilla TÓTHMÉRÉSZ. “Chip-firing games on Eulerian digraphs and NP-hardness of computing the rank of a divisor on a graph.” In: *Discrete Appl. Math.* 193 (2015), pp. 48–56. ISSN: 0166-218X. DOI: 10.1016/j.dam.2015.04.030.
- [63] Caroline J. KLIVANS. *The mathematics of chip-firing*. Discrete Mathematics and its Applications (Boca Raton). CRC Press, Boca Raton, FL, 2019, pp. xii+295. ISBN: 978-1-138-63409-1.
- [64] Donald E. KNUTH. *The art of computer programming. Vol. 1: Fundamental algorithms*. Second printing. Addison-Wesley Publishing Co., Reading, Mass.-London-Don Mills, Ont, 1969, pp. xxi+634.
- [65] Kishore KOTHAPALLI, Christian SCHEIDELER, Melih ONUS, and Christian SCHINDELHAUER. “Distributed coloring in  $O(\frac{n}{\log n})$  bit rounds.” In: *20th International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2006), Proceedings, 25-29 April 2006, Rhodes Island, Greece*. 2006. DOI: 10.1109/IPDPS.2006.1639281.
- [66] Sébastien LABBÉ. “A Markov partition for Jeandel-Rao aperiodic Wang tilings.” In: (Mar. 2019). arxiv1903.06137, 26 p. URL: <http://arxiv.org/abs/1903.06137> (visited on 03/15/2019).
- [67] Sébastien LABBÉ. “A self-similar aperiodic set of 19 Wang tiles.” In: *Geometriae Dedicata* 201.1 (Aug. 2019), pp. 81–109. DOI: 10.1007/s10711-018-0384-8.
- [68] Sébastien LABBÉ. “Induction of  $\mathbb{Z}^2$ -actions and of partitions of the 2-torus.” In: (June 2019). arxiv1906.01104, 36 p. URL: <http://arxiv.org/abs/1906.01104> (visited on 06/05/2019).
- [69] Sébastien LABBÉ. *Optional SageMath Package slabbe (Version 0.5.1)*. <https://pypi.python.org/pypi/slabbe/>. Optional Sage Package. 2019.
- [70] Sébastien LABBÉ. “Substitutive structure of Jeandel-Rao aperiodic tilings.” In: *Discrete and Computational Geometry* (Dec. 2019). DOI: 10.1007/s00454-019-00153-3.
- [71] Yvan LE BORGNE and Henri DERYCKE. “A definition and counting of biperiodic recurrent configurations in the sandpile model on square lattice.” In: *17e journées montoises d’informatique théorique*. Bordeaux, France, Sept. 2018. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02199638>.
- [72] Yves MÉTIVIER, John Michael ROBSON, and Akka ZEMMARI. “Analysis of fully distributed splitting and naming probabilistic procedures and applications.” In: *Theor. Comput. Sci.* 584 (2015), pp. 115–130. DOI: 10.1016/j.tcs.2015.02.016.
- [73] Yves MÉTIVIER, John Michael ROBSON, and Akka ZEMMARI. “A distributed enumeration algorithm and applications to all pairs shortest paths, diameter.” In: *Inf. Comput.* 247 (2016), pp. 141–151. DOI: 10.1016/j.ic.2015.12.004.
- [74] Yves MÉTIVIER, John Michael ROBSON, and Akka ZEMMARI. “Randomised distributed MIS and colouring algorithms for rings with oriented edges in  $O(\sqrt{\log n})$  bit rounds.” In: *Inf. Comput.* 251 (2016), pp. 208–214. DOI: 10.1016/j.ic.2016.09.006.
- [75] Marston MORSE and Gustav A. HEDLUND. “Symbolic dynamics II. Sturmian trajectories.” In: *Amer. J. Math.* 62 (1940), pp. 1–42. ISSN: 0002-9327. DOI: 10.2307/2371431.
- [76] G. RAUZY. “Nombres algébriques et substitutions.” In: *Bull. Soc. Math. France* 110.2 (1982), pp. 147–178. ISSN: 0037-9484. URL: [http://www.numdam.org/item?id=BSMF\\_1982\\_\\_110\\_\\_147\\_0](http://www.numdam.org/item?id=BSMF_1982__110__147_0).
- [77] Raphael M. ROBINSON. “Undecidability and nonperiodicity for tilings of the plane.” In: *Invent. Math.* 12 (1971), pp. 177–209. ISSN: 0020-9910. URL: <https://doi.org/10.1007/BF01418780>.
- [78] Alex SCOTT, Peter JEAUVONS, and Lei XU. “Feedback from nature: an optimal distributed algorithm for maximal independent set selection.” In: *ACM Symposium on Principles of Distributed Computing, PODC '13, Montreal, QC, Canada, July 22-24, 2013*. Ed. by Panagiota FATOUROU and Gadi TAUBENFELD. ACM, 2013, pp. 147–156. DOI: 10.1145/2484239.2484247.

- [79] D. SHECHTMAN, I. BLECH, D. GRATIAS, and J. W. CAHN. “Metallic Phase with Long-Range Orientational Order and No Translational Symmetry.” In: *Phys. Rev. Lett.* 53 (20 Nov. 1984), pp. 1951–1953. DOI: 10.1103/PhysRevLett.53.1951.
- [80] Ja. G. SINAÏ. “Markov partitions and U-diffeomorphisms.” In: *Funkcional. Anal. i Priložen* 2.1 (1968), pp. 64–89. ISSN: 0374-1990.
- [81] Hao WANG. “Proving Theorems by Pattern Recognition — II.” en. In: *Bell System Technical Journal* 40.1 (Jan. 1961), pp. 1–41. ISSN: 1538-7305. DOI: 10.1002/j.1538-7305.1961.tb03975.x.
- [82] Alexander ZVONKINE. “Matrix integrals and map enumeration: An accessible introduction.” In: *Mathematical and Computer Modelling* (1997).

## 2 PROJET : INTRODUCTION

Dans le nouvel organigramme du LaBRI, l'équipe CombAlgo va devenir le Département CombAlgo, et les trois thèmes deviendront trois équipes de recherche :

- Algorithmique distribuée
- Combinatoire et interactions (changement de dénomination)
- Graphes et optimisation

### Projet du département CombAlgo

Ces dernières années, la cohésion de l'équipe CombAlgo a été renforcée par différentes initiatives (réunions d'équipe avec exposés, moments de convivialité, organisation de nombreux groupes de travail avec orateurs originaires de différents thèmes); le rôle central des groupes de travail thématiques « algorithmique distribuée », « combinatoire énumérative et algébrique », et « graphes et optimisation » qui tout en étant ouverts à tous, révèlent des centres d'intérêts relativement disjoints, font qu'il nous a semblé opportun de préserver la division « administrative » actuelle, tout en renouvelant les thèmes de recherche de chacune de ses composantes.

L'équipe actuelle a identifié plusieurs domaines de recherche qu'elle souhaite approfondir lors des années à venir; ce seront donc des thèmes naturellement transversaux aux trois équipes qui composeront le département CombAlgo.

■ CombAlgo souhaite se renforcer en **informatique quantique**. Les compétences de CombAlgo dans ce domaine sont encore modestes : des cours sont dispensés par trois de ses membres (C. Gavaille, Y. Le Borgne et A. Tanasa), à la fois à l'université de Bordeaux et à l'ENSEIRB, et une thèse y a été soutenue (G. Kachigar). Un groupe de travail tout récent (Y. Le Borgne et S. Dartois) organise cette activité au sein du laboratoire, notamment avec certains membres de MF; pour l'instant ce groupe de travail a principalement cherché à expliquer les fondements théoriques de l'informatique quantique et les algorithmes quantiques historiques.

Le futur département CombAlgo entend intensifier ses efforts dans ce domaine, principalement dans l'algorithmique quantique qui consiste à mettre au point et analyser des algorithmes utilisant des ressources quantiques, les fameux qubits et portes quantiques.

Les principales questions que CombAlgo souhaite investir sont très ouvertes : comment utiliser les ressources quantiques en algorithmique distribuée ? Peut-on utiliser des algorithmes quantiques pour calculer des quantités importantes de la combinatoire ? Peut-on définir des analogues quantiques pertinents aux objets combinatoires ? Il

existe déjà, en effet, des analogues aux marches aléatoires et au nombre chromatique.

L'informatique quantique apporte de nouveaux outils plus puissants que les outils classiques, non pas de manière générique, mais plutôt dans des cas particuliers. Elle repose sur les propriétés de superposition et intrication des particules physiques, permettant de stocker et manipuler un nombre exponentiel d'états sur un nombre linéaire de qubits. Il est tentant de faire le parallèle avec les séries génératrices omniprésentes en combinatoire, qui sont utilisées également pour manipuler sous la forme d'une série formelle tous les états possibles d'une classe combinatoire. L'équipe Combinatoire et Interactions souhaite mieux comprendre si cette analogie peut permettre à ces disciplines de se fertiliser l'une l'autre : est-il possible d'utiliser les séries génératrices pour analyser des algorithmes quantiques, comme ça a été le cas pour les algorithmes classiques ? en retour, existe-t-il des algorithmes quantiques permettant de dénombrer efficacement certaines structures combinatoires ?

En algorithmique distribuée, la question fondamentale est la suivante : étant donné un groupe de processeurs dotés d'une certaine puissance de calcul individuelle, liés par un certain type de réseau de communication, quelles tâches peuvent être réalisées par ce réseau ? (communication, calcul, changement d'état, élection, transmission sécurisée d'information, etc.). L'informatique quantique change tous les paradigmes en cela qu'elle modifie la puissance de calcul des nœuds, qu'elle permet des communications différentes (par exemple, des communications plus sûres et plus performantes via la téléportation), et qu'elle permet des corrélations non-locales grâce à l'intrication. Il convient donc de réfléchir à ces aspects : comment utiliser l'information quantique en algorithmique distribuée ? et dans quelle mesure améliore-t-elle les performances des algorithmes classiques ? La thèse de G. Kachigar allait dans cette direction.

■ Le deuxième thème sur lequel le département CombAlgo souhaite se renforcer concerne les **méthodes de certification/vérification assistées par ordinateur**, appliquées notamment à l'algorithmique distribuée, mais aussi à divers objets combinatoires, dont les graphes. L'objectif est de développer et d'utiliser des outils de méthodes formelles pour s'assurer de la correction (à la conception et/ou à l'exécution) de diverses propriétés dans ces domaines de recherche du département CombAlgo. Un premier axe concerne la vérification, automatique, de diverses propriétés concernant l'algorithmique répartie, en particulier liées à des aspects de tolérance aux pannes et de robustesse. Cette activité est entre autres formalisée par une ANR à laquelle participent Alessia Milani et Corentin Travers et des membres du département MF, ainsi que par l'organisation de divers événements internationaux sur ce sujet. Dans un cadre pour l'instant moins formel, elle se décline également en théorie des graphes pour la construction de contre-exemples ou l'étude exhaustive de cas simples, notamment dans des travaux de Marthe Bonamy, František Kardoš et Jonathan Narboni. Le deuxième axe, complémentaire du premier, concerne la certification à l'aide d'assistants de preuve, en l'occurrence Coq. Cet axe est plus récent au LaBRI en ce qui concerne le département CombAlgo. Il s'appuie sur un groupe de travail Coq co-animé par David Ilcinkas et Jérôme Leroux (ce dernier étant membre du département MF) et concerne divers membres de toutes les équipes du futur département CombAlgo (Arnaud Casteigts, Philippe Duchon, Yvan Le Borgne, Frédéric Mazoit, Jonathan Narboni). Une collaboration avec des collègues de Grenoble sur la certification en algorithmique distribuée est notamment en cours (David Ilcinkas et Frédéric Mazoit).

Nous poursuivons cette section avec une analyse SWOT de CombAlgo. Nous présenterons le projet des futures équipes ensuite.

### 3 Analyse SWOT

**Strengths.** Équipe dynamique, forte production scientifique, forte animation scientifique, capacité à s'appropriier de nouvelles thématiques de recherche et à lancer de nouveaux groupes de travail, de réflexion.



**Weaknesses.** Difficulté à recruter des doctorants (dont les débouchés académiques se sont largement taris). Par ailleurs, beaucoup de financements actuels sont dirigés vers des sujets d'actualité à forte connotation applicative/industrielle.

**Opportunities.** Développement au niveau international de champs de recherche proches des compétences en développement des membres de CombAlgo : informatique quantique, algorithmique pour le Big Data, pour l'intelligence artificielle (notamment : étude des graphes sous jacents aux réseaux de neurones), pour les graphes dynamiques (IOT, flottes de drones, etc.).

**Threats.** Peu de possibilités pour recruter de nouveaux membres permanents et non permanents (risque de déclin); difficulté de tisser des liens avec le monde industriel; l'approche par projet, y compris au niveau de l'université, à tendance à sous doter la partie de l'équipe tournée vers la recherche fondamentale, indépendamment de ses résultats et de sa visibilité internationale.

## 4 Structuration, effectifs et orientations scientifiques

Les effectifs de ces trois équipes seront à peu près les mêmes que ceux des thèmes actuels. Il est à noter que trois membres du département ont choisi d'être membres des deux futures équipes Algorithmique distribuée et Graphes et optimisation.

### 4.1 Équipe Algorithmique Distribuée

Le spectre des travaux de la future équipe AlgoDist couvre des aspects essentiellement théoriques du domaine mais des ouvertures vers des aspects pratiques sont également présentes. Pour les prochaines années, les membres d'AlgoDist ont pour projet d'investir les thématiques suivantes :

- Algorithmes et modèles pour les réseaux à forte dynamique : il s'agira de concevoir et d'analyser des algorithmes pour des graphes capturant la mobilité et l'instabilité des réseaux actuels (réseaux de drones, IoT, ...). Ces algorithmes manipuleront des objets concurrents et devront être tolérant aux pannes et autostabilisants.
- Certification et vérification d'algorithmes distribués : dans le cadre d'un projet commun le département CombAlgo, des membres de la nouvelle équipe investiront la preuve, la vérification et la certification des algorithmes distribués. Cela se fera essentiellement en Coq mais d'autres outils pourront être considérés. Voir le projet correspondant du département pour plus de détails.
- Dans le cadre d'un projet commun le département CombAlgo, des membres de la future équipe souhaitent se perfectionner dans la thématique de l'informatique quantique, et mieux comprendre ce que ce changement de paradigme, s'il a vraiment lieu un jour, pourrait impliquer pour les problématiques propres à l'algorithmique distribuée. Par exemple, comment utiliser des ressources quantiques pour le problème de l'élection ? ou comment partitionner (ou colorier) encore plus rapidement un réseaux s'il l'on dispose de ressources et de communications quantiques ?

• Des membres de l'équipe s'intéresseront à de nouvelles applications, par exemple, en lien avec de nouvelles technologies telles que les réseaux de capteurs intelligents, l'apprentissage distribué ou encore la blockchain. Les nouveaux usages induisent également de nouvelles problématiques liées à la recherche d'itinéraires multi-critères par exemple. Pour toutes ces thématiques, de nouveaux algorithmes et de nouveaux modèles sont à définir et à étudier.

## 4.2 Équipe Combinatoire et interactions

Les thématiques de recherche de la nouvelle équipe Combinatoire et interactions sont naturellement héritées du thème Combinatoire Énumérative et Algébrique, avec des évolutions qui reflètent les centres d'intérêt des membres actuels et les opportunités offertes par l'environnement du LaBRI. Nous décrivons ici d'abord des projets transverses au département ou au LaBRI, puis quelques projets internes à l'équipe.

• Axe transverse sur les **preuves assistées par ordinateur** : il n'est pas rare en combinatoire que des preuves de théorèmes, ou des constructions (de bijections, de transformations), s'appuient sur une étude d'un nombre important de cas. Des résultats significatifs ont été obtenus (sur les questions de pavages, par exemple) par exploration informatique de grands nombres de cas, et la pérennisation des logiciels développés (diffusion de paquetages pour le logiciel de calcul formel SageMath) est un enjeu pour l'équipe. Dans une direction plus formelle et plus exploratoire, nous espérons monter en compétences dans l'utilisation de l'assistant de preuves Coq en vue de produire des preuves formelles de résultats pré-existants de combinatoire. Cette montée en compétences pourra s'appuyer sur l'expertise présente dans le département MF, avec lequel existe déjà un groupe de travail commun autour de Coq.

• Le projet du département CombAlgo relatif à l'**informatique quantique** comporte une partie importante directement liée à l'équipe Combinatoire et interactions. Par ailleurs, d'autres aspects, liés à la fiabilité et au passage à l'échelle des ordinateurs quantiques notamment (étudiés au niveau international par un combinatoriste, Gil Kalai) font également partie des points d'intérêt de l'équipe. Les différentes spécialités des membres de l'équipe (calcul formel, physique, probabilités) sont tout à fait adaptées à ce projet.

Parmi les thématiques qui se situent plus au coeur des compétences et centres d'intérêt classiques de l'équipe, on peut identifier trois projets distincts. Ces thématiques alimentent un groupe de travail hebdomadaire qui réunit l'ensemble des membres de l'équipe.

• Le projet de recherche en **Physique combinatoire** s'articule dans plusieurs directions : les modèles de tenseurs aléatoires, les cartes 3D et leurs liens avec la géométrie discrète et la gravité quantique, les cartes 2D et leurs liens avec différents modèles de physique statistique, les tas de sable et certains systèmes de particules (PASEP).

Pour développer un point saillant, les cartes 3D sont une généralisation naturelle des cartes combinatoires classiques, qui sont naturellement associées aux modèles de tenseurs aléatoires. Notre projet porte sur l'étude des propriétés combinatoires de ces modèles, qui jouent un rôle crucial en gravité quantique.

• Les projets en **combinatoire algébrique** de notre équipe s'équilibrent entre des thématiques sur lesquelles nous avons déjà travaillé et obtenu des résultats, et de nouvelles orientations. Nous étudions des espaces de polynômes et leurs liens avec les intervalles de certains treillis, mais aussi diverses familles d'invariants polynomiaux d'objets combinatoires.

Un problème particulièrement intéressant est de caractériser les objets qui peuvent être distingués par ces invariants ; le cas emblématique de la distinguabilité des arbres par la fonction chromatique symétrique de Stanley est par exemple toujours ouvert.

- Développer les interactions entre la combinatoire et les **systèmes dynamiques** fait partie des projets des prochaines années. En particulier, on désire caractériser les partitions de Markov associées à des systèmes dynamiques multidimensionnels comme par exemples les pavages apériodiques.

### 4.3 Équipe Graphes et optimisation

L'équipe Graphes et optimisation, succédant naturellement au thème Graphes et Optimisation, s'intéresse principalement à l'extraction de structures intéressantes dans des graphes. On cherche notamment à garantir que tout graphe d'une certaine classe peut être partitionné ou décomposé<sup>2</sup> en un petit nombre de structures élémentaires. L'exemple central en est celui de la coloration : dans la version traditionnelle, il s'agit de partitionner les sommets du graphe en un petit nombre d'ensembles indépendants (un ensemble de sommets n'étant reliés par aucune arête).

- L'équipe est reconnue mondialement pour son expertise dans la méthode de déchargement, technique de double comptage qui est célèbre pour son rôle crucial dans toute preuve du Théorème des Quatre Couleurs. Forts de cette compétence, nous comptons continuer à résoudre des questions structurelles importantes notamment dans les graphes planaires ou plus généralement définis par des contraintes géométriques – direction que nous souhaitons explorer davantage. Ceci se déclinera également sous la forme d'un développement de méthodes de déchargement plus puissantes, par exemple un renforcement de la méthode du potentiel ou une vérification automatisée.

- Pour développer des algorithmes efficaces, il faut avoir une compréhension fine de la structure sous-jacente. Notre équipe est familière avec l'extraction de structures pertinentes pour établir une propriété de graphes, mais exploite encore relativement peu cette facilité afin de mettre au point des algorithmes rapides. Il s'agit d'une opportunité à saisir, tout particulièrement dans le cadre de l'algorithmique paramétrée, où la frontière entre étude structurelle et obtention de petits noyaux est extraordinairement floue. Nous avons à ce titre procédé au recrutement d'un Maître de Conférences sur ce profil pour la rentrée 2020.

- L'équipe est l'un des pôles mondiaux en reconfiguration combinatoire, qui concerne l'étude tant structurelle qu'algorithmique de l'espace des solutions que génère un problème donné. Les dernières années ont vu une progression rapide en popularité de ce type de questions, et nous comptons renforcer et enrichir ces recherches : en obtenant des résultats attendus en physique statistique, en utilisant les techniques de reconfiguration pour énumérer efficacement des solutions, et en résolvant la dernière « grande » question de coloration en reconfiguration, posée par Vizing en 1965.

- Les graphes peuvent s'enrichir de poids ou flèches sur les arêtes, pour répondre à différents besoins de représentation. L'équipe s'intéresse depuis longtemps aux graphes orientés ou signés. Tout en maintenant la recherche sur ces objets, nous souhaitons étendre l'étude systématique des liens entre divers invariants/propriétés locaux et globaux aux graphes temporels, où les arêtes ne sont présentes que sur certains intervalles de temps. Des questions simples algorithmiquement dans des graphes nus deviennent souvent difficiles dans les graphes temporels, mais la frontière exacte demeure trop floue.

---

2. la distinction se fait selon si le découpage est effectué suivant les sommets ou suivant les arêtes, respectivement





# 2

## Image et Son

### 1 Bilan

#### 1.1 Présentation de l'équipe

##### 1.1.1 Introduction

L'équipe Image et Son mène des recherches en acquisition, traitement, analyse, modélisation, synthèse et interaction de médias audiovisuels. Le spectre des données manipulées est très large : image 2D et 3D, vidéo, parole, musique, données 3D, etc. Elle s'intéresse à des applications variées dans les domaines tels que le médical, l'éducation ou l'industrie.

Elle se compose de trois thèmes : Traitement et Analyse d'Image (TAI), Acquisition et Reconstruction (AR), et Son et Interaction (SI).

##### 1.1.2 Effectifs et moyens

Le tableau suivant présente les effectifs par catégorie au 30 Juin de chaque année.

Tableau 2.1 : Chercheurs et E/C de l'équipe Image et Son

	2015	2016	2017	2018	2019	2020
MCF	15	15	15	15	17	17
CR	9	8	8	5	5	3
PR	9	9	10	10	10	9
DR	0	0	0	1	1	3
Post-doctorant(e)s	2	1	3	2	3	2
Doctorant(e)s	22	24	27	26	30	31
Autres, dont émérites	3	4	2	2	2	2

L'équipe Image et Son a actuellement 5 MCF ou CR habilités.

Plusieurs recrutements et départs sont à constater sur la période :

- Recrutement de V. Lepetit en tant que professeur en 2016, qui a rejoint l'école des Ponts en 2019
- Recrutement de M. Clément et L. Hofer en tant que MCF.
- départ de I. Ihrke et A. Brock, CR Inria
- départ de F.X Féron, CR CNRS
- Promotion DR Inria de F. Lotte et M. Hachet
- Promotion DR CNRS de P. Coupé

Le tableau suivant donne les contrats de l'équipe (il est rappelé dans l'annexe 4).

Tableau 2.2 : Contrats de l'équipe Image et Son, en k€

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total
International, dont Europe	475	1563	135	0	0	0	2173
National	53	434	156	395	594	13	1645
Régional	46	0	113	63	0	0	222
Industrie	202	8	556	404	138	0	1308

Montant total des contrats pour l'équipe Image et Son : **5348 k€**.

### 1.1.3 Politique scientifique

Au cours de la période évaluée, l'équipe a connu trois responsables d'équipe différents (voir section 1.4.1). Malgré cela, l'équipe a maintenu une continuité de la politique scientifique.

L'équipe Image et Son est une grosse équipe avec différents domaines de recherche. Elle est composée de membres très actifs avec une forte production scientifique et un lien important avec le monde industriel. Ces nombreuses collaborations pluri-disciplinaires sont un réel atout de l'équipe, et ce dans différents domaines : médical, sciences humaines et sociales, sciences de l'éducation, sports...

En complément de publications dans des conférences et journaux majeurs des domaines concernés, l'équipe est attachée à la valorisation (collaborations et transferts industriels), la diffusion (logiciels et plateformes) et la vulgarisation de ses travaux (fête de la science, media grand public).

## 1.2 Présentation de l'écosystème recherche de l'équipe

Les membres de l'équipe Image et Son sont impliqués fortement dans l'écosystème de recherche. Localement, durant la période d'évaluation, Jean-Philippe Domenger était directeur du LaBRI, Achille Braquelaire était vice-président de l'Université, Pascal Desbarats directeur adjoint de l'école doctorale mathématique-informatique.

L'équipe a de nombreuses collaborations avec des laboratoires locaux (LP2N, IMB, IMS, Bordeaux Neurocampus, Laboratoire Handicap, Cognition, Santé, Faculté de Sports, etc.), nationaux (Inria Rhones Alpes, L3i, IRIT, MAP5, IGN, etc.) et internationaux (Montreal Neurological Institute, Universidad Politécnica de Valencia, University

of Cambridge, IPN Mexique, Université de Kyoto, Ulster University , etc. ). De part ses thématiques, l'équipe a également de nombreuses collaborations industrielles au niveau local (Lectra, i2s, SIG-Image, EA4T, Geosat, LUCINE, Thalès DMS, Inflexsys, etc), national (Diotasoft, OCE PRINT LOGIC TECHNOLOGIES SA, ULLO, BERGER LEVRAULT, Composite Films, etc.) et international (SIEMENS, Intrasoftware International SA, Mathworks). Ces collaborations sont, en particulier, formalisées à travers des thèses CIFRE, des ANR ou encore des projets européens.

## 1.3 Produits et activités de la recherche

### 1.3.1 Bilan scientifique

L'équipe est structurée en trois thèmes, ceux-ci ayant eu relativement peu d'interactions entre eux sur la période évaluée, nous déclinons le bilan de l'équipe par thème.

**Thème Acquisition et Rendu** Les travaux du thème "Acquisition et Rendu" sont structurés en quatre grands axes de recherche couvrant le large éventail de compétences de ses membres.

**Analyse et simulation** Le premier axe, analyse et simulation, regroupe les travaux visant à améliorer la compréhension des phénomènes résultant des interactions entre la lumière, la forme et la matière du point de vue d'un observateur. Durant cette période, nous nous sommes particulièrement concentrés sur la fonction de réflectance (Bidirectional Reflectance Distribution Function) à travers l'analyse statistique de données mesurées, ainsi que l'influence de leur paramétrisation, ou encore l'étude numérique des principaux modèles de matériaux multi-couches. Nous avons en outre proposé de nouveaux modèles de matériaux pour mieux capturer certaines apparences, comme celle des matériaux brossés, et certains effets optiques comme l'iridescence ou les reflets brumeux. Par ailleurs, nous nous sommes intéressés à la perception visuelle de ces matériaux et à leur impact sur la perception de la forme.

**Acquisition et restitution** Le deuxième axe, acquisition et restitution, vise la convergence des systèmes optiques et numériques pour faciliter l'interaction entre le monde réel et virtuel. Du point de vue de l'acquisition, dans un cadre archéologique, nous avons développé la "wedge camera", un système optique innovant basé sur un guide d'onde, autorisant la capture d'images dans les milieux confinés, et un nouvel algorithme d'estimation de la profondeur à partir du flou dans une pile d'images permettant d'atteindre une précision de l'ordre du micromètre. Du point de vue de la restitution, nous avons travaillé sur différents dispositifs d'affichage et de réalité augmentée spatiale sans équipement de l'utilisateur : une vitrine augmentée multi-utilisateurs utilisant la rétro-réflexion, un banc d'expérimentation optique augmenté pour l'enseignement, un écran sphérique tactile et un écran transparent auto-stéréoscopique.

**Rendu, visualisation et illustration** Le troisième axe, rendu, visualisation et illustration, inclut les méthodes et outils développés pour améliorer la lisibilité dans la visualisation, que cela passe par le rendu photoréaliste ou expressif. Nous nous sommes notamment intéressés à l'échantillonnage préférentiel des sources de lumière réelles 4D, à l'échantillonnage de Monte-Carlo efficace sur carte graphique et aux stratégies d'échantillonnage multiple entre matériaux et éclairage. Dans le cadre du rendu temps-réel, nous avons également mis au point un algorithme de génération automatique de niveaux de détails géométriques, compatible avec la tessellation matérielle. Enfin, nous avons exploré de nouvelles techniques de rendu expressif aussi bien pour la visualisation de surfaces transparentes, en mettant en avant leur forme, que pour la stylisation du mouvement d'objets rigides issues de simulations 2D, ou pour le rendu aquarelle de scènes 3D avec contrôle artistique direct.

**Modélisation et édition** Le quatrième axe, modélisation et édition, regroupe les outils et algorithmes que nous avons développés pour la création et l'édition de la géométrie 3D ainsi que celles de leur apparence. Nous avons notamment proposé une méthode de décomposition d'une MatCap (image sphérique encodant matériaux et éclairage) permettant sa manipulation dynamique. Nous avons également mis au point deux outils d'édition locale de la forme en espace image : le premier pour des images de synthèse enrichies d'informations supplémentaires (normales, albédo) au moment du compositing, et le second pour des images naturelles à l'aide d'un champ de déformation exagérant les motifs d'orientation qui sont fortement corrélés à la courbure de la forme 3D sous-jacente. Par ailleurs, nous avons proposé diverses méthodes de traitement de la géométrie que ce soit pour la génération procédurale de détails à la surface d'un objet 3D, le calcul robuste d'opérations booléennes entre deux maillages, la reconstruction de surfaces à partir d'un nuage de points sous contrainte de développabilité ou issues de simulation de fluides. Enfin, nous avons développé un nouvel algorithme ultra rapide de calcul de cartes de transport entre deux distributions 2D discrétisées sur une grille uniforme, avec de nombreuses applications en échantillonnage, remaillage, interpolation et design de sources d'éclairage.

**Thème Son et Interaction** Les travaux du thème Son et Interaction sont structurés en 3 axes

**Modélisation du Son et de la Musique** Cet axe s'intéresse à la modélisation du son, de la musique et du temps dans le but d'aider à la création artistique et au développement de systèmes de classification audio ou de recommandation musicale sur de grandes bases de données de musique.

En ce qui concerne la création artistique, nous concevons des outils principalement pour la musique et les arts du spectacle. Nous avons notamment proposé de nouveaux paradigmes temporels pour définir des scénarios interactifs avec des branchements conditionnels permettant de piloter des processus multimédias avec des modèles formels (réseaux de Petri, NTCC, les langues réactives). Ce travail a été réalisé dans le cadre des projets ANR INEDIT et OSSIA et ont été ajouté à la plateforme logicielle SCRIME. Ce nouveau modèle de spécification du temps est complémentaire de celui communément utilisé en musique. Il s'est avéré très utile dans de nombreuses situations où il est nécessaire de combiner l'écriture et l'interaction. Les perspectives de ce travail sont nombreuses : modélisation de l'analyse musicologique cognitive (avec Jean-Marc Chouvel, IREMUS Paris Sorbonne), étude de l'expressivité des systèmes interactifs (avec Bernard Serpette, Inria Bordeaux Sud-Ouest), en combinant ce modèle avec le paradigme de la cartographie (avec Marcelo Wanderley, McGill University). Les applications s'étendent du jeux vidéo à la muséographie.

**Traitement de la parole** L'axe traitement de la parole s'intéresse à l'expressivité dans la voix à travers plusieurs thématiques :

- caractérisation des styles pour la parole et les voix chantées (ANR DIADEMS)
- caractérisation et reconnaissance des affects sociaux dans plusieurs langues (collaboration avec l'Université de Bordeaux Montaigne et l'Université de Kyoto)
- transcription automatique de la parole en français (collaboration industrielle avec la start-up EA4T)
- caractérisation de l'état du locuteur. Ce sujet émergent est le point de départ d'une collaboration avec l'hôpital de Bordeaux se focalisant sur la détection de la somnolence par la voix. Un doctorat et deux projets (projet régional ISOSA et Labex Brain project Somvoice) sont en cours sur ce sujet.

**Interaction** Il y a quatre ans, l'objectif du groupe Interaction était d'explorer de nouvelles formes d'interaction basées notamment sur des interactions tangibles, la réalité virtuelle, la réalité augmentée ou les interfaces cerveau-ordinateur. Les principales réalisations dans ce domaine sont :

- Une exploration de l'interaction avec la réalité augmentée spatiale tant au niveau fondamental que technique. L'exploration de nouveaux usages et applications basés sur ce nouveau média interactif a également été conduite, notamment dans le domaine de l'éducation et du bien-être.
- Une nouvelle génération d'interfaces cerveau-ordinateur (BCI) qui applique les principes de l'apprentissage humain pour garantir que les utilisateurs puissent acquérir un meilleur contrôle. Le processus d'apprentissage en BCI a été étudié en détail, ce qui a permis de mieux comprendre qui pouvait utiliser une BCI et pourquoi et de proposer de nouveaux feedbacks pour améliorer l'apprentissage.
- La prise en compte de la reconnaissance automatique des gestes de Soundpainting pour la génération de sons de musique électronique et pour le contrôle d'un essaim de drones.
- L'étude d'interfaces à forme changeante, d'abord avec un anneau de mesure à forme changeante notifiant la disponibilité d'énergie renouvelable, ensuite, pour un cockpit tangible avec un écran tactile à forme changeante pour des interactions sans vision.
- Un aperçu plus approfondi du paradigme de l'interaction tangible grâce à : une fenêtre interactive tangible pour favoriser la relation à distance pour les personnes âgées, la conception d'outils tangibles pour les visites personnalisées dans les musées, y compris des outils pour les professionnels, et, l'introduction d'un nouveau concept, l'IoTT (l'Internet des choses tangibles) qui amène ses propres défis et opportunités.

**Thème Traitement et Analyse d'Images** Les recherches du thème TAI abordent le contrôle de la chaîne complète de traitement d'image du prétraitement bas niveau des images à l'analyse haut niveau de leur contenu. Nous développons de nouvelles méthodes pour le traitement et l'analyse d'image, en tenant compte des spécificités de la modalité considérée. La richesse de nos collaborations interdisciplinaires avec des archéologues (ERC GESHAEM), médecins (ANR DeepvolBrain, Projet Région ICE), bio-physiciens (Projet RoBioViz, CNRS « Osez Interdisciplinarité »), sportifs (Projet Région CRISP), artistes et le secteur culturel (ANR PostProdLEAP, ANR PRCI MexCulture), nous a permis de travailler sur plusieurs modalités d'imagerie. Ainsi, nous avons développé des méthodes pour les images et les vidéos naturelles, les images médicales et biologiques, ainsi que les images laser.

La révolution liée à l'intelligence artificielle en traitement de l'image a grandement modifié les techniques développées au sein de notre thème. Au cours de ces cinq dernières années, les travaux des membres du thème TAI ont progressivement convergé vers l'apprentissage profond. Ces travaux ont donné lieu à des contributions scientifiques dans ce domaine : l'augmentation de données, le traitement de données massives, l'apprentissage dans un contexte où peu de données sont labellisées, ou encore l'apprentissage collaboratif.

**Reconstruction** Des résultats importants dans le thème TAI ont été obtenus dans la reconstruction et le prétraitement :

- reconstruction des papyrus numérisés (ERC GESHAEM) par réseaux jumeaux d'apprentissage profond aidant les papyrologues
- colorisation de photos et vidéos en noir et blanc permettent d'obtenir un rendu réaliste (Thèse ClustEX CPU, ANR PostProdLEAP). Celles-ci ont été intégrées dans le logiciel Colociel.
- fusion d'images multi-spectrales et LiDAR (European RISE project NoMADS et collaboration avec l'IGN).

**Segmentation** Le thème TAI a une expertise reconnue dans le domaine de la segmentation. Il a ainsi proposé

- de nouvelles méthodes hybrides combinant des critères topologiques et géométriques pour une segmentation 3D précise des organes tubulaires. En collaboration avec le service de pneumologie du CHU de Bordeaux, ces travaux sur la segmentation de la paroi bronchique à partir d'IRM ont été brevetés et font l'objet d'un transfert industriel (Intrasense). Ces outils sont distribués sous la forme d'une bibliothèque open source.

- un nouveau paradigme d'apprentissage collaboratif basé sur grand nombre de réseaux profonds (ANR JCJC DeepvolBrain). Appliquée aux IRM cérébrales, cette méthode a permis la segmentation des structures du cerveau avec une précision supérieure aux méthodes existantes. Ce travail a été réalisé en collaboration avec les radiologues du CHU de Bordeaux et les neuroscientifiques de l'INCLIA (UMR 5287). Cette dernière avancée est actuellement intégrée dans la plate-forme Web volBrain (<http://volbrain.upv.es>) et a fait l'objet d'un transfert industriel (Artificial Insight).
- le concept de patch de supervoxels afin d'extraire de manière efficace les visages dans des photos (Thèse ClustEX CPU).
- la segmentation de nuages de point LiDAR basée histogrammes et par apprentissage profond.

**Analyse d'image** L'étape d'analyse utilise des algorithmes de classification et des méthodes d'extraction de connaissances. Le thème travaille sur différents types de données :

- images de document. Développement de la plate-forme logicielle DocCreator. Celle-ci permet la génération d'images de document synthétiques en grande quantité. Ces images sont utilisées comme vérité terrain pour l'évaluation de performances et l'apprentissage profond. Ces travaux ont permis la création de nouvelles bases de références dans le domaine.
- images biologiques. La plateforme web CNN Beetles Landmarks est dédiée au positionnement automatique de points d'intérêt sur des images biologiques.
- attention visuelle. Des bases de données d'images auxquelles sont associées des données d'attention visuelle ont été créées et sont disponibles pour la communauté (CNRS NAKALA).
- vidéos sportives. A partir du développement d'outils d'apprentissage supervisés et d'estimation de mouvements, des travaux reconnaissance des actions sportives par réseaux jumeaux ont été menés (Projet Région CRISP, campagne d'évaluation internationale MediaEval).
- vidéos égocentrés. Un travail a été mené sur l'indexation des contenus vidéos égocentrés pour le suivi de personnes malades ou la saisie d'objets par neuro-prothèses (Suivip, RoBioViz). Lors du challenge international TRECVID, ces méthodes ont atteint la deuxième place deux années de suite dans la catégorie "Recherche des instances". L'équipe a coordonné le consortium IRIM du GDR CNRS ISIS dans cette tâche.
- vidéos écologiques. Un travail a été porté sur l'indexation de contenu de vidéos écologiques pour la reconnaissance d'oiseaux rares (Projet Région : Octobre Bleu).
- images IRM 3D du cerveau. Développement d'outils d'aide au diagnostic pour les maladies neurodégénératives à partir d'IRM 3D du cerveau. Des méthodes multimodales et longitudinales ont été proposées afin d'assister les neurologues dans leur travail (IDEX BigDataBrain, Projet France-Maroc Alclass, Projet région ICE).

### 1.3.2 Faits marquants

Nous mettons ici en avant des réalisations de l'équipe au fort rayonnement international.

#### VolBrain

**Description :** Issue d'une collaboration entre le LaBRI et l'Université Polytechnique de Valence (UPV), la plate-forme volBrain a été mise en ligne en Mars 2015 (<https://www.volbrain.upv.es>). Cette plate-forme en libre accès permet de traiter automatiquement des IRM cérébrales. Grâce à des outils avancés en traitement des images médicales, volBrain analyse les structures anatomiques du cerveau et génère automatiquement un rapport



contenant le volume de ces structures. Si l'utilisateur fournit l'âge et le genre du sujet, ce rapport indique des anomalies potentielles.

**Services :** Lors de son lancement, la plate-forme proposait un seul service reposant sur le logiciel volBrain. Ce logiciel propose une segmentation automatique de l'anatomie du cerveau de la macrostructure (par ex tissus) à la structure (par ex structure sous-corticale). Depuis, 4 services supplémentaires ont été mis en ligne. Tout d'abord, le logiciel CERES qui permet une analyse précise des sous-structures de cervelet a été ajouté en 2017. Il est à souligner que cette méthode a remporté le challenge international lors de la conférence MICCAI2017 sur cette problématique. Ensuite, le logiciel LesionBrain qui fournit une segmentation automatique des lésions de la matière blanche (par ex : lésions de sclérose en plaque) a été ajouté en 2018. Plus récemment, le logiciel HIPS a été intégré dans la plate-forme en 2019. Celui-ci permet une segmentation des sous-structures de l'hippocampe, une structure clef de la mémoire impactée très tôt dans la maladie d'Alzheimer. Enfin, début 2020, le logiciel pBrain a été mise en ligne. Ce logiciel segmente les noyaux sous-thalamiques impliqués dans la maladie de Parkinson.

**Rayonnement International :** Le nombre d'utilisateurs de cette plate-forme est maintenant de 4000 (<https://www.volbrain.upv.es/users.php>). Ces utilisateurs viennent de plus de 1600 institutions (laboratoires en informatique et neuroscience, centres de recherche clinique, hôpitaux universitaires, etc.) à travers le monde. Ainsi, volBrain est maintenant devenue une référence internationale en neuroimagerie. A ce jour, cette plate-forme a traité plus de 200,000 IRM. Ce nombre augmente rapidement. A ces débuts, la plate-forme traitait quelques centaines d'image par mois, aujourd'hui elle en traite plusieurs milliers.

**Production de connaissances :** Grâce à cette plate-forme, il a été possible de produire de nouvelles connaissances neuroscientifiques et médicales en traitant un grand nombre d'images. Tout d'abord, le premier modèle de l'évolution du cerveau sur l'ensemble de la vie (de 9 mois à 95 ans) a pu être proposé en analysant plus de 3000 IRM. La publication de ces résultats a été reprise dans les médias grand public (Science et Avenir, Sud Radio, Ouest France, etc.). Ensuite, le premier modèle de l'évolution du cerveau au cours de la maladie d'Alzheimer a également été proposé en analysant plus de 4000 IRM. Ce modèle a notamment montré que les premiers signes d'altération de l'anatomie cérébrale apparaissent autour de 40 ans au niveau de l'hippocampe. Cette nouvelle a fait l'objet d'une couverture médiatique grand publique (Science et Avenir, Radio Télévision Suisse, ABC Espagne, etc.).

**Impact sur la société :** En 2018, une étude allemande a évalué l'impact de cette plateforme sur la précision du diagnostic de la maladie d'Alzheimer. Cette étude a montré une amélioration significative de la précision du diagnostic grâce à l'utilisation par le clinicien des rapports générés par volBrain.

**Valorisation :** En 2018, une licence du logiciel volBrain a été cédée à la société lyonnaise Artificial Insight (<https://www.artificial-insight.io>). Cette valorisation va permettre d'amener nos outils jusqu'à l'utilisation clinique et donc au plus proche du patient.

**Interfaces Cerveau-Ordinateur** L'équipe a obtenu un projet ERC intitulé BrainConquest, porté par Fabien Lotte, et qui été accepté (ERC Starting Grant – projet sur 2017-2022).

**Description :** Les Interfaces Cerveau-Ordinateur ou BCI (de l'anglais "Brain-Computer Interfaces") sont des systèmes de communication permettant à leurs utilisateurs d'envoyer des commandes à un ordinateur en utilisant uniquement leurs signaux cérébraux, grâce à la mesure et au traitement de ces signaux. Puisque les BCIs permettent de contrôler un ordinateur sans aucune activité physique, elles promettent de révolutionner de nombreux domaines d'application, notamment les technologies d'assistance, par exemple pour contrôler des



fauteuils roulants, et l'interaction homme-machine. Malgré ce potentiel prometteur, les BCIs sont encore très peu utilisées en dehors des laboratoires, à cause de leur mauvaise fiabilité. Par exemple, des BCIs utilisant seulement deux mouvements imaginés des mains comme commandes mentales, décodent correctement moins de 80% de ces commandes en moyenne, tandis que 10 à 30% des utilisateurs ne parviennent pas du tout à contrôler ces systèmes.

Une BCI doit être considérée comme un système de communication co-adaptatif : ses utilisateurs apprennent à encoder des commandes dans leurs signaux cérébraux (avec des tâches d'imagination mentale) que la machine apprend à décoder en utilisant des méthodes de traitement du signal et de machine learning. La majorité des efforts de recherche jusqu'à présent ont été dédiés au décodage des commandes. Cependant, le contrôle d'une BCI est une compétence que les utilisateurs doivent apprendre. Malheureusement, comment les utilisateurs de BCI apprennent à encoder ces commandes est essentiel mais à peine étudié, et il y a un manque de connaissances fondamentales sur l'apprentissage humain en BCI. De plus, les approches d'apprentissage standard sont seulement basées sur des heuristiques et ne respectent pas les principes d'apprentissage humain issus de la psychologie et de l'ingénierie pédagogique. Ainsi, la mauvaise fiabilité des BCI est très probablement majoritairement due à un apprentissage humain très sous-optimal.

Afin d'obtenir des BCIs vraiment fiables, nous devons complètement redéfinir l'apprentissage humain en BCI. C'est ce qui a été proposé dans le projet ERC intitulé BrainConquest, porté par Fabien Lotte, et qui a été accepté (ERC Starting Grant – projet sur 2017-2022). Ce projet propose tout d'abord d'étudier, de comprendre et de modéliser théoriquement et statistiquement comment les utilisateurs apprennent à encoder des commandes BCI. Ensuite, à l'aide de principes d'apprentissage humain et à l'aide de ces modèles, ce projet propose de créer une nouvelle génération de BCIs garantissant que leurs utilisateurs peuvent encoder avec succès et de manière claire des commandes mentales dans leurs signaux cérébraux, rendant ainsi les BCIs substantiellement plus fiables. De telles BCIs enfin fiables pourront positivement changer l'interaction homme-machine, comme les BCIs avaient promis de le faire, mais échoué jusqu'à présent.

**Réalisations :** Jusqu'à présent, ce projet (qui en est à sa moitié) a permis d'identifier de nouveaux facteurs affectant les performances et l'apprentissage au contrôle des BCI, telle que par exemple l'influence de l'anxiété des utilisateurs ou du genre de l'expérimentateur. Cela nous a permis de proposer des modèles théoriques et computationnels des performances en BCI, ainsi que des modèles et des métriques pour quantifier les compétences en BCI des utilisateurs. Nous nous sommes également en train de raffiner ces modèles en étudiant l'influence de l'état de l'utilisateur, et pour cela, nous avons proposé des outils pour permettre d'estimer l'état cognitif (ici la charge mentale) ou affectif (valence et activation émotionnelle) de l'utilisateur, directement dans son activité cérébrale.

Ensuite, en nous appuyant sur ces différents modèles, nous avons cherché à concevoir de nouveaux types de BCIs, prenant en compte le profil et l'état de l'utilisateur à la fois au niveau des algorithmes de machine learning mais aussi au niveau de l'utilisateur. Nous avons ainsi par exemple proposé des algorithmes de traitement du signal pour réduire la variabilité des signaux cérébraux ou pour s'adapter en temps réel aux variabilités de ces signaux. Nous avons également proposé de nouvelles approches pour adapter les exercices d'entraînement ou le feedback fourni à l'utilisateur dynamiquement, en fonction des performances et du progrès de l'utilisateur. Nous avons pour cela proposé le premier compagnon d'apprentissage artificiel pour les BCI.

## **Master Erasmus Mundus IPCV**

**Description :** Le parcours international de Master « Image Processing and Computer Vision » (IPCV) est une spécialité de Master créé et porté par des membres de l'équipe Image et son. Il a pour objectif de former des

étudiants spécialistes en traitement et analyse des images et des vidéos. Il a ouvert en septembre 2014. Les étudiants passent successivement i) un semestre à l'université Catholique Pázmány Péter (PPCU), Budapest, Hongrie, ii) un semestre à l'université autonome de Madrid (UAM), Espagne, iii) un semestre à l'université de Bordeaux. Le quatrième semestre est consacré au stage.

Au sein de l'université de Bordeaux, ce projet implique des enseignants chercheurs du LaBRI, de l'IMS et de l'IMB et des UFs d'informatique, de mathématiques et de sciences pour l'ingénieur. Il s'agit ainsi d'un parcours pluridisciplinaire. L'intégralité des enseignements est en anglais.

Les enseignements dispensés lors du semestre à l'université de Bordeaux s'appuient majoritairement sur les recherches réalisées au sein de l'équipe image et son de LaBRI : cours d'apprentissage profond, de traitement d'image avancé, de modélisation et reconstruction 3D ainsi que de réalité virtuelle et augmentée.

**Rayonnement International :** Le Master a obtenu le label Erasmus Mundus en 2017 (budget : 2.6 M€). Cela démontre l'excellence du programme et lui donne une grande visibilité à l'international. Le label a accru l'attractivité de cette formation auprès d'étudiants internationaux d'excellent niveau. Certains d'entre eux effectuent par la suite un stage de Master 2 et un doctorat au sein de l'équipe image et son du LaBRI, ce qui est véritable plus pour l'équipe. A l'heure actuelle 4 étudiants IPCV ont poursuivi en thèse dans l'équipe, et 7 sont en stage de Master 2.

**Collaboration de recherche :** Au cours des deux années d'étude, les étudiants doivent réaliser un projet de recherche et développement encadré par des chercheurs des trois universités partenaires. Ces projets ont permis de mettre en avant différents sujets d'intérêt commun aux différents laboratoires associés : analyse d'image médicale, reconstruction 3D, détection et suivi d'objets, etc. Suite à cela, un projet Marie Skłodowska-Curie Joint Doctorate a été déposé en janvier 2020.

## 1.4 Organisation et vie de l'équipe

### 1.4.1 Pilotage, animation, organisation de l'équipe

L'équipe est composée de trois thèmes : Traitement et Analyse d'Image (TAI), Acquisition et Reconstruction (AR), et Son et Interaction (SI). Chaque thème cible un domaine scientifique principal, et organise indépendamment son animation. Les deux EPC Inria, POTIOC (dans SI) et MANAO (dans AR), organisent ainsi des GT hebdomadaires. Le thème TAI a lui proposé un GT mensuel.

Etant donné la taille importante des thèmes, et notamment TAI, des groupes de plus petites tailles ont été créés autour de thématiques plus restreintes. L'animation scientifique est donc majoritairement réalisée au sein de ces groupes.

Le domaine du traitement et de l'analyse de données audio-visuels a très rapidement évolué pendant la période évaluée, en particulier avec l'avènement de l'apprentissage profond. De ce fait, les thématiques de recherche ont été amenées à changer, ce qui a rendu parfois difficile de maintenir des groupes actifs avec une animation scientifique effective.

L'équipe a du changer deux fois de directeur (et d'adjoint) au cours de la période évaluée. Pascal Desbarats, étant devenu directeur adjoint de l'École Doctorale, et coordinateur du master Erasmus Mundus IPCV, a laissé la direction à Vincent Lepetit. Ce dernier ayant quitté le LaBRI en 2019, une nouvelle élection a donc encore dû être organisée.

Depuis 2019, la nouvelle direction d'équipe a organisé bi-annuellement des journées ou demi-journées d'équipe, ce qui a permis de renforcer la cohésion de l'équipe.

#### **1.4.2 Parité ; Intégrité scientifique ; Hygiène et sécurité ; Développement durable et prise en compte des impacts environnementaux ; Propriété intellectuelle et intelligence économique**

L'équipe compte 9 permanentes, ce qui représente environ un quart de l'équipe.

Plusieurs membres font partie du récent groupe de travail du laboratoire centré autour du développement durable. Par ailleurs, Pascal Guitton, Gaël Guennebaud et Aurélie Bugeau sont membres du GDS CNRS EcoInfo.

## **2 Projet**

### **2.1 Analyse SWOT**

**S** La force principale de l'équipe Image et Son est la forte activité de ses membres, avec de nombreuses publications dans les conférences clés des différents domaines de recherche, et ses nombreuses collaborations industrielles et pluri-disciplinaires.

**W** La faiblesse principale de l'équipe réside dans sa taille, son très grand nombre de projets et collaborations extérieures, et dans les différentes charges portées par ses membres. L'équipe peine à maintenir une cohésion et une animation scientifique stable. Nous couvrons de plus en plus de thématiques différentes, ce qui aboutit à un isolement de certains membres. Il est difficile aujourd'hui de trouver le temps pour monter un nouveau projet impliquant plusieurs membres de l'équipe sur certaines thématiques.

**O** L'équipe crée des collaborations avec des membres d'autres équipes et d'autres laboratoires de l'université de Bordeaux. Elle développe également des collaborations à l'international ouvrant sur de nouvelles thématiques de recherche. Nous avons de nombreux projets en cours de préparation ou déposés, que ce soit au niveau local avec les nombreuses entreprises qui nous sollicitent ou au niveau national ou international avec par exemple une nouvelle ERC en cours d'évaluation.

**T** L'équipe manque de possibilité de recrutement de chercheur permanent. Elle fait également face au changement très rapide dans le domaine de l'apprentissage profond qui accélère le rythme des publications.

### **2.2 Structuration, effectifs et orientations scientifiques**

Dans le cadre de la restructuration du LaBRI, l'équipe Image et Son, étant donnée sa taille, s'est naturellement positionnée pour devenir un département. Nous avons tout de même souhaité en profiter pour nous restructurer à l'intérieur de ce futur département. Tous les membres actuels de l'équipe Image et Son resteront dans le futur département, à l'exception de ceux localisés à l'ESTIA, qui ne feront plus partie du LaBRI suite à la création du laboratoire ESTIA Recherche.

Actuellement nous avons 3 thèmes et nous souhaitons créer 2 équipes dans le futur département. Nous avons expérimenté qu'une structuration trop fine (puisque nous avons créé les groupes en dessous des thèmes), si elle est pratique en terme de groupe de travail et peut correspondre à l'activité de l'équipe à un instant T, ne permet

pas aux gens de se rencontrer assez souvent afin de créer de nouvelles collaborations locales, même si des sujets assez proches sont étudiés. Cette restructuration en deux équipes sera accompagnée d'une restructuration de l'animation permettant de renforcer la cohésion de l'équipe.

La première équipe que nous souhaitons créer se focaliserait sur les aspects de Modélisation, Synthèse et Interaction du futur département. Son activité de recherche serait dans la continuité de ce qui est fait actuellement par les deux EPC Manao et Potioc, et les grands axes de recherche seront donc :

- design de techniques d'interaction (3D, tangibles)
- réalité augmentée, réalité virtuelle
- interfaces cerveau-ordinateur et physiologiques
- méthodes d'évaluation
- analyse et simulation de l'interaction entre la lumière, la forme et la matière
- modélisation et édition de l'apparence en lien avec l'optique et la perception
- algorithmes de rendu photo-réaliste et expressif en temps-réel comme en temps maîtrisé
- édition et traitement de la géométrie

La deuxième équipe que nous souhaitons créer se focaliserait sur tous les aspects Traitement et Analyse, sans distinction sur le type de données. Si nous garderons nos expertises et nos spécificités avec des méthodologies adaptées au type de médias (son, vidéo, images 2D, 3D, ...) nous espérons que cela permettra de mieux mutualiser nos travaux qui peuvent être mieux mis en communs sur certains points, notamment l'intelligence artificielle et les réseaux de neurones profonds. Cela permettra aussi aux membres de cette équipe de s'inscrire naturellement dans le futur axe transverse du LaBRI autour de l'Intelligence artificielle.



# Méthodes Formelles

## 1 Bilan

### 1.1 Présentation de l'équipe

#### 1.1.1 Introduction

L'équipe Méthodes Formelles a un large spectre de thématiques de recherche, avec une expertise forte et internationalement reconnue :

- En logique, complexité, calculabilité.
- En théorie des graphes, des automates, de la preuve, et des langages formels.
- En vérification et synthèse de systèmes distribués, temporisés, probabilistes, paramétrés, d'ordre supérieur.
- En théorie de la concurrence.
- En théorie des bases de données et langages de requêtes.
- En représentation de connaissances.
- Sur les SAT solveurs, et les contraintes CSP.
- En apprentissage et robotique.
- En théorie des jeux et du choix social.
- Dans le calcul par systèmes biologiques.

## 1.1.2 Effectifs et moyens

Tableau 3.1 : Chercheurs et E/C de l'équipe Méthodes Formelles

	2015	2016	2017	2018	2019	2020
MCF	18	17	16	18	16	15
CR	7	6	4	5	9	8
PR	7	7	7	6	6	6
DR	2	3	3	3	3	3
Post-doctorant(e)s	0	1	2	2	2	2
Doctorant(e)s	12	15	11	11	11	12
Autres, dont émérites	1	1	1	1	3	3

L'équipe Méthodes Formelles a actuellement 4 MCF ou CR habilités.

Le tableau suivant donne les contrats de l'équipe (il est rappelé dans l'annexe 4).

Tableau 3.2 : Contrats de l'équipe Méthodes Formelles, en k€

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total
National	223	234	458	383	50	636	1984
Industrie	40	90	0	606	0	0	736

Montant total des contrats pour l'équipe Méthodes Formelles : **2720 k€**.

## 1.1.3 Politique scientifique

L'équipe vise l'excellence scientifique.

- Nous publions nos travaux de recherche dans les meilleures conférences du domaine. Le pourcentage de publications dans les actes de conférences A\*/A sur le total de toutes les publications est ainsi de 35% avec une majorité de publications à la conférence internationale LICS (66% des publications A/A\* de la période).
- Nous tissons un réseau de collaborateurs internationalement reconnus en France et à l'étranger. Nous participons ainsi à de nombreux échanges de visites et à des projets bilatéraux, nous participons à l'IRL ReLaX (Pascal Weil en est le directeur adjoint), nous incitons nos doctorants à faire des postdocs dans d'autres laboratoires, nous encadrons des doctorants en co-tutelle, et nous soutenons le recrutement extérieur des maîtres de conférence.
- Les travaux de l'équipe vont des fondements de l'informatique à la recherche finalisée. Nous avons aussi plusieurs développements académiques de logiciels permettant de mettre en œuvre et de valider des approches et des algorithmes. Enfin nous encadrons trois doctorants financés par une bourse CIFRE.

## 1.2 Présentation de l'écosystème recherche de l'équipe

Localement, nous avons des responsabilités au LaBRI et dans les parcours de formation en lien avec la recherche :

- Marc Zeitoun est directeur adjoint du LaBRI.
- Mohamed Mosbah est directeur adjoint du LaBRI.



- Alain Griffault est directeur de l'unité de formation d'informatique de l'Université de Bordeaux.
- Anca Muscholl a été responsable du parcours Informatique Fondamentale du M2 jusqu'à la rentrée 2020, et Vincent Penelle prend sa suite.
- Marc Zeitoun et Vincent Penelle sont élus au conseil de l'unité de formation d'informatique de l'université de Bordeaux.
- Olivier Gauwin a été directeur des études du DUT, au département Informatique de l'IUT de Bordeaux, jusqu'en 2017.
- Diego Figueira est membre élu (collège B) du Conseil Scientifique du LaBRI depuis 2016.
- Sylvain Lombardy est responsable de la formation d'ingénieurs Réseaux et Systèmes d'Information de l'Enseirb-Matmeca.
- Frédéric Herbreteau était responsable de la 1ère année informatique à l'Enseirb-Matmeca jusqu'en août 2018. Il est responsable des stages de 2ème année informatique à l'Enseirb-Matmeca depuis mars 2020.
- Laurent Simon était co-responsable du semestre de spécialisation en 3ième année de l'Enseirb-Matmeca « Technologies Multimédia et Jeux Vidéos » jusque septembre 2018. Depuis, il est co responsable du semestre de spécialisation « Intelligence Artificielle » à l'Enseirb-Matmeca. Il est également co-monteur de l'EUR Bordeaux Graduate School « Numerics » qui ouvrira en 2021.

Au LaBRI, nous participons à des groupes de travail thématiques communs à plusieurs équipes (voir la partie animation de la section 1.4).

Sur le campus de l'université de Bordeaux, nous participons au cluster Sysnum et en particulier aux work packages WP2 "Safety and Reliability" et WP7 "Robotics and drones" qui rassemblent des membres de plusieurs laboratoires, dont le LaBRI et l'IMS. Igor Walukiewicz et Anca Muscholl collaborent avec Ali Zolghadri (Laboratoire IMS) sur le contrôle distribué dans le cadre du Sysnum. Le projet ANR BipBip rassemble l'équipe MF et l'IMS autour du thème de la robotique agricole. L'équipe contribue également à la suite du projet Sysnum, DACSS, en proposant un WP inter-équipe autour de l'IA de confiance.

Nationalement, nous avons des collaborations avec de nombreux laboratoires, par le fait des recrutements externes, par les nombreux projets de recherche de type ANR permettant des collaborations entre laboratoires, et par les cotutelles (1 thèse en cotutelle avec l'IRIF). Nous sommes aussi présents dans la section 6 du CoNRS : Hugo Gimbert en était membre jusqu'en août 2016, et Igor Walukiewicz en est membre depuis. Depuis 2019, Laurent Simon est par ailleurs Président de l'Association Française de Programmation par Contraintes, ainsi que membre élu du CA de l'Association Française Intelligence Artificielle. Nous participons à l'animation du GDR IM : Anca Muscholl est membre de son comité de direction, et Pascal Weil est président de son conseil scientifique. Nous sommes impliqués dans l'animation de GT des GDR : Nathanaël Fijalkow est co-responsable du GT ALGA (GDR IM), Jérôme Leroux est dans le comité de pilotage du GT Verif (GDR IM), et Antoine Rollet vient de prendre la responsabilité du GT MTV2 (GDR GPL). Enfin, nous participons à d'autres GT des GDR, et en particulier le GT Calculabilités du GdR IM et le GT BIOSS soutenu par les GdR IM et BIM.

Internationalement, nous bénéficions de collaborations privilégiées avec l'Inde par l'intermédiaire de l'IRL ReLaX. Nous accueillons par ce biais chaque année plusieurs étudiants en stage recherche dont certains poursuivent en thèse dans notre équipe. Nous avons par ailleurs des projets bilatéraux permettant de collaborer avec de nombreux pays. Nous avons reçu environ 180 visiteurs étrangers sur la période. Enfin, nous sommes aussi invités à de nombreuses conférences internationales de premier rang : sur la période d'évaluation, Jérôme Leroux et Anca Muscholl ont tous deux été "keynote speakers" aux conférences internationales LICS-ICALP. Au total, nous avons été invités dans 54 conférences.

Autres collaborations internationales : l'équipe a participé à l'action Européenne COST ARVI<sup>1</sup> (Runtime Verification beyond Monitoring) dont l'objectif était de mettre en place une expertise et de définir les enjeux liés à la vérification à l'exécution. Cette action regroupait 27 pays. Antoine Rollet était représentant de la France au sein de son Management Committee. Nous sommes aussi impliqués dans des projets bilatéraux avec l'université de Warwick (Royaume-Uni) financé par la Royal Society, les projets LIA INFINIS et IRP SINFIN d'échange avec l'Argentine, un projet d'échange avec le Chili et l'Argentine type STIC AmSud, plusieurs projets CEFIPRA avec le MNIT (Malaviya National Institute of Technology), l'IIT Bombay, et le CMI en Inde, un projet PHC Utique d'échange de chercheurs avec la Tunisie, un double diplôme ENSEIRB-MATMECA / ENIS (Sfax) qui permet des échanges d'étudiants, un projet PHC Galiléo d'échange de chercheurs et un accord de collaboration pour des échanges d'étudiants entre Bordeaux INP et l'Université de Padoue (Italie), un accord Erasmus avec l'ULB (Belgique). Nous avons également des thèses en cotutelle avec l'université de Sfax (Tunisie), l'Université Libre de Bruxelles (Belgique), l'Université d'Anvers (Belgique) et le Chennai Mathematical Institute (Inde).

Animation scientifique internationale : Nous sommes impliqués dans l'EATCS (Anca Muscholl est membre de l'EATCS Council depuis 2015 et vice-présidente de l'EATCS depuis 2020) et à l'IFIP (Pascal Weil est représentant national au TC1 et Igor Walukiewicz est membre du WG2.2 et en a été le président).

### 1.3 Produits et activités de la recherche

Nous déclinons dans la suite de cette section plusieurs travaux représentant, sans chercher à être exhaustif les thématiques de recherche présentes dans l'équipe, cette section n'inclut pas certaines autres contributions majeures de l'équipe comme par exemple [23, 11, 30, 55, 121, 22].

**Réseaux de Petri.** Les réseaux de Petri [96] forment un modèle pour les systèmes concurrents avec de nombreuses applications en modélisation et vérification de software, de hardware, de bases de données et de processus chimiques, biologiques et industriels.

Le problème de l'atteignabilité pour les réseaux de Petri est fondamental car de nombreux autres problèmes s'y réduisent. Nous avons montré que le problème est primitif récursif en dimension fixée [86] et nous avons donné une nouvelle borne inférieure de complexité (non élémentaire) [36]. Ces travaux ont reçu le best paper award à la conférence STOC en 2019 et ont été présentés en tant qu'invité à de nombreuses conférences internationales (dont une keynote à LICS-ICALP en 2020). La précédente meilleure borne inférieure de complexité (exponential space) avait été donnée par Lipton en 1976 et était conjecturée comme optimale. Ce nouveau résultat réfute cette conjecture et montre que de nombreux autres problèmes dans des domaines variés comme les langages formels, la logique, les systèmes concurrents, etc, sont plus difficiles que ce que l'on avait précédemment envisagé.

Les réseaux de Petri ont récemment été utilisés comme modèles de bas niveau pour la vérification de systèmes concurrents, et cela pose le problème du passage à l'échelle des techniques de vérification pour ce modèle. Nous avons proposé une approche simple et efficace [63, 64], implémentée dans l'outil ICover, pour résoudre la couverture dans les réseaux de Petri (la couverture est une variante simplifiée de l'atteignabilité). Notre approche combine des techniques classiques de vérification et de nouvelles méthodes à base d'abstractions et de solveurs SMT. Ce travail a fait l'objet d'une soutenance de thèse (Thomas Geffroy).

Nous nous sommes également intéressés au problème de l'atteignabilité dans des extensions naturelles des réseaux de Petri [50], telles que les réseaux de Petri munis d'une pile et les réseaux de Petri branchants. Nous avons

---

1. <http://www.cost-arvi.eu/>

obtenu des résultats de complexité en petite dimension pour ces modèles [87, 50]. Le problème de l'atteignabilité en dimension arbitraire reste ouvert pour ces modèles.

*Collaborations* : Universités de Warwick (Royaume-Uni), de Varsovie (Pologne), d'Olomouc et de Brno (République Tchèque), de la TUM et du MPI (Allemagne), et en France avec le LSV et l'IRIF.

*Financements* : ANR BraVAS.

**Systèmes distribués.** L'analyse des systèmes distribués est rendue très difficile par le phénomène bien connu de l'explosion de taille. Contrairement aux systèmes séquentiels, les graphes de flux des systèmes distribués sont souvent de taille exponentielle par rapport au système, ce qui empêche une application directe des techniques bien connues d'analyse pour les systèmes séquentiels. En rajoutant aussi la création dynamique de processus, les problèmes de vérification deviennent indécidables. La situation se complique davantage pour le problème de la synthèse de contrôleurs distribués, car les résultats de décidabilité ne couvrent que des modèles restreints.

Une approche naturelle pour répondre à ce problème consiste à identifier des sous-classes de systèmes pour lesquelles on peut développer des techniques d'analyse efficaces. Dans ce sens nous avons considéré le modèle des diagrammes de négociation, un modèle proche des réseaux de Petri workflow. Ce dernier formalisme est très populaire pour la description des business processes, et est utilisé comme backend pour des formalismes graphiques tels que BPMN (Business Process Modeling Notation), EPC (Event-driven Process Chain) ou encore UML Activity Diagrams. Un premier résultat a montré qu'on peut vérifier certaines propriétés fondamentales des diagrammes déterministes en évitant une exploration coûteuse du graphe des configurations, et ceci en temps polynomial [41]. Une de ces propriétés est une variante de l'absence de blocage appelée "soundness". Nous avons aussi généralisé le cadre classique de l'analyse statique de programmes séquentiels basée sur les treillis aux diagrammes de négociations ayant la propriété de soundness [42]. En particulier, cela montre que pour ce type de diagrammes on peut calculer le temps minimal/maximal ou le coût espéré des exécutions en temps polynomial.

Pour les systèmes qui permettent la création dynamique de processus, nous avons considéré le cadre où les processus communiquent par variables partagées, sans utiliser de verrous ou d'opérations du type test-and-set. Nous avons montré que le modèle avec création dynamique introduit dans [70] est très robuste, en restant décidable pour des classes de systèmes bien plus généraux [85]. De plus, nous avons établi que l'on peut vérifier pour ces systèmes toutes les propriétés régulières, et pas seulement l'atteignabilité [59]. Il reste à voir si cela se généralise en présence du mécanisme de création dynamique de processus [91].

Nous avons également travaillé sur une question ouverte depuis 2005, sur la décidabilité du problème de la synthèse de contrôleurs distribués dans le modèle de Zielonka, en identifiant une classe qui couvre tous les cas décidables connus auparavant [65].

*Collaborations* : TU Munich (Allemagne)

*Financements* : ANR FREDDA

**Temps-réel.** Nos travaux ont pour objectif la vérification par model-checking de systèmes temps-réels modélisés par des automates temporisés. Il s'agit d'un problème classique de vérification formelle, les automates temporisés étant largement adoptés pour modéliser des systèmes dont les comportements dépendent de contraintes temporelles. Ce problème nécessite des abstractions permettant la représentation du temps qui soient à la fois efficaces et précises.

Nous avons introduit un nouveau paradigme qui permet d'utiliser des abstractions non convexes performantes tout en préservant une représentation efficace de l'espace d'états. Nous avons par ailleurs montré l'optimalité de cette abstraction [75].

En étudiant la vérification des comportements infinis (vivacité), nous avons découvert une erreur de modélisation dans un benchmark classique, qu'il était pratiquement impossible de détecter à l'aide d'outils de vérification de comportements finis (atteignabilité). Nous avons montré un résultat de complexité qui implique que, de façon surprenante, le problème de vivacité est plus difficile que le problème d'atteignabilité pour les automates temporisés, ou du moins qu'il demande des techniques de vérification adaptées. Nous avons donc proposé un nouvel algorithme pour la vérification de vivacité qui réutilise autant que possible la technologie que nous avons développée pour la vérification d'atteignabilité [73, 74].

La vérification de systèmes temps-réels concurrents pose un défi particulier. Des entrelacements d'actions équivalents si l'on ne tient pas compte du temps, peuvent ne plus l'être lorsque l'on considère les contraintes temporelles. Nous avons proposé une nouvelle méthode de calcul d'abstractions qui permet de regrouper les entrelacements équivalents qui sont distingués par les contraintes temporelles [69]. Nous avons mis en œuvre notre algorithme et obtenu des gains de performance d'un ordre de grandeur sur certains benchmarks classiques, tout en garantissant des performances aussi bonnes que l'algorithme standard sur tous les exemples. Ces travaux sont une partie d'une thèse en cours (Govind Rajanbabu, 2017-...).

Enfin, nous avons perfectionné l'algorithme standard de vérification d'atteignabilité pour les automates temporisés en proposant une technique de parcours de l'espace d'états très simple à implémenter, qui donne des gains substantiels sur les benchmarks classiques de la communauté [76]. Ces travaux ont donné lieu à une thèse soutenue (Tung Thanh Tran, 2016).

Nos algorithmes sont mis en œuvre dans l'outil de vérification TChecker [72] développé au LaBRI (voir section 1.4). En 2019, après plusieurs années de développement, nous avons publié une première version open source de l'outil. TChecker, avec son architecture ouverte, permet à la communauté de reproduire les résultats expérimentaux et d'évaluer de nouveaux algorithmes. Plusieurs travaux l'ont déjà utilisé, notamment [110, 62, 29]. TChecker est au centre du projet ANR TickTac réunissant les meilleures équipes françaises de vérification de systèmes temporisés.

*Collaborations* : CMI Chennai (Inde)

*Financements* : CEFIPRA (AVeRTS 2014-2016, puis IoTTTA 2017-2020), ANR (TickTac 2019-2023).

**Vérification à l'exécution.** La Vérification à l'Exécution (Runtime Verification) est un terme regroupant les théories, techniques et outils pour vérifier la conformité des exécutions du système sous surveillance par rapport à une spécification donnée. L'équipe s'est investie dans ce domaine notamment en participant à l'action Européenne COST ARVI (Runtime Verification beyond Monitoring) regroupant 27 pays. Une des contributions de cette action est un livre tutoriel sur la vérification à l'exécution dans la rédaction duquel l'équipe s'est investie [43]. L'équipe a obtenu des résultats significatifs dans le domaine de l'enforcement, une variante de la vérification à l'exécution avec possibilité d'effectuer des opérations correctives pour modifier la séquence d'exécution si nécessaire. Nous avons montré comment synthétiser un mécanisme d'enforcement à différents niveaux d'abstraction en présence d'événements incontrôlables, et ce pour toute propriété régulière, temporisée ou non, en montrant que ce mécanisme garantit les propriétés standard que l'on attend d'un moniteur d'enforcement (correction, transparence, optimalité) [105][104]. Nous avons ensuite simplifié cette approche et l'avons rendue plus performante grâce à l'apport de la

théorie des jeux [107, 106][108]. Un démonstrateur a aussi été développé [106]. Ces travaux ont fait l'objet d'une soutenance de thèse (Matthieu Renard) et d'une HDR (Antoine Rollet [109]).

*Collaborations* : Inria Rennes Bretagne Atlantique, Inria Grenoble Rhone-Alpes, Aalto University (Finlande).

*Financements* : Région Nouvelle Aquitaine

**Jeux.** La thématique Jeux a une longue histoire dans l'équipe Méthodes Formelles, avec des travaux fondateurs couvrant les deux décennies précédentes. Elle s'est développée dans différentes directions au cours des cinq dernières années, notamment avec le recrutement de Nathanaël Fijalkow en 2018.

Une des questions les plus importantes dans le domaine des jeux pour la vérification et le model-checking est la complexité de la résolution des jeux de parité, ouverte depuis une trentaine d'années. Depuis 2017, de très nombreux résultats ont été obtenus suite à la construction d'un nouvel algorithme qui ramène la complexité de sous-exponentielle à quasi-polynomiale (best paper award à STOC 2017). Notre équipe a joué un rôle moteur dans cette nouvelle ère quasi-polynomiale dès le début [66], et précurseur dans le résultat principal : l'introduction de nouveaux outils (arbres universels [52], graphes universels [33, 53, 54]) et la formalisation de bornes inférieures [35].

Les jeux stochastiques sont des modèles naturels d'interaction compétitive soumise à l'influence d'événements aléatoires. La complexité des jeux stochastiques a également été étudiée, notamment dans le cas des jeux à deux joueurs à somme nulle avec conditions qualitatives [20, 19], dans la thèse d'Edon Kelmendi et le post-doc de Pauli Fournier pour le problème de la valeur 1 [81][28, 61], dans la thèse de Ludovic Hofer pour les applications à la planification de mouvements [78] et dans celle de Soumyajit Paul pour les jeux à information imparfaite [67]. La théorie du choix social fournit des outils pour l'étude de mécanismes compétitifs d'attribution de ressources, dont la non-manipulabilité stratégique est actuellement étudiée dans le cadre de la thèse de Simon Mauras.

*Collaborations* : Universités de Warwick (Royaume-Uni) et de Varsovie (Pologne), IRISA

*Financements* : ANR Delta (2016 – 2020), CNRS Momentum DeepSynth (2018 – 2021), LaBEX CPU.

**Robotique.** Rhoban est un projet transverse du LaBRI institué en 2012. L'objet d'étude de Rhoban est la robotique autonome avec deux directions : d'une part la robotique autonome humanoïde, et d'autre part la robotique agricole. Rhoban a conçu et produit le robot autonome SigmaBan. Il s'agit d'un robot humanoïde qui, depuis sa conception, permet l'expérimentation réelle d'algorithmes d'optimisation et d'apprentissage, grâce à sa taille, sa robustesse et sa sophistication (voir e.g. [94]). À titre d'exemple, nous avons mis au point une technique d'optimisation de l'odométrie du robot à base de méthodes évolutionnaires (CMAES notamment) [111]. SigmaBan est aujourd'hui utilisé dans plusieurs autres universités (MIPT en Russie, Shenyang en Chine). Par ailleurs, nous avons étendu ces travaux dans un contexte de pure simulation, en explorant la morphologie et ses liens avec le contrôle de la locomotion [93]. Dans un souci d'application, nos travaux sur la locomotion nous ont conduit à développer une orthèse auto-stabilisante du membre inférieur (Patent WO2016189253). Dans le domaine de la robotique agricole, les travaux de Rhoban sont en lien très fort avec les contraintes de terrain. Nous avons investigué un système de positionnement GNSS centimétrique mono-fréquence qui permet de baisser les coûts (frein très fort au déploiement, voir [88]). Nous avons exploré la problématique du désherbage robotisé, qui a le potentiel de remplacer l'usage d'intrants chimiques dans le futur. Nous avons mis au point et déployé un système de désherbage robotisé centimétrique pour grande culture (Patent WO2016128688). Dans le projet ANR BipBip, nous avons exploré avec succès le désherbage intra-rang (challenge ANR Rose). L'équipe participe à la RoboCup, la plus grande compétition de robotique autonome au monde, nous avons remporté la 1ère place de la ligue Kid-Size Humanoid



à 4 reprises : 2016, 2017, 2018 et 2019, ainsi que le RoboCup Best Humanoid Award 2017. Outre le moteur de développement que cela constitue, participer à la RoboCup est un benchmark très pragmatique pour la robotique humanoïde [3, 4][68]. Notre notoriété dans la communauté RoboCup nous a conduit à obtenir l'organisation de l'événement à Bordeaux pour l'année 2021 (initialement 2020) (environ 3000 compétiteurs, 45 pays, 40000 visiteurs). Pour finir, mentionnons que Rhoban contribue également au développement des EdTech : nous avons conçu un robot adapté pour l'enseignement du secondaire, dont une centaine d'exemplaires sont aujourd'hui en test en collaboration avec le réseau Canopé.

**Raisonnement sur les données et connaissances.** Nous avons étudié la réponse aux requêtes dans différents contextes, en s'intéressant principalement à la complexité et l'algorithmique des problèmes de raisonnement associés.

Sur les bases de données de graphe (*graph databases*), on a étudié le langage de requêtes CRPQ (Conjunctive Regular Path Queries), très utilisé dans le contexte des requêtes sous format RDF. En particulier, on a considéré le problème d'inclusion de requêtes [46, 49] ("Est-ce que la réponse à cette requête est toujours incluse dans la réponse d'une autre requête?"), et de 'boundedness' [13] ("Est-ce que cette requête peut se réécrire comme une requête sans récursion?"). Ces problèmes sont pertinents pour les tâches d'optimisation de requêtes. On a aussi travaillé sur des problèmes d'analyse statique de requêtes dans d'autres contextes, comme les requêtes conjonctives en présence de contraintes [44, 10] ou les requêtes XPath et autres langages associés sur les données semi-structurées [1, 45, 51, 2, 47].

Nous nous sommes également intéressés au problème de la réponse aux requêtes médiatisées par une ontologie (ontology-mediated query answering), un sujet de recherche très actif à la croisée de l'IA et des bases de données. Nous avons étudié l'impact de la restriction à des modèles finis [48] ou des domaines actifs [26] (la sémantique habituelle admettant des modèles infinis), ou du passage à des requêtes plus riches de type comptage [27] (thèse de Quentin Manière). Pour faire face aux données erronées, nous avons étudié des sémantiques tolérantes aux incohérences qui permettent de fournir des résultats pertinents et bien-fondés en dépit des contradictions [25, 24].

*Collaborations* : Pont. Univ. Católica de Chile (Chili), Univ. Bayreuth (Allemagne), IIT Bombay (Inde), Univ. Buenos Aires (Argentine), ENS Ulm, IRIF, CRISTAL (Lille).

*Financements* : ANR QUID, ANR CQFD, IRP Franco-Argentin SINFIN, LIA Franco-Argentin INFINIS

**SAT.** La thématique SAT est présente au LaBRI depuis le recrutement de Laurent Simon en 2013. La conférence internationale SAT a ainsi été organisée à Bordeaux en 2016.

L'outil *Glucose*, co-développé dans l'équipe et au CRIL (Lens), est un solveur qui privilégie l'efficacité en pratique de la résolution du problème SAT [12]. Ce solveur est l'un des plus médaillés à la compétition internationale SAT. Depuis 2015, il a obtenu 2 médailles en 2015 (Or en Parallèle, Bronze en catégorie incrémental), une place en argent (incrémental) en 2016 et 3 médailles en 2017 (bronze en catégorie agile, Or en parallèle, argent en incrémental). Cet outil est très utilisé et repris dans d'autres travaux. Ainsi, il a été utilisé pour produire une preuve mathématique gigantesque [77].

La particularité de la recherche autour de SAT (et au delà [120]) que nous proposons réside dans la volonté de comprendre les raisons du bon fonctionnement d'un SAT solveur pour mieux l'améliorer [40]. Ainsi, nous avons identifié une structure particulière des instances "industrielles" qui semble jouer un rôle déterminant [9]. La compréhension de ces solveurs est la clé de voûte du projet ANR SATAS (SAT as a service), dont le but ultime

est de déployer ces solveurs de la manière la plus efficace possible dans le Cloud. Pour cela, nous avons proposé d'analyser la preuve produite en cours de calcul pour pouvoir, ensuite, diriger la recherche, voire l'expliquer. Avec un doctorant (Rohan Fossé) financé par le projet SATAS, nous avons ainsi mis en évidence des caractéristiques structurelles insoupçonnées dans les preuves produites par ces solveurs [60].

Une thèse CIFRE a été soutenue par Guillaume Baud Berthier avec la société Safer-River. De multiples outils de vérification ont été proposés dans ce cadre [18], pour la plupart basés sur SAT.

**Problèmes de séparation.** Un objectif central en théorie des automates est la compréhension de classes naturelles de langages réguliers. On s'intéresse typiquement à des classes définies par un formalisme syntaxique donné (basé sur la logique ou les expressions régulières) : la classe contient tous les langages représentés par une expression de ce formalisme. Pour aborder ce type de question, l'approche standard est de considérer un problème de décision associé à la classe  $\mathcal{C}$  étudiée, son *problème d'appartenance* : *un langage régulier d'entrée appartient-il à la classe  $\mathcal{C}$  ?* L'idée est qu'obtenir un algorithme qui décide ce problème requiert une compréhension précise de la classe  $\mathcal{C}$ .

Nous avons considéré un autre problème, appelé *séparation* pour une classe  $\mathcal{C}$  de langages réguliers. Étant donnés deux langages réguliers  $L_1, L_2$  en entrée, la question est de déterminer s'il existe un langage de  $\mathcal{C}$  contenant  $L_1$  et disjoint de  $L_2$ . Ce problème est plus général que celui d'appartenance, car poser cette question sur une entrée consistant en un langage  $L$  et son complémentaire revient à demander si  $L$  appartient à  $\mathcal{C}$ .

Décider la séparation pour une classe est donc plus difficile que décider son problème d'appartenance, mais aussi plus intéressant et productif, car un algorithme de séparation fournit plus d'information sur la classe. La séparation est aussi plus robuste que l'appartenance, en ce sens que certains résultats se transfèrent d'une classe à d'autres. Nos contributions ont été de deux natures :

- Nous avons généralisé le problème de séparation en un nouveau problème, la *couverture*, et montré qu'on peut le résoudre en instanciant un *canevas algorithmique générique*, utilisable *indépendamment* de la classe considérée. Cela permet de se concentrer sur la partie spécifique à chaque classe étudiée. Nous avons développé un *cadre mathématique* élégant permettant d'une part de formuler simplement ce problème, d'autre part de faciliter sa résolution pour des classes particulières [99].
- Nous avons obtenu plusieurs résultats de couverture pour des classes importantes. L'une de celles-ci, la "dot-depth 2" [98, 101], a motivé un nombre considérable de publications par le passé. Cette classe est le niveau 2 d'une *hiérarchie* standard de classes de langages, la "dot-depth". L'intérêt qu'elle a suscité provient du fait qu'elle correspond, niveau par niveau, à une hiérarchie logique fondamentale, qui classe les langages selon le nombre d'alternances de quantificateurs nécessaires pour les définir en logique du premier ordre. Il existe plusieurs hiérarchies de ce type dans la littérature. Nous avons défini une notion *générique* de *hiérarchie de concaténation* capturant toutes ces variantes. Une telle hiérarchie est définie à partir d'une classe de base, son niveau 0, en appliquant des opérations simples pour obtenir les niveaux suivants  $1/2, 1, 3/2, 2, \dots$ . Nous avons établi que la correspondance logique se généralise niveau par niveau [100]. Nous avons montré que, si la classe de base est finie, le problème de séparation pour les niveaux  $1/2, 1$  et  $3/2$  est décidable [97, 98, 102, 103]. Dans le cas spécifique de la *dot-depth*, nous avons pu obtenir la décidabilité de la séparation jusqu'au niveau  $5/2$ . Ceci généralise plusieurs résultats majeurs du domaine, et a comme corollaire la décidabilité des problèmes de décision susmentionnés pour le niveau 2, question datant de 1971.

*Financements* : ANR DeLTA.

**Aspects algorithmiques en algèbre.** Des structures algébriques classiques comme les semigroupes, les groupes et les monoïdes inversifs interviennent naturellement en théorie des langages et des automates, y compris pour



établir des résultats de décidabilité. L'étude algorithmique et combinatoire de ces structures est de ce fait pertinente pour les objectifs de l'équipe. Dans ce cadre, elle a obtenu des résultats significatifs dans les domaines suivants.

En théorie des monoïdes inversifs libres, nous avons étudié la complexité du problème de la solvabilité de certains systèmes d'équations [38, 39] et la combinatoire des parties rationnelles ou reconnaissables [80]. Cette dernière étude est motivée par l'étude de la modélisation de phénomènes complexes, notamment musicaux, par exemple [79].

En théorie des groupes, nous avons donné la complexité du problème de l'isomorphisme entre groupes virtuellement libres (il est PSPACE-complet) [119]. Nous avons aussi développé l'étude algorithmique et asymptotique des sous-groupes de certains groupes infinis : dans le cas du groupe libre, nous avons étudié les propriétés génériques des sous-groupes [16][17] ; plus généralement nous avons donné une représentation des sous-groupes quasi-convexes des groupes automatiques par des automates finis, qui a de nombreuses applications algorithmiques [82], y compris sur des classes de groupes plus larges comme les groupes relativement hyperboliques [83]. On mentionnera aussi dans ce cadre le développement du package SageMath `stallings-graphs` (voir section 1.4).

Une façon standard de résoudre le problème de séparation (développé page 97 dans la partie "problèmes de séparation") passe par la compréhension de structures algébriques obtenues comme complétions topologiques de l'ensemble des mots. Nous avons étudié la combinatoire des éléments de ces complétions [6][5], ainsi que des problèmes topologiques naturels dans ces structures [8][7].

*Collaborations* : France (LIGM, LIPN), Allemagne (Stuttgart), Portugal (Braga, Coimbra, Porto), Etats-Unis (Hoboken, New York).

**Transducteurs et Automates Pondérés.** L'étude des transducteurs et des automates pondérés a démarré en même temps que celle des automates finis dans les années 50, et un de ses fondateurs n'est autre que M.-P. Schützenberger. Les avancées dans ce domaine ont été pourtant moins spectaculaires car les objets manipulés, les fonctions ou relations, sont bien plus complexes que les langages. Depuis une dizaine d'années on peut constater un important regain d'intérêt pour ces sujets, en partie grâce à des résultats montrant la robustesse de la classe des transductions sur les mots.

Dans l'équipe nous nous sommes intéressés à des problèmes d'expressivité et de décidabilité pour les transducteurs bi-directionnels sur les mots et les automates pondérés sur les mots et les arbres. Pour les transducteurs sur les mots, nous avons proposé une procédure de décision de complexité doublement exponentielle pour savoir si une fonction donnée peut être réalisée par un transducteur uni-directionnel [14, 15], améliorant la complexité non-élémentaire connue auparavant [58]. Un deuxième résultat permettant de mieux appréhender la combinatoire des transducteurs avec registres est la décidabilité du problème d'équivalence des transducteurs finiment valués, un problème ouvert depuis 2011. La preuve de ce résultat prend comme point de départ une technique connue, basée sur la conjecture d'Ehrenfeucht, mais nécessite un travail additionnel considérable, dû à la génération non-séquentielle des résultats [89]. Enfin, nous avons étudié les propriétés algébriques des transducteurs uni-directionnels, et prouvé notamment la décidabilité de l'apériodicité de telles transductions [56, 57]. Ces résultats ont été présentés en conférences invitées à FCT'18, GALA'20 et STACS'19 [90].

Nous nous sommes également intéressés à étendre un résultat sur les automates pondérés de mots montrant que les séries qui sont à la fois max-plus et min-plus, sont non-ambiguës. La généralisation montrée dans [34] porte sur des automates pondérés sur les arbres, et consiste à séparer deux séries max-plus et min-plus par une série non-ambiguë. Nous avons en outre étudié les automates circulaires pondérés qui sont une sous-classe des

automates bi-directionnels [37]. Les séries qu'ils réalisent admettent différentes représentations et forment une classe cohérente en général strictement plus grande que celle des séries rationnelles.

Les travaux menés sur ces thématiques ont également fait l'objet d'une HDR (O. Gauwin, 2020), deux thèses soutenues et une en cours.

*Collaborations* : Université Libre de Bruxelles (Belgique), IIT Mumbai (Inde), Université d'Udine (Italie), Université de Varsovie (Pologne), Télécom Paris et IRIF.

*Financements* : ANR DeLTA.

**Vérification de programmes d'ordre supérieur.** Les fonctions d'ordre supérieur donnent aux langages de programmation des mécanismes pour adresser des problèmes fondamentaux tels que la modularité, la tolérance aux fautes ou l'optimisation des exécutions parallèles. De nos jours, ce paradigme a été intégré dans la majorité des langages de programmation modernes. Du point de vue de la vérification, l'ordre supérieur est un nouveau défi car les abstractions traditionnelles à base d'automates finis ou d'automates à pile sont rarement utiles dans ce contexte. Cette situation a motivé la formulation du problème de vérification pour ordre supérieur (higher-order model-checking, HOMC).

Le problème HOMC demande de l'expertise à la fois en sémantique et en vérification. Il a des connexions souvent surprenantes avec d'autres résultats dans les deux domaines. La décidabilité du problème a été démontrée en 2006 [92] et, depuis, plusieurs preuves alternatives ont été proposées, mais jusqu'à présent seulement deux en version journal [113, 71].

Notre objectif principal dans les cinq dernières années a été de comprendre les aspects sémantiques et algorithmiques du problème. Après plusieurs résultats intermédiaires [116, 115, 118], nous avons trouvé une construction de modèles finitaires qui permet de résoudre le problème HOMC [114]. Comme la construction est assez complexe, nous avons proposé une approche passant par une version du lambda-calcul adaptée au problème [123]. Cette approche relativement simple, et toujours sémantique, est modulaire et ouvre des possibilités d'utilisation pour des outils d'interprétation abstraite, afin d'accélérer la vérification des programmes d'ordre supérieur.

Nous avons aussi travaillé sur d'autres questions liées au HOMC [31, 117, 32]. Par exemple, nous avons identifié la première classe de propriétés non régulières pour laquelle le problème est décidable [32]. Nous avons coorganisé un séminaire Shonan sur le sujet [84] et rédigé un article de synthèse dans SIGLOG [122]. Les travaux menés ont fait aussi l'objet d'une HDR (S. Salvati [112]).

*Collaborations* : Université de Varsovie.

**Complexité de Kolmogorov.** La complexité de Kolmogorov est une théorie qui permet de mesurer la quantité d'aléatoire contenue dans un objet fini donné (formellement, la complexité de Kolmogorov  $K(x)$  d'un objet  $x$  est la taille du plus court programme binaire qui génère  $x$ ). Une des propriétés de base de la complexité de Kolmogorov est la loi de conservation, qui stipule qu'il est impossible d'augmenter la complexité de Kolmogorov de plus d'une constante au moyen d'une transformation calculable, c'est-à-dire : pour toute transformation calculable  $f$ , il existe une constante  $c_f$  telle que  $K(f(x)) \leq K(x) + c_f$  pour tout  $x$ . Un théorème plus subtil indique que la même chose reste vraie si l'on s'intéresse non pas directement à la complexité, mais à la densité d'aléatoire  $D(x) = K(x)/\text{taille}(x)$ . Cependant, dans ce second cas, le rôle du déterminisme est important : si l'on autorise

une transformation  $f$  non-déterministe, avec  $k > 1$  bits de “conseil”, alors il est possible d’augmenter la densité d’aléatoire ! La question qui se pose immédiatement est le lien entre  $k$  (nombre de bits de conseil) et l’augmentation maximale de la densité d’aléatoire. Des travaux de Zimand [124, 125] avaient permis d’obtenir des bornes mais la relation exacte restait une question ouverte depuis plus de quinze ans. Dans un travail récent [21], en collaboration avec l’Université de Waterloo, nous avons pu à l’aide de nouvelles méthodes combinatoires donner une solution complète au problème.

*Collaborations* : University of Waterloo (Canada)

*Financements* : ANR RaCaF

## 1.4 Organisation et vie de l’équipe

### 1.4.1 Pilotage

L’équipe MF est pilotée par un conseil d’équipe comportant huit membres :

- Jérôme Leroux, en tant que responsable.
- Hugo Gimbert, en tant que responsable adjoint.
- Sylvain Lombardy et Laurent Simon, en tant que responsables d’axe.
- Gabriele Puppis (jusqu’en 2019), Antoine Rollet, Géraud Sénizergues, et Marc Zeitoun en tant que membres élus.

Le conseil d’équipe se réunit régulièrement et les comptes rendus et ordres du jour sont disponibles pour les membres de l’équipe sur un blog en ligne. Ces conseils permettent par exemple de discuter des candidatures CNRS pour l’équipe (en moyenne 2 à 3 candidats pour l’équipe sont classés par le CoNRS 6 au concours chercheur CNRS), du classement des candidats ATER, des profils de poste, etc. En parallèle, l’équipe se réunit plusieurs fois par an.

### 1.4.2 Animation

L’équipe se caractérise par une animation scientifique fortement structurée par l’organisation d’un séminaire hebdomadaire, de groupes de travail thématiques (GT), et le co-encadrement de doctorants. La recherche se fait par petits groupes travaillant sur une thématique ou un problème de recherche financée (ou non) par un projet local (Idex, appel à projet LaBRI, ...), national (ANR, CNRS, ...), Européen (projet COST, ...), ou international. La recherche se fait aussi par des échanges de visites en France ou à l’étranger financés par des projets bilatéraux, ou encore dans le cadre privilégié de l’IRL franco-indienne ReLaX. Les membres de l’équipe ont ainsi un réseau de collaborateurs dans de nombreux laboratoires de recherche en France et à l’international.

Concernant le séminaire hebdomadaire, au début de la période, les axes “Logique, Graphes, et Langages” et “Modélisation et Vérification” avaient chacun un séminaire de recherche hebdomadaire. Pour permettre aux membres de l’équipe de suivre l’intégralité des séminaires en fixant un créneau unique, mais aussi pour renforcer la cohésion de l’équipe, et pour élargir le spectre thématique du séminaire en prenant en compte l’évolution des thématiques de recherche de l’équipe, nous avons décidé de fusionner ces deux séminaires pour créer un séminaire hebdomadaire d’équipe. Ce dernier est un lieu privilégié pour permettre à nos nombreux visiteurs nationaux et internationaux de présenter leur travaux (180 visiteurs étrangers sur la période). C’est aussi le lieu où les membres de l’équipe peuvent présenter leurs travaux de recherche en cours. La répartition entre les présentations de visiteurs extérieurs et de locaux sur la période était d’environ 70/30.

En plus de ce séminaire, plusieurs groupes de travail (GT) ont été créés par des membres de l'équipe pour l'ensemble des chercheurs du LaBRI. Ainsi, des membres de l'équipe participent aux GT *Intelligence artificielle* co-organisé par A. Zemmari (CombAlgo) et Laurent Simon depuis 2016, *Assistant de preuve* organisé par Pierre Castéran jusqu'en 2016, repris par Olivier Gauwin en 2018 et ensuite par David Ilcinkas (CombAlgo) et Jérôme Leroux, *Machine learning* organisé par par Nathanaël Fijalkow depuis 2018, *Logic + Data* organisé par Diego Figueira pendant 2019.

### 1.4.3 Organisation de l'équipe

Pendant la période 2015-2020, l'équipe était structurée en deux axes de recherche "Logique, Graphes, et Langages", et "Modélisation et Vérification" et plusieurs de ses membres étaient aussi membres de l'axe "Rhoban", transversal à plusieurs équipes du LaBRI.

- L'axe "Logique, Graphes, et Langages" (responsable Sylvain Lombardy) s'intéresse aux concepts fondamentaux de la théorie des langages que sont les grammaires, les automates, la reconnaissabilité exprimée en termes de congruences, qui ont été développés tout d'abord pour les mots et les termes finis et infinis mais sont maintenant appliqués à d'autres objets tels que les ordres partiels et les graphes, et à d'autres structures mathématiques que le monoïde et l'algèbre libre comme le groupe libre et différents types de semi-groupes. Les objectifs généraux sont toujours de décrire des familles d'objets par des moyens finis et de décider diverses propriétés d'objets et/ou d'ensembles infinis donnés par leurs descriptions finies.
- L'axe "Modélisation et Vérification" (responsable Laurent Simon) s'intéresse à la modélisation, la vérification et le test des systèmes informatiques complexes. Ils développent des méthodes rigoureuses pour garantir le bon fonctionnement des systèmes. L'axe représente la conjonction de trois types d'activités de recherche : 1) Une activité théorique, consistant à spécifier et étudier des formalismes variés, permettant de modéliser des systèmes critiques et d'exprimer les fonctionnalités attendues. Il s'agit de systèmes à états infinis et/ou réactifs, en particulier des systèmes distribués, temporisés, probabilistes,..., 2) Une activité algorithmique, développant des outils d'analyse de systèmes critiques : vérificateurs (model-checkers) et simulateurs. Cette activité va de la conception d'algorithmes jusqu'à leur implémentation, et 3) Une activité de modélisation plus pragmatique, qui a lieu dans le cadre de collaborations et de participations à des projets industriels. Longtemps limitée aux systèmes à espaces d'états finis, cette activité est en cours d'extension aux systèmes infinis (cf. AltaRica), qu'ils soient discrets ou continus (systèmes hybrides, systèmes stochastiques).
- L'axe "Rhoban" (responsable Olivier Ly) est un groupe de recherche en robotique autonome dont les principaux centres d'intérêt sont les robots humanoïdes autonomes, en particulier liés à la RoboCup, et la robotique agricole.

Du fait des nombreux recrutements et de l'évolution des thématiques de recherche des membres de l'équipe, une nouvelle structuration en quatre axes (appelés à devenir les équipes d'un département dans la future organisation du LaBRI) est présentée dans la section "Projet".

## Bibliographie

- [1] Sergio ABRIOLA, Pablo BARCELÓ, [Diego FIGUEIRA](#), and Santiago FIGUEIRA. "Bisimulations on Data Graphs." In: *J. Artif. Intell. Res.* 61 (2018), pp. 171–213. DOI: [10.1613/jair.5637](#).

- [2] Sergio ABRIOLA, [Diego FIGUEIRA](#), and Santiago FIGUEIRA. “Logics of Repeating Values on Data Trees and Branching Counter Systems.” In: *Foundations of Software Science and Computation Structures - 20th International Conference, FOSSACS 2017, Held as Part of the European Joint Conferences on Theory and Practice of Software, ETAPS 2017, Uppsala, Sweden, April 22-29, 2017, Proceedings*. Ed. by Javier ESPARZA and Andrzej S. MURAWSKI. Vol. 10203. Lecture Notes in Computer Science. 2017, pp. 196–212. DOI: 10.1007/978-3-662-54458-7\_12.
- [3] [Julien ALLALI](#), Louis DEGUILLAUME, [Rémi FABRE](#), Loïc GONDRIY, [Ludovic HOFER](#), [Olivier LY](#), [Steve N’GUYEN](#), [Grégoire PASSAULT](#), Antoine PIRNONE, and [Quentin ROUXEL](#). “Rhuban Football Club: RoboCup Humanoid Kid-Size 2016 Champion Team Paper.” In: *RoboCup 2016: Robot World Cup XX [Leipzig, Germany, June 30 - July 4, 2016]*. Ed. by Sven BEHNKE, Raymond SHEH, Sanem SARIEL, and Daniel D. LEE. Vol. 9776. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2016, pp. 491–502. DOI: 10.1007/978-3-319-68792-6\_41.
- [4] [Julien ALLALI](#), [Rémi FABRE](#), Loïc GONDRIY, [Ludovic HOFER](#), [Olivier LY](#), [Steve N’GUYEN](#), [Grégoire PASSAULT](#), Antoine PIRNONE, and [Quentin ROUXEL](#). “Rhuban Football Club: RoboCup Humanoid Kid-Size 2017 Champion Team Paper.” In: *RoboCup 2017: Robot World Cup XXI [Nagoya, Japan, July 27-31, 2017]*. Ed. by Hidehisa AKIYAMA, Oliver OBST, Claude SAMMUT, and Flavio TONIDANDEL. Vol. 11175. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2017, pp. 423–434. DOI: 10.1007/978-3-030-00308-1\_35.
- [5] Jorge ALMEIDA, Alfredo COSTA, José Carlos COSTA, and [Marc ZEITOUN](#). “The linear nature of pseudowords.” In: *Publicacions Matemàtiques* 63 (2019), pp. 361–422. DOI: 10.5565/PUBLMAT6321901.
- [6] Jorge ALMEIDA, José Carlos COSTA, and [Marc ZEITOUN](#). “McCammond’s normal forms for free aperiodic semigroups revisited.” In: *LMS Journal of Computation and Mathematics* 18.1 (2015), pp. 130–147. DOI: 10.1112/S1461157014000448.
- [7] Jorge ALMEIDA, José Carlos COSTA, and [Marc ZEITOUN](#). “Factoriality and the Pin-Reutenauer procedure.” In: *Discret. Math. Theor. Comput. Sci.* 18.3 (2016). URL: <http://dmtcs.episciences.org/1412>.
- [8] Jorge ALMEIDA, José Carlos COSTA, and [Marc ZEITOUN](#). “Reducibility of pointlike problems.” In: *Semigroup Forum* 94.2 (Apr. 2017), pp. 325–335. DOI: 10.1007/s00233-015-9769-2.
- [9] Carlos ANSÓTEGUI, Maria Luisa BONET, Jesús GIRÁLDEZ-CRU, Jordi LEVY, and [Laurent SIMON](#). “Community Structure in Industrial SAT Instances.” In: *J. Artif. Intell. Res.* 66 (2019), pp. 443–472. DOI: 10.1613/jair.1.11741.
- [10] Myrto ARAPINIS, [Diego FIGUEIRA](#), and Marco GABOARDI. “Sensitivity of Counting Queries.” In: *43rd International Colloquium on Automata, Languages, and Programming, ICALP 2016, July 11-15, 2016, Rome, Italy*. Ed. by Ioannis CHATZIGIANNAKIS, Michael MITZENMACHER, Yuval RABANI, and Davide SANGIORGI. Vol. 55. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2016, 120:1–120:13. DOI: 10.4230/LIPIcs.ICALP.2016.120.
- [11] Albert ATSERIAS, Anuj DAWAR, and [Joanna OCHREMIK](#). “On the Power of Symmetric Linear Programs.” In: *34th Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science, LICS 2019, Vancouver, BC, Canada, June 24-27, 2019*. IEEE, 2019, pp. 1–13. DOI: 10.1109/LICS.2019.8785792.
- [12] Gilles AUDEMARD and [Laurent SIMON](#). “On the Glucose SAT Solver.” In: *Int. J. Artif. Intell. Tools* 27.1 (2018), 1840001:1–1840001:25. DOI: 10.1142/S0218213018400018.



- [13] Pablo BARCELÓ, [Diego FIGUEIRA](#), and Miguel ROMERO. “Boundedness of Conjunctive Regular Path Queries.” In: *46th International Colloquium on Automata, Languages, and Programming, ICALP 2019, July 9-12, 2019, Patras, Greece*. Ed. by Christel BAIER, Ioannis CHATZIGIANNAKIS, Paola FLOCCHINI, and Stefano LEONARDI. Vol. 132. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2019, 104:1–104:15. DOI: 10.4230/LIPIcs.ICALP.2019.104.
- [14] [Félix BASCHENIS](#), [Olivier GAUWIN](#), [Anca MUSCHOLL](#), and [Gabriele PUPPIS](#). “Untwisting two-way transducers in elementary time.” In: *32nd Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science, LICS 2017, Reykjavik, Iceland, June 20-23, 2017*. IEEE Computer Society, 2017, pp. 1–12. DOI: 10.1109/LICS.2017.8005138.
- [15] [Félix BASCHENIS](#), [Olivier GAUWIN](#), [Anca MUSCHOLL](#), and [Gabriele PUPPIS](#). “One-way definability of two-way word transducers.” In: *Log. Methods Comput. Sci.* 14.4 (2018). DOI: 10.23638/LMCS-14(4:22)2018.
- [16] Frédérique BASSINO, Cyril NICAUD, and [Pascal WEIL](#). “Generic properties of subgroups of free groups and finite presentations.” In: *Algebra and Computer Science*. Ed. by Delaram KAHROBAEI, Bren CAVALLO, and David GARBER. Vol. 677. Contemporary Mathematics. American Mathematical Society, 2016, pp. 1–44. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01171484>.
- [17] Frédérique BASSINO, Cyril NICAUD, and [Pascal WEIL](#). “On the genericity of Whitehead minimality.” In: *Journal of Group Theory* 19.1 (2016), pp. 137–159. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00919489>.
- [18] [Guillaume BAUD-BERTHIER](#) and [Laurent SIMON](#). “Zigzagging Strategies for Temporal Induction.” In: *IEEE 30th International Conference on Tools with Artificial Intelligence, ICTAI 2018, 5-7 November 2018, Volos, Greece*. Ed. by Lefteri H. TSOUKALAS, Éric GRÉGOIRE, and Miltiadis ALAMANIOTIS. IEEE, 2018, pp. 744–748. DOI: 10.1109/ICTAI.2018.00117.
- [19] Nathalie BERTRAND, Miheer DEWASKAR, Blaise GENEST, and [Hugo GIMBERT](#). “Controlling a Population.” In: *28th International Conference on Concurrency Theory, CONCUR 2017, September 5-8, 2017, Berlin, Germany*. Ed. by Roland MEYER and Uwe NESTMANN. Vol. 85. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2017, 12:1–12:16. DOI: 10.4230/LIPIcs.CONCUR.2017.12.
- [20] Nathalie BERTRAND, Blaise GENEST, and [Hugo GIMBERT](#). “Qualitative Determinacy and Decidability of Stochastic Games with Signals.” In: *J. ACM* 64.5 (2017), 33:1–33:48. DOI: 10.1145/3107926.
- [21] [Laurent BIENVENU](#), BARBARA, and Matthew HARRISON-TRAINOR. “Optimal bounds for single-source randomness extractors.” In: *Transactions of the American Mathematical Society* 373.3 (2019), pp. 1983–2006.
- [22] [Laurent BIENVENU](#) and Rod DOWNEY. “On low for speed oracles.” In: *J. Comput. Syst. Sci.* 108 (2020), pp. 49–63. DOI: 10.1016/j.jcss.2019.08.007.
- [23] [Laurent BIENVENU](#) and Rodney G. DOWNEY. “On Low for Speed Oracles.” In: *35th Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science, STACS 2018, February 28 to March 3, 2018, Caen, France*. Ed. by Rolf NIEDERMEIER and Brigitte VALLÉE. Vol. 96. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2018, 15:1–15:13. DOI: 10.4230/LIPIcs.STACS.2018.15.
- [24] Meghyn BIENVENU and Camille BOURGAUX. “Querying and Repairing Inconsistent Prioritized Knowledge Bases: Complexity Analysis and Links with Abstract Argumentation.” In: *Proceedings of the 17th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR)*. 2020.
- [25] [Meghyn BIENVENU](#), Camille BOURGAUX, and François GOASDOUÉ. “Computing and Explaining Query Answers over Inconsistent DL-Lite Knowledge Bases.” In: *J. Artif. Intell. Res.* 64 (2019), pp. 563–644. DOI: 10.1613/jair.1.11395.

- [26] [Meghyn BIENVENU](#) and Pierre BOURHIS. “Mixed-World Reasoning with Existential Rules under Active-Domain Semantics.” In: *Proceedings of the Twenty-Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI 2019, Macao, China, August 10-16, 2019*. Ed. by Sarit KRAUS. ijcai.org, 2019, pp. 1558–1565. DOI: [10.24963/ijcai.2019/216](#).
- [27] Meghyn BIENVENU, Quentin MANIÈRE, and Michaël THOMAZO. “Answering Counting Queries over DL-Lite Ontologies.” In: *Proceedings of the Twenty-Ninth International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI 2020*. Ed. by Christian BESSIERE. ijcai.org, 2020, pp. 1608–1614.
- [28] Mikolaj BOJANCZYK, [Hugo GIMBERT](#), and Edon KEMENDI. “Emptiness of Zero Automata Is Decidable.” In: *44th International Colloquium on Automata, Languages, and Programming, ICALP 2017, July 10-14, 2017, Warsaw, Poland*. Ed. by Ioannis CHATZIGIANNAKIS, Piotr INDYK, Fabian KUHN, and [Anca MUSCHOLL](#). Vol. 80. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2017, 106:1–106:13. DOI: [10.4230/LIPIcs.ICALP.2017.106](#).
- [29] Damien BUSATTO-GASTON, Benjamin MONMEGE, Pierre-Alain REYNIER, and Ocan SANKUR. “Robust Controller Synthesis in Timed Büchi Automata: A Symbolic Approach.” In: *Computer Aided Verification - 31st International Conference, CAV 2019, New York City, NY, USA, July 15-18, 2019, Proceedings, Part I*. Ed. by Isil DILLIG and Serdar TASIRAN. Vol. 11561. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2019, pp. 572–590. DOI: [10.1007/978-3-030-25540-4\\_33](#).
- [30] Michaël CADILHAC, Filip MAZOWIECKI, Charles PAPERMAN, Michal PILIPCZUK, and [Géraud SÉNIZ-ERGUES](#). “On Polynomial Recursive Sequences.” In: *47th International Colloquium on Automata, Languages, and Programming, ICALP 2020, July 8-11, 2020, Saarbrücken, Germany (Virtual Conference)*. Ed. by Artur CZUMAJ, Anuj DAWAR, and Emanuela MERELLI. Vol. 168. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2020, 117:1–117:17. DOI: [10.4230/LIPIcs.ICALP.2020.117](#).
- [31] Lorenzo CLEMENTE, Pawel PARYS, [Sylvain SALVATI](#), and [Igor WALUKIEWICZ](#). “Ordered Tree-Pushdown Systems.” In: *35th IARCS Annual Conference on Foundation of Software Technology and Theoretical Computer Science, FSTTCS 2015, December 16-18, 2015, Bangalore, India*. Ed. by Prahladh HARSHA and G. RAMALINGAM. Vol. 45. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2015, pp. 163–177. DOI: [10.4230/LIPIcs.FSTTCS.2015.163](#).
- [32] Lorenzo CLEMENTE, Pawel PARYS, [Sylvain SALVATI](#), and [Igor WALUKIEWICZ](#). “The Diagonal Problem for Higher-Order Recursion Schemes is Decidable.” In: *Proceedings of the 31st Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science, LICS '16, New York, NY, USA, July 5-8, 2016*. Ed. by Martin GROHE, Eric KOSKINEN, and Natarajan SHANKAR. ACM, 2016, pp. 96–105. DOI: [10.1145/2933575.2934527](#).
- [33] Thomas COLCOMBET, [Nathanaël FIJALKOW](#), and Pierre OHLMANN. “Controlling a Random Population.” In: *Foundations of Software Science and Computation Structures - 23rd International Conference, FOSSACS 2020, Held as Part of the European Joint Conferences on Theory and Practice of Software, ETAPS 2020, Dublin, Ireland, April 25-30, 2020, Proceedings*. Ed. by Jean GOUBAULT-LARRECQ and Barbara KÖNIG. Vol. 12077. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2020, pp. 119–135. DOI: [10.1007/978-3-030-45231-5\\_7](#).
- [34] Thomas COLCOMBET and [Sylvain LOMBARDY](#). “Unambiguous Separators for Tropical Tree Automata.” In: *37th International Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science, STACS 2020, March 10-13, 2020, Montpellier, France*. Ed. by Christophe PAUL and Markus BLÄSER. Vol. 154. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2020, 32:1–32:13. DOI: [10.4230/LIPIcs.STACS.2020.32](#).



- [35] Wojciech CZERWINSKI, Laure DAVIAUD, [Nathanaël FIJALKOW](#), Marcin JURDZINSKI, Ranko LAZIC, and Pawel PARYS. “Universal trees grow inside separating automata: Quasi-polynomial lower bounds for parity games.” In: *Proceedings of the Thirtieth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, SODA 2019, San Diego, California, USA, January 6-9, 2019*. Ed. by Timothy M. CHAN. SIAM, 2019, pp. 2333–2349. DOI: 10.1137/1.9781611975482.142.
- [36] Wojciech CZERWINSKI, Slawomir LASOTA, Ranko LAZIC, [Jérôme LEROUX](#), and [Filip MAZOWIECKI](#). “The reachability problem for Petri nets is not elementary.” In: *Proceedings of the 51st Annual ACM SIGACT Symposium on Theory of Computing, STOC 2019, Phoenix, AZ, USA, June 23-26, 2019*. Ed. by Moses CHARIKAR and Edith COHEN. ACM, 2019, pp. 24–33. DOI: 10.1145/3313276.3316369.
- [37] [Louis-Marie DANDO](#) and [Sylvain LOMBARDY](#). “From Hadamard expressions to weighted rotating automata and back.” In: *Theor. Comput. Sci.* 787 (2019), pp. 28–44. DOI: 10.1016/j.tcs.2018.09.017.
- [38] Volker DIEKERT, Florent MARTIN, [Géraud SÉNIZERGUES](#), and Pedro V. SILVA. “Equations over Free Inverse Monoids with Idempotent Variables.” In: *Computer Science - Theory and Applications - 10th International Computer Science Symposium in Russia, CSR 2015, Listvyanka, Russia, July 13-17, 2015, Proceedings*. Ed. by Lev D. BEKLEMISHEV and Daniil V. MUSATOV. Vol. 9139. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2015, pp. 173–188. DOI: 10.1007/978-3-319-20297-6\_12.
- [39] Volker DIEKERT, Florent MARTIN, [Géraud SÉNIZERGUES](#), and Pedro V. SILVA. “Equations Over Free Inverse Monoids with Idempotent Variables.” In: *Theory Comput. Syst.* 61.2 (2017), pp. 494–520. DOI: 10.1007/s00224-016-9693-1.
- [40] Jan ELFFERS, Jesús GIRÁLDEZ-CRU, Stephan GOCHT, Jakob NORDSTRÖM, and [Laurent SIMON](#). “Seeking Practical CDCL Insights from Theoretical SAT Benchmarks.” In: *Proceedings of the Twenty-Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI 2018, July 13-19, 2018, Stockholm, Sweden*. Ed. by Jérôme LANG. ijcai.org, 2018, pp. 1300–1308. DOI: 10.24963/ijcai.2018/181.
- [41] Javier ESPARZA, Denis KUPERBERG, [Anca MUSCHOLL](#), and [Igor WALUKIEWICZ](#). “Soundness in negotiations.” In: *Log. Methods Comput. Sci.* 14.1 (2018). DOI: 10.23638/LMCS-14(1:4)2018.
- [42] Javier ESPARZA, [Anca MUSCHOLL](#), and [Igor WALUKIEWICZ](#). “Static analysis of deterministic negotiations.” In: *32nd Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science, LICS 2017, Reykjavik, Iceland, June 20-23, 2017*. IEEE Computer Society, 2017, pp. 1–12. DOI: 10.1109/LICS.2017.8005144.
- [43] Yliès FALCONE, Leonardo MARIANI, [Antoine ROLLET](#), and Saikat SAHA. “Runtime Failure Prevention and Reaction.” In: *Lectures on Runtime Verification*. Ed. by Ezio BARTOCCI and Yliès FALCONE. Vol. 10457. Lecture Notes in Computer Science. Springer, Feb. 2018, pp. 103–134. DOI: 10.1007/978-3-319-75632-5.
- [44] [Diego FIGUEIRA](#). “Semantically Acyclic Conjunctive Queries under Functional Dependencies.” In: *Proceedings of the 31st Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science, LICS '16, New York, NY, USA, July 5-8, 2016*. Ed. by Martin GROHE, Eric KOSKINEN, and Natarajan SHANKAR. ACM, 2016, pp. 847–856. DOI: 10.1145/2933575.2933580.
- [45] [Diego FIGUEIRA](#). “Satisfiability of Xpath on data trees.” In: *ACM SIGLOG News* 5.2 (2018), pp. 4–16. URL: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=3212021>.
- [46] [Diego FIGUEIRA](#). “Containment of UC2RPQ: The Hard and Easy Cases.” In: *23rd International Conference on Database Theory, ICDT 2020, March 30-April 2, 2020, Copenhagen, Denmark*. Ed. by Carsten LUTZ and Jean Christoph JUNG. Vol. 155. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2020, 9:1–9:18. DOI: 10.4230/LIPIcs.ICDT.2020.9.

- [47] [Diego FIGUEIRA](#), Santiago FIGUEIRA, and Carlos ARECES. “Model Theory of XPath on Data Trees. Part I: Bisimulation and Characterization.” In: *J. Artif. Intell. Res.* 53 (2015), pp. 271–314. doi: 10.1613/jair.4658.
- [48] [Diego FIGUEIRA](#), Santiago FIGUEIRA, and Edwin Pin BAQUE. “Finite Controllability for Ontology-Mediated Query Answering of CRPQ.” In: *Principles of Knowledge Representation and Reasoning: KR 2020*. AAAI Press, 2020.
- [49] [Diego FIGUEIRA](#), Adwait GODBOLE, S. KRISHNA, Wim MARTENS, Matthias NIEWERTH, and Tina TRAUTNER. “Containment of Simple Regular Path Queries.” In: *Principles of Knowledge Representation and Reasoning: KR 2020*. AAAI Press, 2020.
- [50] [Diego FIGUEIRA](#), Ranko LAZIC, [Jérôme LEROUX](#), [Filip MAZOWIECKI](#), and [Grégoire SUTRE](#). “Polynomial-Space Completeness of Reachability for Succinct Branching VASS in Dimension One.” In: *44th International Colloquium on Automata, Languages, and Programming, ICALP 2017, July 10-14, 2017, Warsaw, Poland*. Ed. by Ioannis CHATZIGIANNAKIS, Piotr INDYK, Fabian KUHN, and [Anca MUSCHOLL](#). Vol. 80. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2017, 119:1–119:14. doi: 10.4230/LIPIcs.ICALP.2017.119.
- [51] [Diego FIGUEIRA](#) and Luc SEGOUFIN. “Bottom-up automata on data trees and vertical XPath.” In: *Log. Methods Comput. Sci.* 13.4 (2017). doi: 10.23638/LMCS-13(4:5)2017.
- [52] [Nathanaël FIJALKOW](#). “An Optimal Value Iteration Algorithm for Parity Games.” In: *CoRR abs/1801.09618* (2018). arXiv: 1801.09618. URL: <http://arxiv.org/abs/1801.09618>.
- [53] [Nathanaël FIJALKOW](#). “The Theory of Universal Graphs for Games: Past and Future.” In: *Coalgebraic Methods in Computer Science - 15th IFIP WG 1.3 International Workshop, CMCS 2020, Colocated with ETAPS 2020, Dublin, Ireland, April 25-26, 2020, Proceedings*. Ed. by Daniela PETRISAN and Jurriaan ROT. Vol. 12094. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2020, pp. 1–10. doi: 10.1007/978-3-030-57201-3\_1.
- [54] [Nathanaël FIJALKOW](#), Pawel GAWRYCHOWSKI, and Pierre OHLMANN. “Value Iteration Using Universal Graphs and the Complexity of Mean Payoff Games.” In: *45th International Symposium on Mathematical Foundations of Computer Science, MFCS 2020, August 24-28, 2020, Prague, Czech Republic*. Ed. by Javier ESPARZA and Daniel KRÁL’. Vol. 170. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2020, 34:1–34:15. doi: 10.4230/LIPIcs.MFCS.2020.34.
- [55] [Nathanaël FIJALKOW](#), [Guillaume LAGARDE](#), Pierre OHLMANN, and Olivier SERRE. “Lower Bounds for Arithmetic Circuits via the Hankel Matrix.” In: *37th International Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science, STACS 2020, March 10-13, 2020, Montpellier, France*. Ed. by Christophe PAUL and Markus BLÄSER. Vol. 154. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2020, 24:1–24:17. doi: 10.4230/LIPIcs.STACS.2020.24.
- [56] Emmanuel FILIOT, [Olivier GAUWIN](#), and [Nathan LHOTE](#). “First-order definability of rational transductions: An algebraic approach.” In: *Proceedings of the 31st Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science, LICS ’16, New York, NY, USA, July 5-8, 2016*. Ed. by Martin GROHE, Eric KOSKINEN, and Natarajan SHANKAR. ACM, 2016, pp. 387–396. doi: 10.1145/2933575.2934520.
- [57] Emmanuel FILIOT, [Olivier GAUWIN](#), and [Nathan LHOTE](#). “Logical and Algebraic Characterizations of Rational Transductions.” In: *Log. Methods Comput. Sci.* 15.4 (2019). URL: <https://lmcs.episciences.org/5988>.

- [58] Emmanuel FILIOT, Olivier GAUWIN, Pierre-Alain REYNIER, and Frédéric SERVAIS. “From Two-Way to One-Way Finite State Transducers.” In: *28th Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science, LICS 2013, New Orleans, LA, USA, June 25-28, 2013*. IEEE Computer Society, 2013, pp. 468–477. DOI: 10.1109/LICS.2013.53.
- [59] Marie FORTIN, Anca MUSCHOLL, and Igor WALUKIEWICZ. “Model-Checking Linear-Time Properties of Parametrized Asynchronous Shared-Memory Pushdown Systems.” In: *Computer Aided Verification - 29th International Conference, CAV 2017, Heidelberg, Germany, July 24-28, 2017, Proceedings, Part II*. Ed. by Rupak MAJUMDAR and Viktor KUNCÁK. Vol. 10427. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2017, pp. 155–175. DOI: 10.1007/978-3-319-63390-9\_9.
- [60] Rohan FOSSÉ and Laurent SIMON. “On the Non-degeneracy of Unsatisfiability Proof Graphs Produced by SAT Solvers.” In: *Principles and Practice of Constraint Programming - 24th International Conference, CP 2018, Lille, France, August 27-31, 2018, Proceedings*. Ed. by John N. HOOKER. Vol. 11008. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2018, pp. 128–143. DOI: 10.1007/978-3-319-98334-9\_9.
- [61] Paulin FOURNIER and Hugo GIMBERT. “Alternating Nonzero Automata.” In: *29th International Conference on Concurrency Theory, CONCUR 2018, September 4-7, 2018, Beijing, China*. Ed. by Sven SCHEWE and Lijun ZHANG. Vol. 118. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2018, 13:1–13:16. DOI: 10.4230/LIPIcs.CONCUR.2018.13.
- [62] Paul GASTIN, Sayan MUKHERJEE, and B. SRIVATHSAN. “Fast Algorithms for Handling Diagonal Constraints in Timed Automata.” In: *Computer Aided Verification - 31st International Conference, CAV 2019, New York City, NY, USA, July 15-18, 2019, Proceedings, Part I*. Ed. by Isil DILLIG and Serdar TASIRAN. Vol. 11561. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2019, pp. 41–59. DOI: 10.1007/978-3-030-25540-4\_3.
- [63] Thomas GEFFROY, Jérôme LEROUX, and Grégoire SUTRE. “Occam’s Razor Applied to the Petri Net Coverability Problem.” In: *Reachability Problems - 10th International Workshop, RP 2016, Aalborg, Denmark, September 19-21, 2016, Proceedings*. Ed. by Kim Guldstrand LARSEN, Igor POTAPOV, and Jiri SRBA. Vol. 9899. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2016, pp. 77–89. DOI: 10.1007/978-3-319-45994-3\_6.
- [64] Thomas GEFFROY, Jérôme LEROUX, and Grégoire SUTRE. “Occam’s Razor applied to the Petri net coverability problem.” In: *Theor. Comput. Sci.* 750 (2018), pp. 38–52. DOI: 10.1016/j.tcs.2018.04.014.
- [65] Hugo GIMBERT. “On the Control of Asynchronous Automata.” In: *37th IARCS Annual Conference on Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science, FSTTCS 2017, December 11-15, 2017, Kanpur, India*. Ed. by Satya V. LOKAM and R. RAMANUJAM. Vol. 93. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2017, 30:1–30:15. DOI: 10.4230/LIPIcs.FSTTCS.2017.30.
- [66] Hugo GIMBERT and Rasmus IBSEN-JENSEN. “A short proof of correctness of the quasi-polynomial time algorithm for parity games.” In: *CoRR abs/1702.01953* (2017). arXiv: 1702.01953. URL: <http://arxiv.org/abs/1702.01953>.
- [67] Hugo GIMBERT, Soumyajit PAUL, and B. SRIVATHSAN. “A Bridge between Polynomial Optimization and Games with Imperfect Recall.” In: *Proceedings of the 19th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems, AAMAS ’20, Auckland, New Zealand, May 9-13, 2020*. Ed. by Amal El Fallah SEGHRUCHNI, Gita SUKTHANKAR, Bo AN, and Neil YORKE-SMITH. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, 2020, pp. 456–464. URL: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/3398761.3398818>.

- [68] Loïc GONDY, Ludovic HOFER, Patxi LABORDE-ZUBIETA, Olivier LY, Lucie MATHÉ, Grégoire PASSAULT, Antoine PIRRONÉ, and Antun SKURIC. “Rhuban Football Club: RoboCup Humanoid KidSize 2019 Champion Team Paper.” In: *RoboCup 2019: Robot World Cup XXIII [Sydney, NSW, Australia, July 8, 2019]*. Ed. by Stephan K. CHALUP, Tim NIEMÜLLER, Jackrit SUTHAKORN, and Mary-Anne WILLIAMS. Vol. 11531. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2019, pp. 491–503. DOI: 10.1007/978-3-030-35699-6\_40.
- [69] R. GOVIND, Frédéric HERBRETEAU, B. SRIVATHSAN, and Igor WALUKIEWICZ. “Revisiting Local Time Semantics for Networks of Timed Automata.” In: *30th International Conference on Concurrency Theory, CONCUR 2019, August 27-30, 2019, Amsterdam, the Netherlands*. Ed. by Wan J. FOKKINK and Rob van GLABBEK. Vol. 140. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2019, 16:1–16:15. DOI: 10.4230/LIPIcs.CONCUR.2019.16.
- [70] Matthew HAGUE. “Parameterised Pushdown Systems with Non-Atomic Writes.” In: *IARCS Annual Conference on Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science, FSTTCS 2011, December 12-14, 2011, Mumbai, India*. Ed. by Supratik CHAKRABORTY and Amit KUMAR. Vol. 13. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2011, pp. 457–468. DOI: 10.4230/LIPIcs.FSTTCS.2011.457.
- [71] Matthew HAGUE, Andrzej S. MURAWSKI, C.-H. Luke ONG, and Olivier SERRE. “Collapsible Pushdown Automata and Recursion Schemes.” In: *ACM Trans. Comput. Log.* 18.3 (2017), 25:1–25:42. DOI: 10.1145/3091122.
- [72] Frédéric HERBRETEAU and Gérald POINT. *TChecker: an open-source model-checker for timed systems*. <https://github.com/ticktac-project/tchecker>. 2019.
- [73] Frédéric HERBRETEAU, B. SRIVATHSAN, Thanh Tung TRAN, and Igor WALUKIEWICZ. “Why Liveness for Timed Automata Is Hard, and What We Can Do About It.” In: *36th IARCS Annual Conference on Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science, FSTTCS 2016, December 13-15, 2016, Chennai, India*. Ed. by Akash LAL, S. AKSHAY, Saket SAURABH, and Sandeep SEN. Vol. 65. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2016, 48:1–48:14. DOI: 10.4230/LIPIcs.FSTTCS.2016.48.
- [74] Frédéric HERBRETEAU, B. SRIVATHSAN, Thanh-Tung TRAN, and Igor WALUKIEWICZ. “Why Liveness for Timed Automata Is Hard, and What We Can Do About It.” In: *ACM Trans. Comput. Log.* 21.3 (2020), 17:1–17:28. DOI: 10.1145/3372310.
- [75] Frédéric HERBRETEAU, B. SRIVATHSAN, and Igor WALUKIEWICZ. “Better abstractions for timed automata.” In: *Inf. Comput.* 251 (2016), pp. 67–90. DOI: 10.1016/j.ic.2016.07.004.
- [76] Frédéric HERBRETEAU and Thanh Tung TRAN. “Improving Search Order for Reachability Testing in Timed Automata.” In: *Formal Modeling and Analysis of Timed Systems - 13th International Conference, FORMATS 2015, Madrid, Spain, September 2-4, 2015, Proceedings*. Ed. by Sriram SANKARANARAYANAN and Enrico VICARIO. Vol. 9268. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2015, pp. 124–139. DOI: 10.1007/978-3-319-22975-1\_9.
- [77] Marijn J. H. HEULE, Oliver KULLMANN, and Victor W. MAREK. “Solving and Verifying the Boolean Pythagorean Triples Problem via Cube-and-Conquer.” In: *Theory and Applications of Satisfiability Testing - SAT 2016 - 19th International Conference, Bordeaux, France, July 5-8, 2016, Proceedings*. Ed. by Nadia CREIGNOU and Daniel Le BERRE. Vol. 9710. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2016, pp. 228–245. DOI: 10.1007/978-3-319-40970-2\_15.



- [78] [Ludovic HOFER](#) and [Hugo GIMBERT](#). “Online Reinforcement Learning for Real-Time Exploration in Continuous State and Action Markov Decision Processes.” In: *PlanRob 4th, Workshop of ICAPS 26th*. Londres, United Kingdom, June 2016. URL: <https://hal.inria.fr/hal-01416179>.
- [79] [David JANIN](#). “Inverse Monoids of Higher-Dimensional Strings.” In: *Theoretical Aspects of Computing - ICTAC 2015 - 12th International Colloquium Cali, Colombia, October 29-31, 2015, Proceedings*. Ed. by Martin LEUCKER, Camilo RUEDA, and Frank D. VALENCIA. Vol. 9399. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2015, pp. 126–143. DOI: 10.1007/978-3-319-25150-9\_9.
- [80] [David JANIN](#). “Walking Automata in Free Inverse Monoids.” In: *SOFSEM 2016: Theory and Practice of Computer Science - 42nd International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Computer Science, Harrachov, Czech Republic, January 23-28, 2016, Proceedings*. Ed. by Rusins Martins FREIVALDS, Gregor ENGELS, and Barbara CATANIA. Vol. 9587. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2016, pp. 314–328. DOI: 10.1007/978-3-662-49192-8\_26.
- [81] [Edon KELMENDI](#) and [Hugo GIMBERT](#). “Deciding Maxmin Reachability in Half-Blind Stochastic Games.” In: *Algorithmic Game Theory - 9th International Symposium, SAGT 2016, Liverpool, UK, September 19-21, 2016, Proceedings*. Ed. by Martin GAIRING and Rahul SAVANI. Vol. 9928. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2016, pp. 52–63. DOI: 10.1007/978-3-662-53354-3\_5.
- [82] Olga KHARLAMPOVICH, Alexei MIASNIKOV, and [Pascal WEIL](#). “Stallings graphs for quasi-convex subgroups.” In: *Journal of Algebra* 488 (Oct. 2017). 40 pages. New and improved version, pp. 442–483. DOI: 10.1016/j.jalgebra.2017.05.037.
- [83] Olga KHARLAMPOVICH and [Pascal WEIL](#). “On the Generalized Membership Problem in Relatively Hyperbolic Groups.” In: *Fields of Logic and Computation III - Essays Dedicated to Yuri Gurevich on the Occasion of His 80th Birthday*. Ed. by Andreas BLASS, Patrick CÉGIELSKI, Nachum DERSHOWITZ, Manfred DROSTE, and Bernd FINKBEINER. Vol. 12180. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2020, pp. 147–155. DOI: 10.1007/978-3-030-48006-6\_11.
- [84] Naoki KOBAYASHI, Luke ONG, and Igor WALUKIEWICZ. “Higher-Order Model Checking (NII Shonan Meeting 2016-4).” In: *NII Shonan Meet. Rep.* 2016 (2016). URL: <http://shonan.nii.ac.jp/shonan/report/no-2016-4/>.
- [85] Salvatore la TORRE, [Anca MUSCHOLL](#), and [Igor WALUKIEWICZ](#). “Safety of Parametrized Asynchronous Shared-Memory Systems is Almost Always Decidable.” In: *26th International Conference on Concurrency Theory, CONCUR 2015, Madrid, Spain, September 1-4, 2015*. Ed. by Luca ACETO and David de FRUTOS-ESCRIG. Vol. 42. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2015, pp. 72–84. DOI: 10.4230/LIPIcs.CONCUR.2015.72.
- [86] [Jérôme LEROUX](#) and Sylvain SCHMITZ. “Reachability in Vector Addition Systems is Primitive-Recursive in Fixed Dimension.” In: *34th Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science, LICS 2019, Vancouver, BC, Canada, June 24-27, 2019*. IEEE, 2019, pp. 1–13. DOI: 10.1109/LICS.2019.8785796.
- [87] [Jérôme LEROUX](#), [Grégoire SUTRE](#), and Patrick TOTZKE. “On the Coverability Problem for Pushdown Vector Addition Systems in One Dimension.” In: *Automata, Languages, and Programming - 42nd International Colloquium, ICALP 2015, Kyoto, Japan, July 6-10, 2015, Proceedings, Part II*. Ed. by Magnús M. HALLDÓRSSON, Kazuo IWAMA, Naoki KOBAYASHI, and Bettina SPECKMANN. Vol. 9135. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2015, pp. 324–336. DOI: 10.1007/978-3-662-47666-6\_26.

- [88] [Olivier LY](#), [Hugo GIMBERT](#), [Grégoire PASSAULT](#), and Gerald BARON. “A Fully Autonomous Robot for Putting Posts for Trellising Vineyard with Centimetric Accuracy.” In: *2015 IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions, ICARSC 2015, Vila Real, Portugal, April 8-10, 2015*. IEEE, 2015, pp. 44–49. doi: 10.1109/ICARSC.2015.42.
- [89] [Anca MUSCHOLL](#) and [Gabriele PUPPIS](#). “Equivalence of Finite-Valued Streaming String Transducers Is Decidable.” In: *46th International Colloquium on Automata, Languages, and Programming, ICALP 2019, July 9-12, 2019, Patras, Greece*. Ed. by Christel BAIER, Ioannis CHATZIGIANNAKIS, Paola FLOCCHINI, and Stefano LEONARDI. Vol. 132. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2019, 122:1–122:15. doi: 10.4230/LIPIcs.ICALP.2019.122.
- [90] [Anca MUSCHOLL](#) and [Gabriele PUPPIS](#). “The Many Facets of String Transducers (Invited Talk).” In: *36th International Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science, STACS 2019, March 13-16, 2019, Berlin, Germany*. Ed. by Rolf NIEDERMEIER and Christophe PAUL. Vol. 126. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2019, 2:1–2:21. doi: 10.4230/LIPIcs.STACS.2019.2.
- [91] [Anca MUSCHOLL](#), Helmut SEIDL, and [Igor WALUKIEWICZ](#). “Reachability for Dynamic Parametric Processes.” In: *Verification, Model Checking, and Abstract Interpretation - 18th International Conference, VMCAI 2017, Paris, France, January 15-17, 2017, Proceedings*. Ed. by Ahmed BOUAIJANI and David MONNIAUX. Vol. 10145. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2017, pp. 424–441. doi: 10.1007/978-3-319-52234-0\_23.
- [92] C.-H. Luke ONG. “On Model-Checking Trees Generated by Higher-Order Recursion Schemes.” In: *21th IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS 2006), 12-15 August 2006, Seattle, WA, USA, Proceedings*. IEEE Computer Society, 2006, pp. 81–90. ISBN: 0-7695-2631-4. doi: 10.1109/LICS.2006.38.
- [93] [Grégoire PASSAULT](#), [Quentin ROUXEL](#), [Rémi FABRE](#), [Steve N’GUYEN](#), and [Olivier LY](#). “Optimizing Morphology and Locomotion on a Corpus of Parametric Legged Robots.” In: *Biomimetic and Biohybrid Systems - 5th International Conference, Living Machines 2016, Edinburgh, UK, July 19-22, 2016, Proceedings*. Ed. by Nathan F. LEPORA, Anna MURA, Michael MANGAN, Paul F. M. J. VERSCHURE, Marc P. Y. DESMULLIEZ, and Tony J. PRESCOTT. Vol. 9793. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2016, pp. 227–238. doi: 10.1007/978-3-319-42417-0\_21.
- [94] [Grégoire PASSAULT](#), [Quentin ROUXEL](#), [Ludovic HOFER](#), [Steve N’GUYEN](#), and [Olivier LY](#). “Low-cost force sensors for small size humanoid robot.” In: *15th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, Humanoids 2015, Seoul, South Korea, November 3-5, 2015*. IEEE, 2015, p. 1148. doi: 10.1109/HUMANOIDS.2015.7363498.
- [95] [Loïc PAULEVÉ](#), Juraj KOLČÁK, Thomas CHATAIN, and Stefan HAAR. “Reconciling Qualitative, Abstract, and Scalable Modeling of Biological Networks.” In: *Nature Communications* 11.1 (2020). doi: 10.1038/s41467-020-18112-5.
- [96] Carl Adam PETRI. “Kommunikation mit Automaten.” ger. PhD thesis. Universität Hamburg, 1962. URL: <http://edoc.sub.uni-hamburg.de/informatik/volltexte/2011/160/>.
- [97] [Thomas PLACE](#). “Separating regular languages with two quantifier alternations.” In: *Log. Methods Comput. Sci.* 14.4 (2018). doi: 10.23638/LMCS-14(4:16)2018.
- [98] [Thomas PLACE](#) and [Marc ZEITOUN](#). “Separation for dot-depth two.” In: *32nd Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science, LICS 2017, Reykjavik, Iceland, June 20-23, 2017*. IEEE Computer Society, 2017, pp. 1–12. doi: 10.1109/LICS.2017.8005070.
- [99] [Thomas PLACE](#) and [Marc ZEITOUN](#). “The Covering Problem.” In: *Log. Methods Comput. Sci.* 14.3 (2018). doi: 10.23638/LMCS-14(3:1)2018.

- [100] [Thomas PLACE](#) and [Marc ZEITOUN](#). “Generic Results for Concatenation Hierarchies.” In: *Theory Comput. Syst.* 63.4 (2019), pp. 849–901. DOI: 10.1007/s00224-018-9867-0.
- [101] [Thomas PLACE](#) and [Marc ZEITOUN](#). “Going Higher in First-Order Quantifier Alternation Hierarchies on Words.” In: *J. ACM* 66.2 (2019), 12:1–12:65. DOI: 10.1145/3303991.
- [102] [Thomas PLACE](#) and [Marc ZEITOUN](#). “On All Things Star-Free.” In: *46th International Colloquium on Automata, Languages, and Programming, ICALP 2019, July 9-12, 2019, Patras, Greece*. Ed. by Christel BAIER, Ioannis CHATZIGIANNAKIS, Paola FLOCCHINI, and Stefano LEONARDI. Vol. 132. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2019, 126:1–126:14. DOI: 10.4230/LIPIcs.ICALP.2019.126.
- [103] [Thomas PLACE](#) and [Marc ZEITOUN](#). “Separation and covering for group based concatenation hierarchies.” In: *34th Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science, LICS 2019, Vancouver, BC, Canada, June 24-27, 2019*. IEEE, 2019, pp. 1–13. DOI: 10.1109/LICS.2019.8785655.
- [104] Matthieu RENARD, Yliès FALCONE, [Antoine ROLLET](#), Thierry JÉRON, and Hervé MARCHAND. “Optimal enforcement of (timed) properties with uncontrollable events.” In: *Math. Struct. Comput. Sci.* 29.1 (2019), pp. 169–214. DOI: 10.1017/S0960129517000123.
- [105] [Matthieu RENARD](#), Yliès FALCONE, [Antoine ROLLET](#), Srinivas PINISSETTY, Thierry JÉRON, and Hervé MARCHAND. “Enforcement of (Timed) Properties with Uncontrollable Events.” In: *Theoretical Aspects of Computing - ICTAC 2015 - 12th International Colloquium Cali, Colombia, October 29-31, 2015, Proceedings*. Ed. by Martin LEUCKER, Camilo RUEDA, and Frank D. VALENCIA. Vol. 9399. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2015, pp. 542–560. DOI: 10.1007/978-3-319-25150-9\_31.
- [106] [Matthieu RENARD](#), [Antoine ROLLET](#), and Yliès FALCONE. “GREP: Games for the Runtime Enforcement of Properties.” In: *Testing Software and Systems - 29th IFIP WG 6.1 International Conference, ICTSS 2017, St. Petersburg, Russia, October 9-11, 2017, Proceedings*. Ed. by Nina YEVTUSHENKO, Ana Rosa CAVALLI, and Hüsnü YENİGÜN. Vol. 10533. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2017, pp. 259–275. DOI: 10.1007/978-3-319-67549-7\_16.
- [107] [Matthieu RENARD](#), [Antoine ROLLET](#), and Yliès FALCONE. “Runtime enforcement using Büchi games.” In: *Proceedings of the 24th ACM SIGSOFT International SPIN Symposium on Model Checking of Software, Santa Barbara, CA, USA, July 10-14, 2017*. Ed. by Hakan ERDOGMUS and Klaus HAVELUND. ACM, 2017, pp. 70–79. DOI: 10.1145/3092282.3092296.
- [108] Matthieu RENARD, [Antoine ROLLET](#), and Yliès FALCONE. “Runtime enforcement of timed properties using games.” In: *Formal Aspects Comput.* 32.2 (2020), pp. 315–360. DOI: 10.1007/s00165-020-00515-2.
- [109] [Antoine ROLLET](#). *Voyage (dans le temps) autour de la vérification, du test, et au delà. ((Time) travel across verification, testing, and beyond)*. 2018. URL: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02138953>.
- [110] Victor ROUSSANALY, Ocan SANKUR, and Nicolas MARKEY. “Abstraction Refinement Algorithms for Timed Automata.” In: *Computer Aided Verification - 31st International Conference, CAV 2019, New York City, NY, USA, July 15-18, 2019, Proceedings, Part I*. Ed. by Isil DILLIG and Serdar TASIRAN. Vol. 11561. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2019, pp. 22–40. DOI: 10.1007/978-3-030-25540-4\_2.
- [111] [Quentin ROUXEL](#), [Grégoire PASSAULT](#), [Ludovic HOFER](#), [Steve N’GUYEN](#), and [Olivier LY](#). “Learning the odometry on a small humanoid robot.” In: *2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation, ICRA 2016, Stockholm, Sweden, May 16-21, 2016*. Ed. by Danica KRAGIC, Antonio BICCHI, and Alessandro de LUCA. IEEE, 2016, pp. 1810–1816. DOI: 10.1109/ICRA.2016.7487326.



- [112] Sylvain SALVATI. *Lambda-calculus and formal language theory*. 2015. URL: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01253426>.
- [113] Sylvain SALVATI and Igor WALUKIEWICZ. “Krivine machines and higher-order schemes.” In: *Inf. Comput.* 239 (2014), pp. 340–355. DOI: 10.1016/j.ic.2014.07.012.
- [114] Sylvain SALVATI and Igor WALUKIEWICZ. “A Model for Behavioural Properties of Higher-order Programs.” In: *24th EACSL Annual Conference on Computer Science Logic, CSL 2015, September 7-10, 2015, Berlin, Germany*. Ed. by Stephan KREUTZER. Vol. 41. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2015, pp. 229–243. DOI: 10.4230/LIPIcs.CSL.2015.229.
- [115] Sylvain SALVATI and Igor WALUKIEWICZ. “Typing Weak MSOL Properties.” In: *Foundations of Software Science and Computation Structures - 18th International Conference, FoSSaCS 2015, Held as Part of the European Joint Conferences on Theory and Practice of Software, ETAPS 2015, London, UK, April 11-18, 2015. Proceedings*. Ed. by Andrew M. PITTS. Vol. 9034. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2015, pp. 343–357. DOI: 10.1007/978-3-662-46678-0\_22.
- [116] Sylvain SALVATI and Igor WALUKIEWICZ. “Using models to model-check recursive schemes.” In: *Log. Methods Comput. Sci.* 11.2 (2015). DOI: 10.2168/LMCS-11(2:7)2015.
- [117] Sylvain SALVATI and Igor WALUKIEWICZ. “Simply typed fixpoint calculus and collapsible pushdown automata.” In: *Math. Struct. Comput. Sci.* 26.7 (2016), pp. 1304–1350. DOI: 10.1017/S0960129514000590.
- [118] Sylvain SALVATI and Igor WALUKIEWICZ. “Typing weak MSOL properties.” In: *Log. Methods Comput. Sci.* 13.1 (2017). DOI: 10.23638/LMCS-13(1:14)2017.
- [119] Géraud SÉNIZERGUES and Armin WEIß. “The Isomorphism Problem for Finite Extensions of Free Groups Is In PSPACE.” In: *45th International Colloquium on Automata, Languages, and Programming, ICALP 2018, July 9-13, 2018, Prague, Czech Republic*. Ed. by Ioannis CHATZIGIANNAKIS, Christos KAKLAMANIS, Dániel MARX, and Donald SANNELLA. Vol. 107. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2018, 139:1–139:14. DOI: 10.4230/LIPIcs.ICALP.2018.139.
- [120] Laurent SIMON. “Reasoning with Propositional Logic: From SAT Solvers to Knowledge Compilation.” In: *A Guided Tour of Artificial Intelligence Research*. Ed. by Pierre MARQUIS, Odile PAPINI, and Henri PRADÉ. Springer, May 2020, pp. 115–152. ISBN: 978-3-030-06166-1. DOI: 10.1007/978-3-030-06167-8\_5.
- [121] Michal SKRZYPCZAK and Igor WALUKIEWICZ. “Deciding the Topological Complexity of Büchi Languages.” In: *43rd International Colloquium on Automata, Languages, and Programming, ICALP 2016, July 11-15, 2016, Rome, Italy*. Ed. by Ioannis CHATZIGIANNAKIS, Michael MITZENMACHER, Yuval RABANI, and Davide SANGIORGI. Vol. 55. LIPIcs. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 2016, 99:1–99:13. DOI: 10.4230/LIPIcs.ICALP.2016.99.
- [122] Igor WALUKIEWICZ. “Automata theory and higher-order model-checking.” In: *ACM SIGLOG News* 3.4 (2016), pp. 13–31. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=3026745>.
- [123] Igor WALUKIEWICZ. “Lambda Y-Calculus With Priorities.” In: *34th Annual ACM/IEEE Symposium on Logic in Computer Science, LICS 2019, Vancouver, BC, Canada, June 24-27, 2019*. IEEE, 2019, pp. 1–13. DOI: 10.1109/LICS.2019.8785674.
- [124] Marius ZIMAND. “Possibilities and impossibilities in Kolmogorov complexity extraction.” In: *SIGACT News* (2010).

- [125] Marius ZIMAND. “Symmetry of Information and Bounds on Nonuniform Randomness Extraction via Kolmogorov Extractors.” In: *Proceedings of the 26th Annual IEEE Conference on Computational Complexity, CCC 2011, San Jose, California, June 8-10, 2011*. IEEE Computer Society, 2011, pp. 148–156.

## 2 Projet

### 2.1 Stratégie

La stratégie du département MF est de continuer à soutenir une recherche de très haut niveau dans les thèmes historiques de l'équipe (automates, logique, vérification) tout en favorisant et en accompagnant l'émergence de nouveaux thèmes, notamment autour des données et de l'IA.

La qualité et le nombre des recrutements sur la période écoulée sont un remarquable signe d'attractivité de l'équipe. Afin d'offrir aux nouveaux recrutés l'espace nécessaire pour développer leur projet et animer leur thématique, la transformation de l'équipe MF en département s'accompagnera d'une restructuration des deux thèmes actuels en quatre équipes.

La nouvelle organisation en quatre équipes va améliorer la visibilité des différents sujets de recherches, permettre plus de souplesse dans l'animation des différents thèmes scientifiques et favoriser l'émergence de nouveaux projets. De plus une meilleure lisibilité extérieure peut encore accroître l'attractivité du département.

### 2.2 Analyse AFOM du département MF

**Atouts.** Le futur département MF a une excellente attractivité, comme en témoignent la qualité et le nombre des recrutements sur la période évaluée. MF a un très haut niveau scientifique dans plusieurs domaines, ses membres publiant régulièrement dans les conférences et journaux les plus prestigieux et sélectifs, notamment en théorie des automates, vérification et théorie des bases de données. Les thèmes les plus appliqués de DART, en robotique notamment, sont très visibles et participent au rayonnement du laboratoire.

**Faiblesses.** La principale faiblesse est la difficulté à recruter des doctorants dont la formation initiale soit au niveau des attentes de leurs encadrants. Le nombre de rangs A est faible au regard de la taille du futur département, les responsabilités sont ainsi prises par des membres de rangs B, notamment le portage de la création des nouvelles équipes.

**Opportunités.** La visibilité internationale de nombreux membres de MF peut être mise à profit pour recruter de bons doctorants, ainsi que les liens étroits avec l'IRL ReLaX. Les nouveaux recrutements et les projets émergents apportent du dynamisme à MF. Les liens locaux avec l>IDEX et la région sont pérennes et apportent des moyens récurrents, notamment à DART, sur les sujets les plus appliqués.

**Menaces.** Il y a eu plusieurs départs de poids scientifiques majeurs sur la période écoulée, en partie mais pas totalement compensés par des mobilités de chargés de recherche. La visibilité donnée aux thèmes émergents ne doit pas faire oublier la nécessité de cultiver les bases historiques de MF, notamment en ce qui concerne les recrutements de rang A. La nouvelle organisation ne doit pas cloisonner un département qui possède une culture commune.

**MTV****Modèles & Technologies pour la Vérification**  
Frédéric Herbreteau

CAV / LICS / POPL / ETAPS / CONCUR / VMCAI

- Verification of distributed / timed / probabilistic / parametric
- Concurrency Theory
- Automatic Program Verification
- Interactive program proving
- Program and controller synthesis
- Network dynamics
- Testing and runtime Verification

**LX****Fondements logiques du calcul**  
Laurent BienvenuLICS / ICALP / STACS / ETAPS / CiE/ FSCD /  
Jour. Disc. Maths / LMCS

- Logic and Computation
- Graphs and Logics
- Proof Theory
- Proof complexity
- Algebraic techniques
- Computability Theory
- Rewriting Techniques
- Higher Order Logic
- Formal languages
- Automata theory
- Mechanised reasoning
- Proof Assistants

**RATIO****Raisonnement sur les données,  
les connaissances et les contraintes**  
Diego Figueira

KR / PODS / ICDT / AAI / IJCAI / ICALP

- Automated reasoning
- Database Theory
- Ontologies
- Knowledge: representation, compilation and reasoning
- CSP
- SAT
- Models for data processing

**DART****Décision et apprentissage: de la théorie  
aux applications robotiques**  
Olivier LySAGT / IJGT/ IROS / ICRA /AAAI / IJCAI /  
AAMAS / NeurIPS / ICANN / IJCNN / ICDL

- Game Theory, Decision Making, Theory of Social choice
- Robotics (conception and control)
- Machine learning, Neural Networks
- Computational systems biology (learning and control)
- Intelligent transportation systems

### 2.3 Structuration, effectifs et orientations scientifiques

Le futur département se structurera autour de quatre équipes (LX / MTV / RATIO / DART) réunissant les membres de l'actuelle équipe MF, ainsi que de nouveaux venus dans le thème DART, notamment les membres de l'équipe projet Mnemosyne. L'intégration des membres de Mnemosyne à DART s'est faite naturellement autour de thèmes d'intérêt commun, notamment l'apprentissage de boucles sensori-motrices pour les systèmes autonomes.

L'animation sera basée sur un séminaire de département et des rencontres régulières entre responsables d'équipes. Les projets inter-équipes seront particulièrement encouragés. Le rythme et les créneaux horaires de ce séminaire seront choisis de manière à cultiver les liens entre les différentes équipes sans pour autant remplacer les séminaires d'équipe.

Notons que plusieurs membres du département (e.g. I. Walukiewicz, J. Leroux, A. Muscholl, H. Gimbert) appartiendront à au moins deux équipes, ce qui a été acté dès le début de la restructuration de MF. Ces appartenances multiples viennent notamment du fait que les différentes équipes du département ont des outils méthodologiques communs, outils mobilisés sur des sujets différents.

Les orientations scientifiques sont déclinées en quatre volets correspondants à ces quatre nouvelles équipes. Cette structure a émergé d'un processus participatif, en recensant les mots-clés de l'équipe et en mettant en avant les thèmes émergents de l'équipe. Le résultat est le projet de structuration présenté dans le graphique suivant, et

détaillé ensuite, équipe par équipe.

### 2.3.1 Equipe MTV

La future équipe “Modèles et technologies pour la vérification (MTV)” prend la suite du thème “Modélisation et vérification”. Elle comporte une douzaine de membres. Notre future équipe poursuivra le développement de méthodes d’analyse de modèles formels suivant deux axes complémentaires : les modèles et les techniques pour la vérification.

**Modèles pour la vérification.** La modélisation formelle constitue une première étape dans le processus de vérification d’un système. Nos travaux sur les modèles revêtent deux aspects. D’une part, l’étude des modèles du point de vue de la décidabilité et de la complexité des problèmes de vérification. Et d’autre part, la modélisation de systèmes complexes, notamment en utilisant les formalismes étudiés dans l’équipe.

Notre équipe jouit d’une expertise reconnue internationalement dans l’étude des problèmes de vérification pour les réseaux de Petri (RdP). Les avancées récentes de l’équipe sur le problème de l’atteignabilité ouvrent de nouvelles pistes pour l’étude d’extensions naturelles de ce modèle, pour lesquels le problème de l’atteignabilité est encore ouvert. Ce travail s’effectuera en collaboration avec le LSV (ENS Paris Saclay), dans la continuité du projet BraVAS.

Les modèles de systèmes distribués, tels que les automates asynchrones, sont un autre sujet traditionnel de l’équipe qui s’est renouvelé récemment grâce à de nouvelles collaborations avec la communauté du calcul distribué. Nous avons commencé à étudier leurs modèles du point de vue de la vérification. Des échanges fructueux ont permis une première publication sur le sujet, l’initiation d’une collaboration avec l’équipe AlgoDist du LaBRI, ainsi que le financement par l’ANR du projet FREDDA avec l’IRIF (Université Paris Diderot) et le LSV (ENS Paris Saclay). Ce renouveau s’inscrit dans une tendance plus profonde qui considère que les communautés “vérification” et “calcul distribué” ont beaucoup à apprendre l’une de l’autre.

La bioinformatique est un domaine où la modélisation et la vérification sont cruciales pour la compréhension des processus biologiques. Les réseaux booléens ont été introduits comme un modèle naturel des réseaux de régulation biologiques. Notre équipe a récemment obtenu plusieurs résultats importants sur les propriétés des réseaux booléens [95]. Nos travaux ouvrent de nouvelles perspectives pour l’analyse d’atteignabilité et le calcul d’attracteur que nous comptons poursuivre au sein d’une collaboration avec le LSV (ENS Paris Saclay). Par ailleurs, en collaboration avec l’Institut Curie (Paris) et l’Université du Luxembourg nous appliquerons nos résultats sur les réseaux booléens à la modélisation de la différenciation cellulaire et à la reprogrammation.

**Technologies pour la vérification.** Le deuxième axe de nos activités concerne le développement d’outils et d’heuristiques pour l’application de la vérification à des systèmes réels. Cet axe est lié au précédent puisqu’une compréhension fine des propriétés des modèles est nécessaire à la mise en œuvre de techniques de vérification. Néanmoins nous nous focalisons ici sur l’obtention de nouvelles techniques de vérification qui puissent être appliquées à des exemples réels, de taille et de complexité conséquentes. Bien que la plupart des problèmes considérés soient au moins NP-difficiles, il reste possible, à l’aide d’heuristiques ou en considérant certaines sous classes de modèles, de résoudre les problèmes de vérification efficacement en pratique.

TChecker est un outil de vérification d’automates temporisés développé par l’équipe depuis plusieurs années. Contrairement à UPPAAL, qui fait référence dans le domaine, notre outil est open source et son architecture permet de mettre en œuvre facilement de nouveaux algorithmes. Plusieurs groupes de recherche, principalement



en France, utilisent TChecker pour valider leurs algorithmes, notamment au sein du projet ANR TickTac auquel nous participons. Un défi majeur pour la vérification des systèmes temps-réel est la gestion de la concurrence intrinsèque aux modèles. Les techniques pour modèles finis ne s'appliquent pas directement au cas temporisé. Une collaboration avec CMI Chennai (Inde) est en cours sur ce point. Par ailleurs, une collaboration récente avec TU München (Allemagne) et Aarhus Universitet (Danemark) autour de la certification ouvre des voies prometteuses pour accroître la confiance accordée aux outils de vérification d'automates temporisés comme TChecker.

De nombreux logiciels sont aujourd'hui impliqués dans la prise de décision, avec un impact social important. C'est notamment le cas du logiciel Parcoursup qui régit l'accès à l'enseignement supérieur en France, ou de Datajust qui sert à l'évaluation des préjudices corporels. L'équipe est impliquée dans la preuve des algorithmes mis en œuvre dans Parcoursup depuis plusieurs années. Une collaboration pluridisciplinaire réunissant des informaticiens, des chercheurs en sciences sociales et des juristes vient de débiter dans le cadre du projet CNRS 80'prime "de la loi au code". Un des objectifs est d'accroître la confiance dans l'utilisation d'algorithmes de décision par la preuve formelle des algorithmes et de leurs mises en œuvre.

L'interprétation abstraite a largement démontré son efficacité pour la vérification de programmes. Celle-ci repose bien souvent sur le calcul de point fixe dans un domaine abstrait. La convergence est souvent assurée par des heuristiques, alors qu'un calcul exact est parfois possible. Nous proposons d'identifier des classes de domaines abstraits pour lesquelles le calcul exact est possible. Nous souhaitons par ailleurs appliquer ces travaux à la vérification de réseaux de Petri. Plusieurs prototypes de vérification efficaces ont récemment vu le jour, en particulier l'outil ICOVER qui a été développé au cours de la thèse de Thomas Geffroy. L'utilisation d'invariants inductifs calculés par interprétation abstraite permettrait d'améliorer significativement cet outil.

La vérification à l'exécution consiste à s'assurer qu'un système s'exécute de manière conforme à un modèle. Nos récents travaux sur l'enforcement ont mis en évidence des questions ouvertes, en particulier l'identification des classes de propriétés enforceables, ainsi que la nécessité d'un cadre permettant d'unifier les différentes approches. Les besoins industriels sur ces thématiques sont importants. Plusieurs collaborations industrielles ont débuté, notamment avec Ubisoft Bordeaux sur la vérification à l'exécution de la génération procédurale de mondes virtuels et sur le test logiciel, ainsi qu'avec le CESTI sur l'analyse de vulnérabilité de programmes.

Notre équipe a une longue tradition de collaborations industrielles, que ce soit autour du projet AltaRica et ses applications à la sûreté de fonctionnement, ou plus récemment la thèse CIFRE d'Adrien Prevost en collaboration avec la SNCF. Nous sommes partie prenante d'un projet de campus régional pour le ferroviaire (FERROCAMPUS) qui vient d'être lancé par la région Nouvelle Aquitaine, et dont l'objectif est de créer un centre d'expertise liant des industriels et des académiques sur la sûreté de fonctionnement, l'étude des trains autonomes ou encore la cybersécurité. Les collaborations attendues présentent des opportunités pertinentes pour les travaux de l'équipe. Enfin, l'équipe MTV développe et maintient plusieurs logiciels de vérification dans le cadre de ses travaux, notamment AltaRica (<https://altarica.labri.fr>), TaPAS (<https://tapas.labri.fr>) et TChecker (<https://github.com/ticktac-project/tchecker>). Notre objectif est de poursuivre le développement de nos outils qui nous permettent de valider nos travaux de recherche. Le soutien d'un ingénieur de recherche (en l'occurrence Gérald Point, IR CNRS au LaBRI) est primordial pour garantir la qualité et la pérennité de nos logiciels.

**Animation de l'équipe.** Les membres de l'équipe ont des contacts informels très réguliers au sein du laboratoire. Nous comptons établir un groupe de travail régulier, en complément du séminaire de département, avec pour objectif de renforcer les collaborations, aussi bien au sein de l'équipe qu'avec des chercheurs du LaBRI ou d'autres laboratoires. Un groupe de travail spécifique à l'activité "preuve de programme" autour de l'outil Coq est organisé régulièrement. Il implique des membres de l'équipe ainsi que des membres d'autres équipes du LaBRI.

### 2.3.2 Equipe LX

La future équipe LX (Logique, Complexité, Calculabilité), forte d'environ une dizaine de membres, s'intéresse principalement à la correspondance entre logique et calcul. On sait depuis les premiers pas de la formalisation mathématique de la notion de calcul (dans les années 1930) que la puissance expressive d'un type de machine peut souvent se caractériser, ou au moins être étudiée, à l'aide de la logique. Ainsi, Turing et Gödel ont démontré qu'un ensemble de mots (vus comme des entiers) est décidable si et seulement si cet ensemble et son complémentaire peuvent être décrits par une formule arithmétique avec un seul quantificateur existentiel. De même, un théorème fondateur de la théorie des langages réguliers, dû à Büchi, est qu'un langage peut être reconnu par automate fini si et seulement si il est définissable par une formule de la logique monadique du second ordre. Mais ces résultats fondamentaux appellent d'autres questions : la correspondance machine/formule est-elle décidable ? Si oui, quelle est sa complexité ? Étant donnée une machine, quelle est la machine équivalente la plus simple ? la formule logique la plus simple pouvant la décrire ? Tel est le type de question qui est au cœur des recherches de l'équipe.

Les langages et les automates finis ne constituent par ailleurs pas le seul domaine d'application des logiques considérées par l'équipe. De nombreux autres objets ou structures — finies et infinies — peuvent également être étudiés avec profit sous cet angle, comme par exemple les transducteurs, les groupes (ou semi-groupes), les arbres, graphes, ensembles ordonnés, les schémas d'ordre supérieur... Insistons sur le fait que pour beaucoup d'entre eux (mots, arbres, ensembles ordonnés, graphes), les caractérisations logiques et combinatoires ne concernent pas que les objets finis mais peuvent être étendues aux objets infinis. Les objets finis, et même les objets infinis (via leurs descripteurs finis), font l'objet d'études algorithmiques (par exemple : minimisation de transducteurs, décomposition de graphes de largeur d'arbre bornée, test d'isomorphisme de graphes infinis, test de solvabilité d'une équation dans un monoïde (infini) etc).

L'animation scientifique de l'équipe se fera essentiellement par le biais d'un groupe de travail hebdomadaire, permettant d'aborder un sujet sur plusieurs séances, et à la participation des membres au séminaire du département MF.

Même si les objets d'études de l'équipe sont proches de ceux de l'équipe MTV (notamment les automates finis et les logiques de type MSO), cette dernière est plus orientée vers les questions issues de la vérification. L'équipe LX s'en distingue de plus par les outils utilisés, notamment les techniques algébriques (monoïdes, algèbres universelles, algèbres de Boole, etc), topologiques (variétés, espace de Cantor et Baire, etc) ou issues de la logique mathématique (théorie de la preuve, et complexité des preuves, calculabilité, théorie des catégories). Il ne s'agit pas pour autant de nier les liens forts entre les deux équipes. Plusieurs membres du département MF émargeront aux deux équipes et des groupes de travail communs seront sans aucun doute organisés au fil du temps.

### 2.3.3 Equipe RATIO

L'équipe RATIO ("raisonnement" en latin) regroupera des thèmes de recherche autour des problèmes de raisonnement avec données, connaissances et contraintes, notamment :

- l'analyse statique pour les bases de données et les modèles relationnels, les modèles semi-structurés (XML), et les données de graphes (RDF) ;
- les langages de représentation de connaissances, notamment les langages d'ontologies tels que les logiques de description ;
- la réponse aux requêtes en présence de contraintes et/ou connaissances ;
- le raisonnement sur des données incomplètes ou inconsistantes ;



- les modèles et logiques sur les objets infinis ;
- le problème de satisfaction des contraintes (CSP) et ses différentes variantes (domaine infini, domaine restreint, contraintes valuées, etc.)
- les problèmes de SAT, avec deux points saillants : la parallélisation (cf. outil Glucose/Syrup) ; et l'intégration d'outils heuristiques (issus par exemple de l'apprentissage automatique) permettant de diriger la recherche de preuves d'insatisfiabilité ;

L'équipe sera basée sur un groupe de 10 permanents et 3 étudiants, qui organisent des réunions et groupes de travail depuis 2019, voir <https://ratio.labri.fr>. Cette nouvelle équipe entend, d'une part, donner plus de visibilité à certains domaines, notamment certains nouveaux domaines liés aux ontologies et aux problèmes de satisfaction de contraintes (CSP), en lien avec l'arrivée récente au LaBRI de Meghyn Bienvenu (CR CNRS) et Joanna Ochremiak (CR CNRS). Cette visibilité sera renforcée à la fois en externe pour les futurs étudiants, post-doctorants ou chercheurs, et en interne pour avoir une politique de recherche réfléchie commune au groupe, notamment en matière de recrutement. D'autre part, il créera des interactions entre ses membres pour apprendre, discuter et éventuellement collaborer à des recherches conjointes, à travers des séminaires hebdomadaires et d'autres événements de socialisation.

Nous voyons deux risques évidents pour cette nouvelle équipe. Le premier, lié au fait que le groupe dispose d'une liste assez hétérogène de domaines de recherche est qu'il n'y ait pas suffisamment de proximité pour générer des collaborations intra-équipe. Néanmoins, nous avons déjà identifié plusieurs sujets d'intérêt partagé entre plusieurs domaines tels que, par exemple, les liens entre les bases de données et l'accès aux données par ontologie ou ceux, connus, entre les CSP et les réponses aux requêtes sous données incohérentes. Le deuxième risque est que le groupe, étant petit et nouveau, n'arrive pas à avoir la visibilité nécessaire pour générer un centre de gravité autour de ses thèmes et attirer bons étudiants et chercheurs. Il y a toutefois quelques éléments qui aideront à pallier ce risque. Pour améliorer la visibilité de l'équipe, nous pouvons mentionner la récente chaire IA INTENDED, sur le traitement des données avec des données incohérentes ou incomplètes. Ce projet, démarré en septembre 2020, apportera de nouveaux recrutements (2 postdocs et 1 doctorant) et de nombreux visiteurs dans le domaine de recherche de RATIO au cours des 4 prochaines années. La visibilité sera encore renforcée par l'édition 2021 de la conférence nationale PFIA (attirant autour de 300 chercheurs et doctorants en IA) qui est co-organisée par un membre de l'équipe. De plus, 2 écoles d'été se dérouleront conjointement à Bordeaux en 2022, organisées par membres de l'équipe. Elles se dérouleront sous un format de deux semaines et réuniront des étudiants des communautés de théorie des bases de données et de représentation des connaissances. Elles seront partiellement financées par l'école EDBT (une école récurrente en théorie des bases de données) et la chaire IA INTENDED. Nous mentionnons également qu'on co-organisera un atelier Oberwolfach sur le CSP prochainement ("Homogeneous Structures : Model Theory meets Universal Algebra", [https://www.mfo.de/occasion/2101a/www\\_view](https://www.mfo.de/occasion/2101a/www_view)). En outre, les membres de l'équipe sont impliqués dans plusieurs projets sur les domaines de RATIO : ANR QUID sur les requêtes de données incomplètes ou inconsistantes, ANR CQFD sur les requêtes ontologiques complexes sur données hétérogènes, et ANR PING/ACK (Pré-traitement d'informations pour la résolution de tâches complexes / Compilation avancée de connaissances). Nous espérons que cette augmentation de la visibilité se traduira par de nouveaux recrutements dans les domaines de l'équipe.

Nous détaillons ci-dessous quelques lignes directrices de la recherche dans RATIO à l'avenir.

**Raisonnement sur les données et ontologies** L'un des axes de recherche de l'équipe sera centré sur les langages et les formalismes de requêtes sur les données, soit sous forme de bases de données (éventuellement avec contraintes), soit en présence d'ontologies (comme dans *ontology-mediated query answering*). On étudie la complexité des problèmes de raisonnement dans ces contextes, ainsi que l'applicabilité de certains algorithmes d'un point de vue

pratique. En particulier, nous nous intéressons aux requêtes sur les données imparfaites (incomplètes, incohérentes, et/ou incertaines), aussi bien dans le cadre classique des bases de données (sujet du projet ANR QUID) que dans la présence de connaissances ontologiques (sujet de la chaire IA INTENDED). En outre, il a été observé que le problème de calculer les réponses certaines sur les données incohérentes peut parfois être reformulé en termes de problèmes CSP (en effet, l'un des objectifs de QUID consiste à explorer davantage ces connexions) et résolu en pratique en employant des solveurs SAT, donc cet axe de recherche peut relier des centres d'intérêt de plusieurs membres de l'équipe.

**CSP** Le problème de satisfaction des contraintes est une généralisation de SAT où les variables peuvent prendre des valeurs d'un domaine qui n'est pas nécessairement booléen, et les contraintes spécifient les affectations possibles pour les tuples de variables. La nouvelle direction dans ce domaine de recherche est le problème de satisfaction des contraintes avec promesse (PCSP). Motivé par des problèmes ouverts sur l'inapproximabilité des variantes de SAT et de la coloration des graphes, l'objectif de PCSP est de distinguer les instances satisfaisables de celles qui n'ont pas de solutions même soumises à une version assouplie des contraintes. Compte tenu des liens déjà évoqués entre CSP et l'interrogation de données incomplètes et incohérentes, nous travaillerons sur l'identification des restrictions raisonnables de CSP utiles dans ce cadre, et sur le développement d'outils algébriques pour caractériser leurs propriétés. De plus, nous étudierons la complexité de plusieurs variantes du PCSP, notamment à l'aide de méthodes de recherche de preuves. Une interaction forte entre théorie et applications pratiques fait partie des axes que nous privilégions également. Par exemple, dans le cadre du projet collaboratif KIWI avec UbiSoft, nous avons recruté pour deux ans l'auteur solveur de contraintes Nacre, qui a gagné de multiples prix aux compétitions internationales CSP.

**SAT** S'il est un domaine qui mêle le meilleur de la théorie et de la pratique, c'est probablement le problème de test de satisfiabilité en logique propositionnelle SAT. Nous plaçons aussi notre recherche autour de la résolution pratique de ce problème. Notamment avec l'outil Glucose, un solveur SAT de référence qui est maintenu et distribué très largement. Le maintenir et accompagner les avancées dans le domaine est un projet en soi. Nous proposons dans cet axe de recherche d'étudier l'extension des solveurs SAT au parallèle. Pour cela, nous proposons l'étude des preuves construites par ces solveurs pour en extraire à la volée des informations permettant de prédire quelle distribution de l'effort serait la plus efficace. Nous étudions également la possibilité pour le solveur SAT de se baser sur des décisions plus complexes, typiquement issues des techniques d'apprentissage sur les corpus des preuves calculées. L'un des problèmes est d'arriver à extraire automatiquement des informations au niveau sémantique (quelles variables sont en contradiction, ...) de la formule, à partir de traces syntaxiques et surtout d'arriver à les généraliser. On notera que, jusqu'à présent, les résultats de l'apprentissage automatique n'ont pas encore bouleversé les méthodes de preuves automatiques comme SAT. C'est notamment l'apport de l'apprentissage aux solveurs SAT que nous proposons d'étudier.

#### 2.3.4 Equipe DART

La future équipe DART (Décision et Apprentissage : de la théorie aux applications RoboTiques) sera intégrée au département MF et réunira une douzaine de membres permanents du LaBRI. DART réunira notamment les membres de l'équipe-projet INRIA Mnemosyne (<https://team.inria.fr/mnemosyne/fr/team-members/>), ceux du projet Rhoban (<https://www.rhoban-project.fr>) et autres membres de l'actuelle équipe MF.

**Thèmes scientifiques.** Les recherches des membres de DART ont pour dénominateur commun l'intelligence artificielle, et sont ancrées aussi bien dans la théorie que dans les applications très concrètes :

- la conception, la fabrication et le contrôle de robots, notamment humanoïdes
- la navigation autonome
- les neurosciences computationnelles
- la synthèse de contrôleurs par apprentissage
- la théorie algorithmique des jeux et de la décision.

L'équipe vise notamment des publications dans les conférences et journaux IROS / ICRA / AAAI / IJCAI / AAMAS / NeurIPS / ICANN / IJCNN / ICDL / SAGT / IJGT.

**Animation : séminaire et démonstrateur.** L'animation de l'équipe aura deux piliers. Le premier sera un séminaire d'équipe hebdomadaire, organisé alternativement dans les murs du LaBRI, dans les locaux du projet Rhoban, ou encore dans le NeuroCampus, en s'appuyant notamment sur les séminaires déjà existants de Mnemosyne et le séminaire du réseau régional de recherche R4. Le second pilier sera un projet commun autour d'un démonstrateur des compétences de DART, typiquement un robot humanoïde se déplaçant dans un environnement simulé, dont les boucles sensori-motrices, la navigation et les décisions de haut-niveau reposeront sur les contributions des différents membres de l'équipe.

**Analyse AFOM.** Les atouts de DART résident dans l'expertise scientifique de ses membres, leur visibilité internationale et leur notoriété apportée par des événements marquants comme le succès à des compétitions internationales de Robotique (Robocup). Une faiblesse de DART est que l'équipe est actuellement nouvelle et fragmentée géographiquement, et la réunion de ses membres est compliquée par les mesures contre la pandémie de Covid. Il y a également une fragmentation thématique qui constitue à la fois une faiblesse mais également une opportunité pour créer de nouvelles dynamiques. Les opportunités à saisir sont un soutien financier local (IDEX, région, Neurocampus), grâce notamment aux thèmes de recherche appliqués ayant un potentiel fort impact sociétal. De plus la création de DART est portée par une dynamique née de l'émergence de nouveaux thèmes au sein du LaBRI. Une menace pour DART est le contexte de pénurie de postes de CDI ingénieurs, alors que les recherches les plus finalisées de DART nécessitent un appui technique permanent.

Dans la suite du projet nous donnons plusieurs exemples de directions de recherche de DART, sans viser l'exhaustivité. Le dénominateur commun des recherches de DART est l'intelligence artificielle, en particulier ses aspects quantitatifs (apprentissage, optimisation, décision) et bio-inspirés (robotique humanoïde, modèles cognitifs, modèles biologiques).

**Apprentissage en ligne de contrôleurs pour Ultraban.** Les membres du projet Rhoban ont commencé la fabrication d'un robot humanoïde de taille humaine (projet Ultraban). Dans le monde, de tels robots opérationnels sont rares (on peut mentionner Asimo, Atlas, Valkyrie, HRP-\*, Pyrene, Hubo), et la liste se réduit si on considère uniquement ceux qui ont montré leur capacité à marcher sur tous types de terrains (Atlas). Un des freins au développement des robots humanoïdes de grande taille est la complexité de leur contrôle, en particulier pour planifier une locomotion bipède, en déséquilibre dynamique constant. Le recueil de données est contraint sur ce type de plateforme, et par conséquent notre objectif est de faire de l'apprentissage en ligne, ce qui interdit l'usage des méthodes d'apprentissage par renforcement gourmandes en données. Ce projet s'appuiera sur l'interaction des membres des projets Rhoban (conception, contrôle) et Mnemosyne, notamment.

**Fonctions cognitives de haut niveau.** Ce sujet de recherche concerne la modélisation des fonctions cognitives supérieures qui permettent l'émergence d'un comportement intelligent chez les mammifères. Ces fonctions

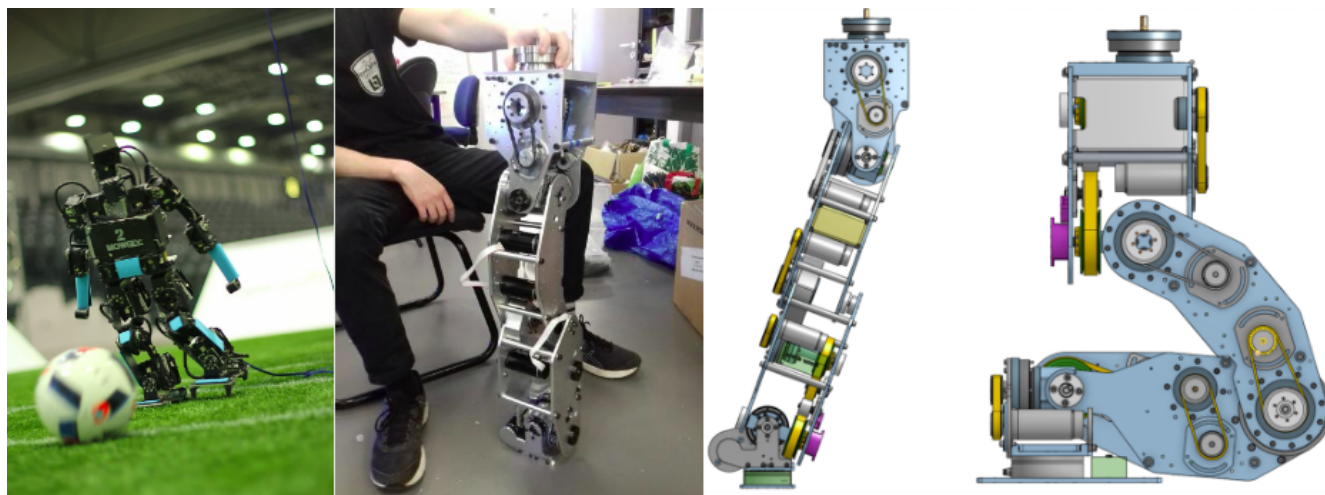


FIGURE 3.1 – Les robots Humanoïdes déjà réalisés au sein de Rhoban, tels que le robot Sigmaban (à gauche), ont inspiré la conception du robot humanoïde à taille humaine Ultraban. Ultraban n'est pas encore finalisé mais on peut voir une de ses deux jambes réalisées. Ultraban servira notamment de plateforme de test pour l'apprentissage en ligne de contrôleurs robotiques.

cognitives concernent notamment la coordination sensori-motrice, les aspects émotionnels et motivationnels, les phénomènes attentionnels, la décision et la délibération préalable, et l'organisation temporelle du comportement. Nous nous intéressons particulièrement à l'apprentissage de ces fonctions (comment elles sont acquises et comment elles s'adaptent tout au long de la vie, face à la variabilité du monde) en étudiant leur réalisation dans un ensemble de structures cérébrales, connues pour leur implication. dans différents types de mémoire, qui peuvent être globalement classés en mémoires implicites et explicites. Notre travail de modélisation correspond avant tout au développement de modèles neuronaux bio-inspirés, mais nous utilisons également d'autres formalismes issus du domaine du machine learning, un aspect important de notre travail étant de nous positionner par rapport à ce domaine et de lui apporter notre vision bio-inspirée. En modélisant différents aspects de ces fonctions cognitives, nous sommes particulièrement intéressés à voir comment elles interagissent pour émuler différentes classes de comportements, en particulier ceux liés à la navigation autonome, à la résolution de problèmes et au langage. Nous souhaitons appliquer ce travail à un certain nombre de domaines à fort impact sociétal, tels que l'interaction homme-robot, l'éducation et les maladies neurologiques et psychiatriques.

**Méthodes formelles pour l'IA** Ce projet de recherche se situe à l'intersection de deux domaines de l'informatique : la vérification formelle et l'intelligence artificielle. La vérification formelle se concentre sur des modèles mathématiques pour prouver ou réfuter l'exactitude des systèmes informatiques par rapport aux spécifications formellement décrites. Le domaine de l'intelligence artificielle s'intéresse à l'étude des agents qui interagissent avec leur environnement et entre eux de manière autonome afin de répondre à leurs objectifs indépendants. Récemment, il y a eu un boom du nombre de techniques efficaces d'intelligence artificielle appliquées à des problèmes qui sont (théoriquement) difficiles, voire indécidables. Malheureusement, ces techniques ne sont généralement pas assorties de garanties formelles. Dans le cadre de la thèse de Ritam Raha, nous proposons d'étudier l'expressivité de différents modèles appris par machine ainsi que les problèmes de type vérification pour affirmer les propriétés (de robustesse) qu'ils garantissent et la programmation assistée par apprentissage automatique. Plus précisément, nous étudierons les problèmes de synthèse de programme dans lesquels des informations secondaires codées dans un réseau neuronal sont données. Ce réseau de neurones peut être vu comme un oracle fournissant des «conseils d'experts» à l'algo-

rithme de synthèse. Nous nous concentrerons sur le développement d'algorithmes d'apprentissage par renforcement avec des garanties d'exactitude formelles ainsi que sur les hypothèses sous lesquelles ces garanties sont valables. Une thèse CIFRE avec Mangrove.IA, coportée par Laurent Simon et Akka Zemmari (équipe Combinatoire et Algorithmes) traitant de la dérive des modèles d'apprentissage débutera fin 2020. Nous désirons également bénéficier des avancées pratiques de solveurs SAT pour les spécialiser et les intégrer au plus profond des systèmes de décision issus de l'apprentissage pour en offrir des garanties. Une chaire industrielle Université de Bordeaux, portée par Laurent Simon, sur l'IA digne de confiance est en cours d'évaluation. Il s'agit d'un projet mêlant Université de Bordeaux, Bordeaux INP et Kedge Business School. Nous proposons également de développer une vision "Compilation de connaissance" des techniques de décisions temps réel (incluant de l'apprentissage ou non), via le projet ANR PING/ACK (porté par P. Marquis, CRIL) dont nous sommes partenaire.



FIGURE 3.2 – Le véhicule autonome e-tract sur le campus

**Autres thèmes** Sans développer davantage, nous nous contentons de citer d'autres projets de recherche de membres de DART : l'inférence de réseaux booléens à partir de modèles biologiques (ANR JCJC BNeDiction), les jeux avec échanges publics d'information (projet commun avec l'IRL ReLaX), l'approche systémique et incarnée de la cognition, la navigation et le transport intelligent (projets e-tract et chaire "mobilité et transport intelligent").

## 2.4 Ancrages locaux et internationaux du département MF

La stratégie du département MF est de s'appuyer sur des soutiens locaux et internationaux pérennes, en plus des appels à projets à court terme.

Ainsi le futur département MF veillera notamment à poursuivre sa participation aux projets de l'IDEX qui constitue un soutien local qui montre une certaine pérennité (projets CPU, Sysnum et DACCS).

A l'international, la synergie entre le futur département MF et l'IRL ReLaX, qui a notamment permis d'accueillir un flux régulier d'excellents stagiaires pré-doctoraux et plusieurs doctorants indiens, a vocation à continuer à s'approfondir. Elle se déploie depuis plusieurs années dans des domaines comme la logique, la théorie des automates et des transducteurs, la modélisation des systèmes distribués ou quantitatifs et la vérification (9 articles cosignés, publiés ou acceptés dans des journaux et 11 dans des conférences de 2017 à juin 2020). Plus récemment, elle s'est développée en théorie des jeux ou dans les applications de l'apprentissage statistique à des problématiques de vérification, et nous prévoyons d'étendre cette collaboration aux fondements de l'intelligence artificielle tels qu'ils sont développés dans le département et chez nos partenaires indiens.



# Bench to Knowledge and Beyond

## 1 Bilan

### 1.1 Présentation de l'équipe

#### 1.1.1 Introduction

L'équipe BKB (Bench to Knowledge and Beyond) mène des recherches sur tout ou partie du cycle de vie de la donnée (production, collecte, stockage, modélisation, exploitation, visualisation). Une particularité de l'équipe BKB est qu'elle réalise des recherches finalisées marquées par de multiples collaborations avec des experts des données. Les données manipulées sont principalement réelles, mais peuvent être générées par un algorithme à partir de données réelles ; notre objectif ultime est de fournir des solutions technologiques utilisables par les experts des données.

L'équipe s'appelait MABioVis (Modèles et Algorithmes pour la Bioinformatique et la Visualisation d'informations) au début de la période de l'évaluation et était composée de deux thèmes : COBALT (Computational Biology) et EVADOME (Exploration Visuelle et Analytique de DONnées MassivEs). Depuis janvier 2018, l'équipe a été renommée et divisée en trois thèmes pour mieux représenter l'évolution des thématiques de recherche et des collaborations. L'équipe s'appelle donc BKB (Bench to Knowledge and Beyond) et est découpé en trois thèmes : Bench to Model "Design", Model Analysis to Knowledge et Back to Bench and Beyond.



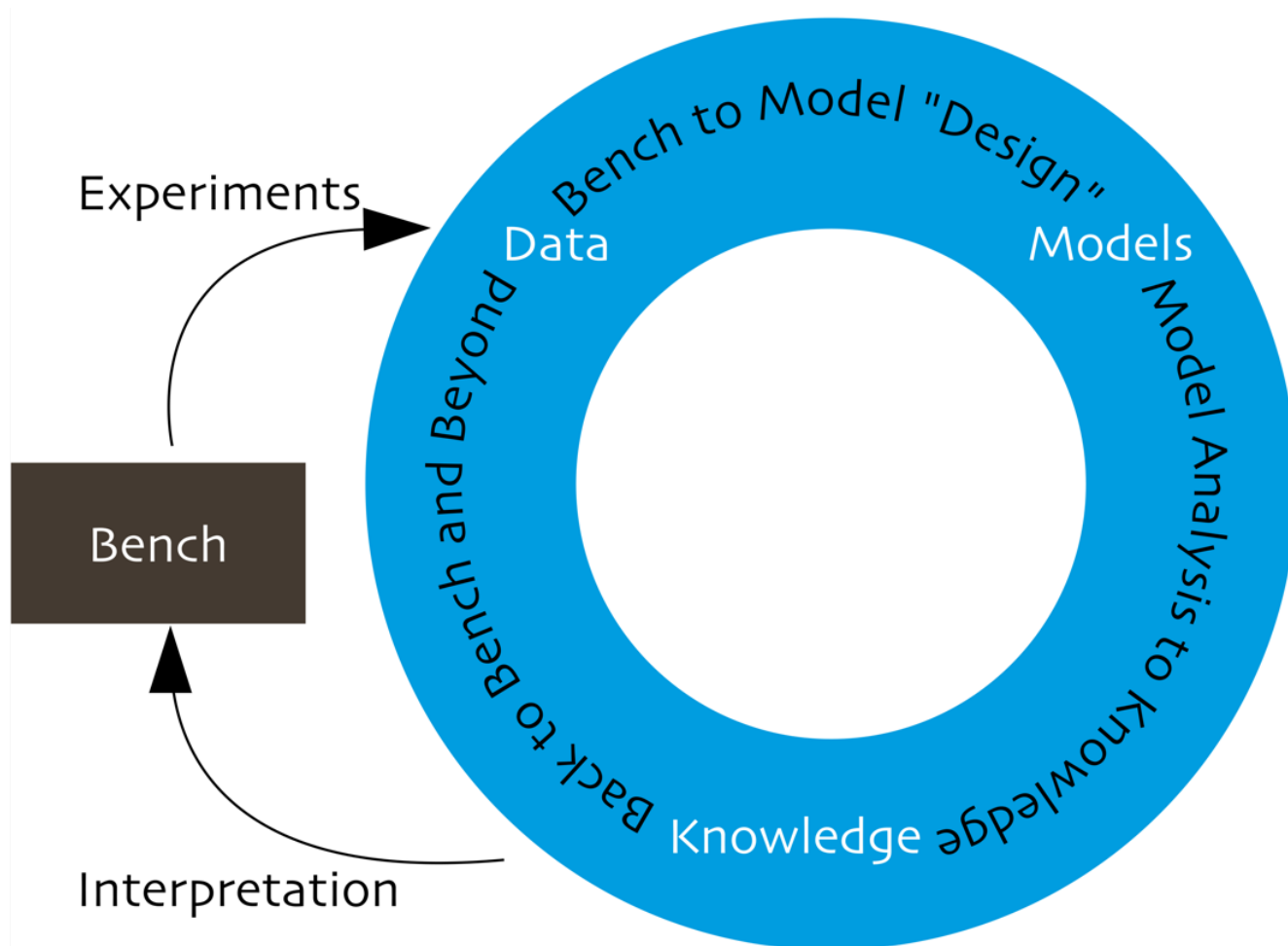


FIGURE 4.1 – Complémentarité des thèmes de l'équipe BKB.

### 1.1.2 Effectifs et moyens

Tableau 4.1 : Chercheurs et E/C de l'équipe Bench to Knowledge and Beyond

	2015	2016	2017	2018	2019	2020
MCF	10	10	10	10	9	9
CR	2	3	4	4	4	5
PR	4	4	3	3	4	4
DR	3	3	3	3	3	2
Post-doctorant(e)s	0	1	1	2	1	1
Doctorant(e)s	9	14	17	14	15	13
Autres, dont émérites	2	2	3	3	2	2

L'équipe Bench to Knowledge and Beyond a actuellement 6 MCF ou CR habilités.

Le tableau suivant donne les contrats de l'équipe (il est rappelé dans l'annexe 4).

Tableau 4.2 : Contrats de l'équipe Bench to Knowledge and Beyond, en k€

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total
International, dont Europe	0	280	179	0	0	1500	1959
National	259	205	133	117	83	8	805
Régional	0	40	0	498	57	0	595
Industrie	65	271	0	73	146	0	555

Montant total des contrats pour l'équipe Bench to Knowledge and Beyond : **3914 k€**.

### 1.1.3 Politique scientifique

L'équipe BKB est une petite équipe du LaBRI qui s'est restructurée durant le dernier exercice pour augmenter la visibilité de ses compétences. Les thématiques de recherche développées par l'équipe sont devenues de plus en plus prégnantes pour les autres disciplines et ont conduit les membres de l'équipe à répondre à de plus en plus de sollicitations extérieures. Il a été nécessaires, compte tenu de l'effectif réduit de l'équipe, d'effectuer des choix relativement aux sollicitations. Ces arbitrages ont été effectués collégialement lors des tours de tables en introduction des GT hebdomadaires. Du point de vue de la production scientifique, les membres de l'équipe ont continué à assurer une production scientifique de haute qualité et à forte visibilité en conciliant les journaux et conférences de premiers rangs ainsi que les événements scientifiques d'animation de communautés (e.g. CPM, EGC, JOBIM, ...).

Enfin, en suivant les recommandations de la dernière évaluation HCERES, l'équipe a amorcé un rapprochement avec le calcul intensif via un séminaire commun "HPC/Big data" et le recrutement commun d'une maître de conférences sur ces thématiques. L'équipe a également renforcé son taux d'encadrement avec la promotion d'un de ses maître de conférences en professeur d'Université et le passage de 2 habilitations à diriger des recherches sur la période. La nouvelle répartition en trois thèmes a permis de répartir plus logiquement les compétences des membres de l'équipe. Le fait que plusieurs thèses soient co-dirigées par plusieurs membres de l'équipe de différents thèmes illustre bien ce découpage en compétences et leur complémentarité.

## 1.2 Présentation de l'écosystème recherche de l'équipe

L'équipe BKB participe activement aux communautés francophones Extraction et Gestion de Connaissances (EGC) et Gestion de Données (BDA) mais également aux groupements de recherche tels que MaDICS, BIM, IM. Les membres de l'équipe entretiennent des collaborations fortes avec d'autres équipes de recherche tant au niveau local (e.g. IMB, INRAe, Neurocentre Magendie, INSERM), national (e.g. Rennes, Montpellier, Toulouse) qu'international (King's College London, LIST, UdeM, USP). L'équipe, de par ses thématiques de recherche appliquées et son vaste spectre de compétences, est également largement sollicitée par des industriels locaux (e.g. AT Internet, LECTRA, Suez, Bordeaux métropole, Betclick) et nationaux (e.g. Orange, SNCF, Thalès) et des UMR d'autres disciplines (UMR Comptresac et UMR PASSAGES). Tout particulièrement pour ses compétences en visualisation d'information, l'équipe a également participé à des projets portés par le Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (algorithme Parcoursup) ainsi que le CNRS (Covid NMA).

## 1.3 Produits et activités de la recherche

### 1.3.1 Bilan scientifique

L'équipe BKB mène des recherches théoriques et finalisées sur la **la gestion, l'analyse et l'exploration de données complexes**. Cette complexité peut découler du volume des données, de leur variété ou de leur véracité, de leur vélocité. Elle est souvent inhérente au domaine d'application (e.g. santé, biologie, données utilisateurs, géographiques, ville intelligente, ...).

Une particularité de l'équipe BKB est qu'elle réalise une **recherche finalisée** en partant d'approches génériques déployées et adaptées aux données d'intérêt. Cet objectif nécessite bien souvent, au delà des **aspects théoriques**, la prise en main du domaine d'application.

Le bilan scientifique sur la période de l'évaluation est fortement positif :

- L'équipe publie dans des journaux et des conférences de premier plan (Ref Annexe 4).
- L'équipe participe à de nombreux projets collaboratifs (Ref Annexe 4).

### 1.3.2 Faits marquants

L'équipe souhaite mettre en avant trois ensembles de travaux effectués pendant la période de l'évaluation :

- les travaux sur un projet de recherche et d'enseignement porté par le phénomène « BigData » ;
- les travaux menés autour de la bio-informatique ;
- les travaux menés autour des neurosciences ;

Bien que ces travaux ne couvrent pas entièrement le large spectre des recherches menées au sein de BKB, ils donnent un bon aperçu de la dynamique de l'équipe.

**Immersion dans un océan de données, terres de l'apprentissage machine en vue : récit d'un projet de recherche et d'enseignement porté par le phénomène « BigData »** Les recherches en visualisation d'information au LaBRI ont historiquement été orientées majoritairement vers les données massives. Cependant, le phénomène dit « BigData » qui émerge au début de la décennie 2010 vient complètement bouleverser les paradigmes de stockage et de calcul que la communauté scientifique en visualisation d'informations utilise. L'avènement d'une algorithmique distribuée (« map reduce ») basée sur le BSP « bulk synchronous parallelism » et de capacités de stockage jusque là inconcevables pour des applications de visualisations de données ouvraient de nouvelles perspectives de recherches dans notre domaine.

Ce constat nous a amené dès 2013 à orienter nos recherches en visualisation d'information sur la problématique de la visualisation des « big data ». À ce stade, nous ne disposions d'aucune infrastructure matérielle permettant d'effectuer des recherches sur cette thématique et notre expertise scientifique dans ce domaine naissant était faible.

En collaboration avec des membres de l'équipe combinatoire et algorithmique spécialistes de l'algorithmique distribuée, des membres de notre équipe et d'industriels locaux et nationaux nous avons lancé ces travaux précurseurs. L'obtention en 2013 de deux financements importants dans le cadre des PIA (projets investissements d'avenir) nous a permis de mettre en place une première infrastructure support de nos recherches et de recruter 4 doctorants sur cette thématique. Afin d'accompagner nos recherches dans cette thématique, la région Aquitaine a financé un doctorant supplémentaire. Notre investissement dans cette nouvelle thématique a porté ses fruits dès

2015, nous avons obtenu deux prix du meilleur article cette année-là, notamment un à « Large Data Analysis and Visualization ». Au final, 5 doctorants ont soutenus une thèse sur ce sujet et plus 15 articles ont été publiés.

Notre avons ainsi obtenu une reconnaissance nationale et internationale sur le sujet. Ceci nous a conduit par exemple, à la participation à la rédaction de l'ouvrage « Les Big Data à découvrir » et à l'organisation du workshop international « BigVis 2020 ». Un autre point important est que ces recherches nouvelles nous ont permis de créer des enseignements nouveaux sur la programmation large échelle dans les écosystèmes BigData. Nous avons créé une UE pour les masters 2 d'informatique de Bordeaux (50 étudiants), une UE pour les dernières années d'école d'ingénieur de l'ENSEIRB (25 étudiants) ainsi qu'un module de formation pour les doctorants (10 étudiants).

Un autre aspect de cette orientation de nos recherches est qu'elle nous a conduit à mettre en place une infrastructure de stockage massif au LaBRI qui est utilisable par tous les membres du laboratoire. Celle-ci permet de travailler sur des données de plus 300To. Les prémices de plateforme financée avec les PIA a été complété via un appel à projet Région de 100K euros incluant plusieurs entreprises du bassin Aquitain. Ce projet nommé « Lab in The Sky with Data » (LSD) dont nous sommes les porteurs vient d'obtenir un nouveau financement FEDER de 1.5M d'euros qui permettra de donner accès à l'ensemble des membres de l'université à une infrastructure de stockage massif ainsi qu'à un système de virtualisation (cloud).

La réussite de notre passage aux « big data » rencontre maintenant un autre phénomène plus récent qui est celui du sacre des réseaux de neurones profonds. Notre capacité à analyser visuellement de grandes masses de données ainsi que l'expertise des membres de notre équipe en apprentissage machine nous permet d'orienter nos recherches sur l'analyse des grands réseaux de neurones et de leur comportement pendant les phases d'apprentissage. Plusieurs téraoctets doivent être analysés visuellement pour chaque apprentissage et nous avons démontré que les technologies « BigData » sont très adaptées à ce genre d'analyse. Nous avons déjà deux étudiants en doctorat sur cette thématique ainsi que deux publications internationales. L'utilisation de nos travaux en visualisation de données massives sur cette problématique sera un des objectifs principaux de nos recherches pendant les prochaines années.

Ces travaux représentent un fait marquant car ils ont permis d'initier une thématique de recherche nouvelle pour l'équipe mais aussi de favoriser à l'université l'émergence de cette thématique. En effet, la plateforme LSD, initiée par les premiers projets obtenus par l'équipe, est aujourd'hui au centre de nouveaux financements afin d'étendre son utilisation à l'échelle de l'université.

**La visualisation et la bioinformatique pour faire parler les données biologiques** En parallèle du phénomène «BigData» général, la production de données biologiques à haut débit a également connu sa révolution qui a résulté dans une réduction drastique des coûts et du temps de production, donnant lieu à une augmentation sans précédent du nombre de données et de leur hétérogénéité. Le passage à l'échelle nécessité par le caractère massif et hétérogène des données biologiques est devenu, depuis ces dernières années, un problème incontournable en bioinformatique. C'est dans ce cadre que se positionne une partie de nos travaux en bioinformatique. Dans un article publié dans la revue Briefings in Bioinformatics en 2015, nous avons démontré les avantages liés à la combinaison d'approches issues des deux communautés pour l'analyse de réseaux biologiques. D'une manière générale, la combinaison de méthodes bioinformatiques avec des approches de visualisation facilite l'exploration intuitive des données et produit des représentations visuelles permettant à l'expert de construire des hypothèses et pouvoir ensuite les tester à l'aide d'algorithmes de bioinformatique. Dans ce contexte, lorsque les données omiques peuvent être modélisées par des graphes, les méthodes de visualisation fournissent une véritable boîte à outils pour construire des systèmes de visualisation dédiés à l'analyse [15].

Nous avons par exemple développé le logiciel rNAV [8, 10]), une émanation de la plateforme Tulip (qui fournit

un environnement générique de visualisation de données dédié à l'analyse et à la visualisation des relations dans un graphe). Le logiciel rNAV est centré sur l'analyse de la régulation entre les petits ARNs bactériens et leurs cibles (ARNm). En fonction de l'intérêt que l'expert porte sur certaines représentations du graphe et qui évolue au cours de son exploration, il est nécessaire de pouvoir se focaliser à différents moments sur des conformations précises. Par exemple, nous avons choisi de proposer un filtrage dynamique basé sur des techniques de « *fish-eye déformant* » afin de faire disparaître ou apparaître des sommets selon leur degré d'intérêt par rapport aux connaissances biologiques. Ce sont ensuite les opérateurs implémentant ces techniques qui appliquent des transformations aux nœuds pour les rendre visibles ou invisibles en fonction de l'action de l'utilisateur et en conciliant les détails et le contexte pour une interprétation graphique et esthétique des données.

Sur la même thématique, nous avons également proposé une nouvelle technique de visualisation des interactions entre ARNs et ARNm [17] en mettant l'accent sur les régions impliquées en fonction de la représentation de la structure secondaire de l'ARN. Notre approche soutient également l'exploration pour favoriser la sélection de régions d'intérêts par l'utilisateur avec l'objectif de mettre en évidence les interactions pertinentes. Le rôle joué dans la cellule par la régulation de ces petits ARNs nécessite de connaître les cibles avec lesquels ils interagissent mais également d'intégrer les informations fonctionnelles de ces cibles disponibles dans les bases de données publiques en biologie. La quantité et la diversité des données à manipuler posent des défis d'intégration et de synthèse. En collaboration avec l'équipe ERIAS (INSERM), nous avons proposé trois axes de développements qui ont visé (i) à analyser des mesures de similarité sémantique entre différentes sources d'informations hétérogènes [3], (2) à développer des nouvelles approches de fouilles de données pour déterminer l'ensemble restreint d'annotations [2] et (3) à proposer des nouvelles métaphores visuelles pour la visualisation de données d'ontologie [4].

Par leur caractère hautement pluridisciplinaire, ces travaux représentent une vraie originalité de l'équipe et donc un des faits marquants que l'on souhaite mettre en avant dans ce rapport. En effet, ces travaux reposent sur la combinaison des expertises très différentes mais complémentaires, à savoir des approches informatiques, bioinformatiques, biostatistiques et expérimentales.

**L'apprentissage cortical au cœur de la prise de décision** Notre collaboration avec l'institut des maladies neurodégénératives (Bordeaux) nous a donné l'opportunité de travailler au plus près des neurosciences avec un accès direct aux résultats expérimentaux chez le primate. Dans ce contexte, nous nous sommes intéressés aux ganglions de la base qui est une structure sous-corticale fortement impliqués dans la prise de décision. L'hypothèse la plus commune aujourd'hui étant que cette structure est responsable de la sélection de l'action via des boucles dynamiques et un apprentissage permettant de valuer les actions. En étroite collaboration avec T. Boraud (CNRS), nous avons construit et validé expérimentalement un modèle computationnel sur une tâche de décision avec des récompenses stochastiques. Notre hypothèse a été de prendre en compte des interactions avec le cortex afin d'expliquer que la prise de décision est un processus distribué qui n'est pas conditionné à une seule structure et qu'il existe un transfert d'apprentissage entre une structure et une autre.

Plus précisément, nous avons proposé de repenser le fonctionnement de la physiologie de la décision en posant l'hypothèse que la prise de décision et son automatisation reposent sur un apprentissage cortical qui s'effectue sous la tutelle des structures sous-corticales [7]. Nous avons fait notamment l'hypothèse que le développement des automatismes n'est pas un archaïsme mais au contraire un avantage évolutif lié au développement d'un pallium dorsal (cortex chez les mammifères) spécialisé qui a évolué en parallèle dans différentes lignées de vertébrés. En appuyant notre discours sur de très nombreux exemples tirés de la littérature et de nos propres travaux, nous avons pu définir un modèle computationnel minimal grâce auquel notre hypothèse a pu être explicitement testée chez le primate [18] et actuellement en test chez l'oiseau chanteur, en collaboration avec A. Leblois (CNRS). Cette approche permet entre autres de résoudre un certain nombre de paradoxes et propose de nouvelles pistes

physiopathologiques pour les troubles de la décision [16].

C'est un résultat très significatif en opposition avec un certain nombre de résultats de la littérature mais qui supporté par les expériences que nous avons effectué au sein du laboratoire. Il permet notamment d'expliquer pourquoi certaines interventions chirurgicales (lésion du GPi) ne provoquent pas d'effet sur les comportements routiniers chez l'humain. Enfin, cet apprentissage dual est maintenant activement exploré au sein de notre équipe sous l'angle de l'apprentissage machine en mélangeant deux type d'apprentissages (par renforcement et supervisé) afin d'offrir des meilleures performances et plus de stabilité.

**Autres travaux** Nous avons fait le choix de mettre en avant certains travaux qui présentent les différents domaines couverts par l'équipe BKB et qui illustrent la qualité des contributions réalisées. Ces travaux, exprimés sous forme de faits marquants, ne doivent pas masquer les nombreux autres travaux tout autant excellents qui sont réalisés notamment sur l'optimisation de requêtes de préférences multi-critères [1, 13], la visualisation pour l'interprétabilité des réseaux de neurones profonds [12], la modélisation, simulation et analyse visuelle et interactive de propagation d'informations dans les réseaux sociaux à l'aide de la réécriture de graphe [11], le requêtage, l'indexation et la compression de données de séquençage de génomes [6, 9, 14], l'étude de l'apport du contraste de phase dans le cancer radio induit lié à la mammographie [5], ...

## Bibliographie

- [1] [Karim ALAMI](#) and [Sofian MAABOUT](#). “A framework for multidimensional skyline queries over streaming data.” In: *Data Knowl. Eng.* 127 (2020), p. 101792. DOI: 10.1016/j.datak.2020.101792.
- [2] [Aaron AYLLON Benitez](#), [Romain BOURQUI](#), [Patricia THEBAULT](#), and Fleur MOUGIN. “GSAn: an alternative to enrichment analysis for annotating gene sets.” In: *NAR Genomics and Bioinformatics* 2.2 (June 2020). DOI: 10.1093/nargab/lqaa017.
- [3] [Aaron AYLLON Benitez](#), Fleur MOUGIN, [Julien ALLALI](#), Rodolphe THIEBAUT, and [Patricia THEBAULT](#). “A new method for evaluating the impacts of semantic similarity measures on the annotation of gene sets.” In: *PLoS ONE* 13.11 (Nov. 2018). DOI: 10.1371/journal.pone.0208037.
- [4] Aarón AYLLÓN-BENÍTEZ, Fleur MOUGIN, Jesualdo Tomás FERNÁNDEZ-BREIS, Manuel QUESADA MARTINEZ, Patricia THEBAULT, and Romain BOURQUI. “Deciphering gene sets annotations with ontology based visualization.” In: *21 st International conference information visualisation*. London, United Kingdom, July 2017. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01524572>.
- [5] V. BEAUDOUX, [Guillaume BLIN](#), B. BARBREL, G. KANTOR, and C. ZACHARATOU. “Geant4 physics list comparison for the simulation of phase-contrast mammography (XPulse project).” In: *Physica Medica* 60 (Apr. 2019), pp. 66–75. DOI: 10.1016/j.ejmp.2019.03.026.
- [6] Gaëtan BENOIT, Claire LEMAITRE, Dominique LAVENIER, Erwan DREZEN, Thibault DAYRIS, [Raluca URICARU](#), and Guillaume RIZK. “Reference-free compression of high throughput sequencing data with a probabilistic de Bruijn graph.” In: *BMC Bioinform.* 16 (2015), 288:1–288:14. DOI: 10.1186/s12859-015-0709-7.
- [7] Thomas BORAUD, Arthur LEBLOIS, and [Nicolas P. ROUGIER](#). “A Natural History of Skills.” In: *Progress in Neurobiology* 171 (Dec. 2018), pp. 114–124. DOI: 10.1016/j.pneurobio.2018.08.003.
- [8] Romain BOURQUI, Isabelle DUTOIR, Jonathan DUBOIS, William BENCHIMOL, and Patricia THEBAULT. “rNAV 2.0: a visualization tool for bacterial sRNA-mediated regulatory networks mining.” In: *BMC Bioinformatics* 18.1 (Mar. 2017). DOI: 10.1186/s12859-017-1598-8.



- [9] [Tristan BRAQUELAIRE](#), [Marie GASPAREUX](#), [Mathieu RAFFINOT](#), and [Raluca URICARU](#). “On the Shortest Common Superstring of NGS Reads.” In: *Theory and Applications of Models of Computation - 14th Annual Conference, TAMC 2017, Bern, Switzerland, April 20-22, 2017, Proceedings*. Ed. by T. V. GOPAL, Gerhard JÄGER, and Silvia STEILA. Vol. 10185. Lecture Notes in Computer Science. 2017, pp. 97–111. DOI: 10.1007/978-3-319-55911-7\_8.
- [10] Jonathan DUBOIS, Amine GHOZLANE, Patricia THEBAULT, Isabelle DUTOIR, and Romain BOURQUI. “Genome-wide detection of sRNA targets with rNAV.” In: *Symposium on Biological Data Visualization*. Atlanta, United States, Oct. 2013, pp. 81–88. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00935443>.
- [11] Maribel FERNANDEZ, Hélène KIRCHNER, Bruno PINAUD, and Jason VALLET. “Labelled Graph Strategic Rewriting for Social Networks.” In: *Journal of Logical and Algebraic Methods in Programming* 96.C (2018), pp. 12–40. DOI: 10.1016/j.jlamp.2017.12.005.
- [12] [Adrien HALNAUT](#), [Romain GIOT](#), [Romain BOURQUI](#), and [David AUBER](#). “Deep Dive into Deep Neural Networks with Flows.” In: *Proceedings of the 15th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications, VISIGRAPP 2020, Volume 3: IVAPP, Valletta, Malta, February 27-29, 2020*. Ed. by Andreas KERREN, Christophe HURTER, and José BRAZ. SCITEPRESS, 2020, pp. 231–239. DOI: 10.5220/0008989702310239.
- [13] [Nicolas HANUSSE](#), [Patrick KAMNANG Wanko](#), and [Sofian MAABOUT](#). “Approches basées sur la distribution pour l’estimation de la taille du skyline.” In: *Ingénierie des Systèmes d’Inf.* 21.3 (2016), pp. 119–140. DOI: 10.3166/isi.21.3.119-140.
- [14] Yvan le BRAS, Olivier COLLIN, Cyril MONJEAUD, Vincent LACROIX, Eric RIVALS, Claire LEMAITRE, Vincent MIELE, Gustavo SACOMOTO, Camille MARCHET, Bastien CAZAUX, Amal Zine El AABIDINE, Leena SALMELA, Susete ALVES-CARVALHO, Alexan ANDRIEUX, [Raluca URICARU](#), and Pierre PETERLONGO. “Colib’read on galaxy: a tools suite dedicated to biological information extraction from raw NGS reads.” In: *GigaScience* 5.1 (Feb. 2016). DOI: 10.1186/s13742-015-0105-2.
- [15] Fleur MOUGIN, [David AUBER](#), [Romain BOURQUI](#), [Gayo DIALLO](#), [Isabelle DUTOIR](#), Vianney JOUHET, Frantz THIESSARD, Rodolphe THIEBAUT, and [Patricia THEBAULT](#). “Visualizing omics and clinical data: which challenges for dealing with their variety?” In: *Methods* (2017). DOI: 10.1016/j.ymeth.2017.08.012.
- [16] Camille PIRON, Daisuke KASE, Meropi TOPALIDOU, Michel GOILLANDEAU, Hugues ORIGNAC, Tho-Hai NGUYEN, Nicolas P. ROUGIER, and Thomas BORAUD. “The Globus Pallidus Pars Interna in Goal-Oriented and Routine Behaviors: Resolving a Long-Standing Paradox.” In: *Movement Disorders* (2016). DOI: 10.1002/mds.26542.
- [17] Joris SANSEN, Patricia THEBAULT, Isabelle DUTOIR, and Romain BOURQUI. “Visualization of sRNA-mRNA Interaction Predictions.” In: *20th International Conference Information Visualisation (IVS 2016)*. 2016 20th International Conference Information Visualisation. Lisbonne, Portugal, July 2016, pp. 342–347. DOI: 10.1109/IV.2016.14.
- [18] Meropi TOPALIDOU, Daisuke KASE, Thomas BORAUD, and Nicolas P. ROUGIER. “A Computational Model of Dual Competition between the Basal Ganglia and the Cortex.” In: *eNeuro* (Dec. 2018), ENEURO.0339–17.2018. URL: <https://hal.inria.fr/hal-01925643>.

## 1.4 Organisation et vie de l'équipe

### 1.4.1 Pilotage, animation, organisation de l'équipe

La restructuration de l'équipe en 3 thèmes depuis la dernière évaluation de l'équipe BKB (anciennement nommée MABioVis), nous a mené à revoir son pilotage et animation. Ainsi l'augmentation du nombre de thèmes a permis, de fait, de rendre pleinement collégiales les décisions d'équipe tant pour le soutien d'axes et de projets de recherche émergents, que pour les demandes de financement. En effet, chaque sensibilité scientifique est ainsi représentée lors de la prise de décision. Une attention toute particulière sur l'attribution de moyens, qu'ils soient humains ou matériels, est au cœur de notre politique scientifique.

L'une des particularités de notre équipe est d'être multi-sites à la fois en recherche (LaBRI, IMN, Inria Bordeaux-Sud Ouest) et en enseignement (site de Talence, site de Bordeaux-Carrère, IUT site de Gradignan et Bordeaux INP). Cette particularité explique également une animation scientifique multi-sites. En effet, nous organisons de manière régulière des séminaires thématiques au LaBRI, à Inria Bordeaux-Sud Ouest et à l'IMN auxquels l'ensemble des membres de l'équipe est convié.

## 2 Projet

### 2.1 Analyse SWOT

#### 2.1.1 Projets scientifiques

##### Objectifs principaux

Lors de la dernière évaluation, l'équipe se nommait MABioVis (pour Méthodes et Algorithmes pour la Bioinformatique et la Visualisation). Cette dernière, créée en 2006, avait pour objectif de partager et développer des méthodes de fouille, gestion, modélisation et analyse de données de systèmes complexes. En octobre 2017, l'équipe a décidé de changer de nom pour refléter plus précisément ses compétences et ses domaines de recherche. En effet, la diversité des domaines d'applications allait bien au-delà de la Bioinformatique. Ce changement a semblé-t-il contribué à une meilleure visibilité des compétences de l'équipe et a conduit à une diversification des sollicitations de la part du monde industriel. La particularité de l'équipe de conduire des recherches multi-disciplinaires appliquées au monde réel a donc été préservée (voir exacerbée). Cela implique très souvent un investissement important des membres de l'équipe pour aborder, puis comprendre suffisamment le domaine d'application afin de pouvoir collecter les données brutes, les organiser en structures de données adaptées à leur analyse, et finalement, pouvoir produire du sens, voir de la connaissance de ces données.

L'intérêt de la poursuite de cette approche dans le futur ne fait aucun doute au sein de l'équipe. Ceci est motivé par un constat du quotidien sur la nécessité de pouvoir naviguer dans un flot de données toujours de plus en plus important et d'être en capacité d'en extraire une information de valeur. Nous avons anticipé le problème que pourrait apporter l'augmentation des sollicitations de partenaires extérieurs considérant la faible taille de l'équipe. Notre approche a été, et restera, de procéder à des choix éclairés souvent guidés par notre capacité à capitaliser le travail passé. En effet, nous nous sommes rendu compte que, bien souvent, les approches mises en oeuvre pouvaient être adaptées à un nouveau contexte et nous permettait à "moindre frais" de nous investir dans de nouveaux projets. Les défis auxquels nous faisons alors face, lors d'un nouveau projet, portent essentiellement sur la prise en compte des spécificités des données étudiées (e.g. véracité, vélocité, volume, dynamisme, ...).

De manière plus pragmatique, on peut constater que cette approche choisie par l'équipe nous permet également d'obtenir, de manière relativement aisée, des financements pour nos recherches. En effet, à un niveau local, l'Université de Bordeaux soutient les recherches trans/multi-disciplinaires par des AAP structurants mais on constate que c'est également le cas au niveau national. L'équipe a su, et à pour volonté de continuer, de répondre à ces AAP pour financer ses recherches.

### **Objectifs scientifiques et stratégie**

D'un point de vue scientifique, et en cohésion avec la structuration de l'équipe autour de ses compétences, nous souhaitons continuer à développer des approches innovantes au sein de projets inter-disciplinaires, collaboratifs et appliqués. Comme le laisse suggérer l'articulation en thèmes de recherche de l'équipe, les fondations méthodologiques sur lesquelles se basent notre expertise portent sur la modélisation, la fouille et la visualisation de données complexes où la complexité peut se référer, entre autres, à la taille, la complétude, la véracité ou la dynamique des données. Cette complexité est souvent inhérente au domaine d'application (e.g. dans le cas des données biologiques, on retrouve souvent un problème d'incomplétude, de véracité et de volume simultanément).

La modélisation de données en structures de données adéquates est au coeur de l'ensemble de nos recherches car elle conditionne souvent la qualité (de la méthode ou du résultat retournée) des approches que nous pourrions mettre en oeuvre. Dans cet axe, nous continuerons à développer des approches de modélisations directes mais également des approches de modélisations guidées par les données. Les principaux défis que nous continuerons à rencontrer portent sur l'adaptation du choix du modèle ou du modèle lui-même à la croissance des données, leur hétérogénéité, leur dynamique, tout en conservant des garanties de performance et d'exactitude des résultats. Ce travail nécessite à la fois une vue d'ensemble et une expertise fine (et à jour) des formalismes à utiliser pour représenter les données.

La fouille de données dans ce contexte nécessite d'adapter les méthodes d'exploration analytique au contexte particulier des données étudiées et des éventuelles infrastructures d'exécution. Pour garantir les performances tout en fournissant une interactivité avec les données, nous avons constaté que les graphes multi-couches offraient un modèle idéal à la prise en compte des données hétérogènes liées.

Dans le contexte de la visualisation des données, tout en continuant à fournir une aide à l'analyse visuelle des données et des résultats, nous souhaitons investir la problématique de visualisation pour l'intelligence artificielle toujours dans un objectif d'aide à la compréhension des flots de données ainsi que des traitements les ayant générés.

### **Leviers pour mener à bien le projet**

L'équipe a identifié plusieurs points de vigilance pour permettre l'aboutissement de ses objectifs. En premier lieu, elle doit continuer à adapter la réponse aux nombreuses sollicitations et opportunités de collaborations en fonction de son potentiel humain à un instant donné. Pour ce faire, l'équipe souhaite continuer à avoir une gouvernance collégiale où ses décisions de réponses aux sollicitations sont discutées tous ensemble. Par ailleurs, inquiets de l'impact que pourrait avoir le départ d'un membre de l'équipe seul détenteur d'une compétence particulière, nous souhaitons maintenir et diffuser autant que faire se peut les compétences particulières au sein des membres de l'équipe. Ceci devrait être facilité par la transmission des savoirs via le groupe de travail existant et l'augmentation des projets impliquant plusieurs membres de l'équipe.

### **Forces**

- Complémentarité des compétences et savoir-faire des membres de l'équipe autour de la donnée.

- Expériences solides et variées de projets pluri-disciplinaires (biomédical, SHS, ...) et de transferts de compétences (industrielles et académiques).

#### **Faiblesses**

- Un écart trop important entre les forces en présence et la quantité de sollicitations pour des expertises et des projets collaboratifs
- La centralisation de certaines compétences sur un individu
- Une forte mobilisation des PRs et MdCs sur des tâches administratives importantes (2 Vice-Présidences, responsabilités de mentions, ...)

#### **Opportunités**

- Thématiques de recherche d'actualité et omni-présentes (e.g. données massives, IA, Bio-informatique); y compris au niveau du tissu socio-économique local
- Capacité de fédérer des recherches autour de ces thématiques au niveau local

#### **Menaces**

- La concurrence de grands groupes industriels sur les thématiques de recherche
- L'attractivité de ces groupes qui amoindrisse le vivier de jeunes chercheurs

## **2.2 Structuration, effectifs et orientations scientifiques**

La restructuration majeure de l'équipe, en dehors du changement d'échelle avec l'apparition des départements et la disparition des thèmes, porte sur la mobilité de l'équipe projet Mnemosynes. A l'issue de cette période, les trois chercheurs de la-dite équipe travaillant en neurosciences computationnelles et cognitives ont choisi de quitter l'équipe BKB, pour rejoindre la nouvelle équipe DART spécifiquement dédiée aux thématiques de décision, apprentissage et robotique, trois aspects centraux dans leur problématique.

De nouvelles collaborations sont à prévoir entre les membres de notre futur département. En effet, à titre d'exemple, d'un point de vue de l'aide à la décision et à la compréhension qui est une préoccupation commune des équipes du département, la visualisation de grand graphes est clairement une compétence de l'équipe qui sera pleinement utiles au sein du département. Par ailleurs, toute la problématique autour de l'algorithmique sur les structures arborescentes développée dans le cadre de la bio-informatique au sein de BKB trouve des échos dans les travaux autour de GumTree de l'équipe Progress.

Les résultats prometteurs des algorithmes d'intelligence artificielle ont créé une stimulation importante de la communauté scientifique sur ce domaine de recherche. Ces nouveaux algorithmes sont basés la plupart du temps sur les données (apprentissage supervisé). Notre capacité à traiter et analyser visuellement de grandes masses de données s'intègre donc naturellement dans cet axe de recherche prometteur. Nos méthodes permettent de mieux comprendre certaines erreurs liées à des bases d'apprentissage non cohérentes mais aussi d'analyser visuellement le fonctionnement interne du réseau de neurones. Dans ce cadre deux doctorants ont commencé à travailler sur des nouvelles techniques de visualisation dédiées au débogage des IA mais aussi à l'optimisation des réseaux de neurones profonds. Les réseaux peuvent se modéliser par des graphes pondérés hiérarchisés. Nous comptons sur notre expertise dans le domaine de la visualisation de grands graphes pour apporter des résultats novateurs dans ce domaine et ainsi contribuer pleinement à l'essor de l'axe transverse IA au sein de notre laboratoire.



# Programmation, Réseaux et Systèmes

## 1 Bilan

### 1.1 Présentation de l'équipe

#### 1.1.1 Introduction

L'équipe Progress mène une recherche sur le développement et la mise en oeuvre de systèmes logiciels composés de plusieurs entités qui peuvent être autonomes et qui évoluent dans des environnements complexes. De tels systèmes peuvent avoir une existence à une échelle globale (celle de l'internet notamment avec les systèmes web ou les grands réseaux du futur), microscopique (au niveau d'une machine et de son système d'exploitation) ou intermédiaire (notamment avec les essais de drones ou les véhicules intelligents).

Une particularité de l'équipe Progress est qu'elle réalise une recherche finalisée dans le sens où l'objectif principal est la mise en oeuvre de systèmes en conditions réelles. Cet objectif nécessite bien souvent, au delà des aspects théoriques, l'exploitation d'une démarche scientifique incluant des méthodologies de simulation, d'émulation, de test, et même d'évaluation en conditions réelles. Cela nécessite aussi de s'appuyer sur des domaines applicatifs (diffusion vidéo à la demande ou en direct, applications eCommerce, systèmes de surveillance aérien, transport intelligent, etc.) révélant les problématiques ciblées.

Au début de la période de l'évaluation, l'équipe Progress était composée de trois thèmes : COMET (Convergence et Optimisation des Media et des réseaux de Télécoms), MUSE (Mobilité, Ubiquité, Sécurité) et SE (Génie Logiciel). Pendant la période de l'évaluation il s'est avéré que les thématiques du thème MUSE pouvaient s'intégrer aisément dans le thème COMET. Il a donc été décidé de fusionner les thèmes MUSE et COMET.

#### 1.1.2 Effectifs et moyens

L'équipe Progress est la plus petite équipe du LaBRI (de 6 à 8 chercheurs en équivalent temps plein). Son ratio MCF/PR est très équilibré grâce notamment à l'arrivée de nouveaux MCF durant la période. Si le nombre de



post-doc a diminué pendant la période pour arriver à 0 en fin de période, le nombre de doctorants est quant à lui très stable. Notons de plus que, parmi les MCF, l'équipe compte 2 HDR. Enfin, depuis la fin de la période, l'équipe compte un CR CNRS. Le tableau suivant présente les effectifs de l'équipe sur toute la période.

**Tableau 5.1 : Chercheurs et E/C de l'équipe Programmation, Réseaux et Systèmes**

	2015	2016	2017	2018	2019	2020
MCF	7	6	7	6	7	6
CR	0	0	0	0	0	1
PR	5	5	5	6	6	6
DR	0	0	0	0	0	0
Post-doctorant(e)s	2	2	1	0	0	0
Doctorant(e)s	13	13	11	13	14	14
Autres, dont émérites	1	1	1	1	1	1

L'équipe Programmation, Réseaux et Systèmes a actuellement 2 MCF ou CR habilités.

Le tableau suivant donne les contrats de l'équipe (il est rappelé dans l'annexe 4).

**Tableau 5.2 : Contrats de l'équipe Programmation, Réseaux et Systèmes, en k€**

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total
International, dont Europe	72	53	0	0	490	0	615
National	267	0	0	329	58	92	746
Régional	0	0	0	227	149	0	376
Industrie	75	63	193	8	58	0	397

Montant total des contrats pour l'équipe Programmation, Réseaux et Systèmes : **2134 k€**.

### 1.1.3 Politique scientifique

L'équipe Progress est la plus jeune équipe du LaBRI. Les thématiques de recherche qu'elle cible sont relativement récentes pour le laboratoire. L'objectif principal pour la période d'évaluation était donc de porter ces thématiques en faisant levier sur les collaborations de l'équipe (aussi bien académiques qu'industrielles) et de mener une production scientifique de haute qualité afin d'apporter une visibilité forte à l'équipe. Pour mener à bien cet objectif l'équipe Progress a décidé de mener une politique scientifique visant à cibler des conférences et des journaux de premier plan, ainsi qu'à renforcer ses collaborations nationales et internationales.

De plus, il est à noter que l'équipe a pris soin de suivre les deux recommandations formalisées lors de la précédente évaluation HCERES :

- "l'équipe devra améliorer les collaborations internes, aussi bien entre les thèmes de l'équipe qu'avec les autres équipes du LaBRI, afin de renforcer la cohérence de ses activités" : L'équipe a augmenté les interactions entre ses membres. Cela s'est concrétisé en portant l'animation scientifique au niveau de l'équipe et non plus au niveau des thèmes. Lors de la période d'évaluation deux thèses ont été co-dirigées par des membres de l'équipe appartenant à des thèmes différents (thèse de Moubarak Zoure et de Simon Da Silva).

- “La collaboration internationale au-delà de l’Europe devra être augmentée pour conforter la portée internationale des résultats.” : L’équipe a augmenté ses collaborations internationales. Plusieurs chercheurs internationaux ont été invité à effectuer des séjours recherche dans l’équipe (Tunisie, Sénégal, Singapour, Chine, Canada, Burkina-Faso - c.f. annexe 4).

## 1.2 Présentation de l’écosystème recherche de l’équipe

D’un point de vue institutionnel, Francine Krief était co-directrice du LaBRI, Toufik Ahmed était directeur de la recherche de l’ENSEIRB-MATMECA, Xavier Blanc était membre du bureau du GDR-GPL du CNRS et Damien Magoni était membre du conseil d’administration et adjoint en charge de la recherche de la SIF. D’un point de vue industriel, l’intégration de l’équipe dans son écosystème s’illustre principalement par les 8 thèses CIFRE portées durant la période. D’un point des relations internationales, l’équipe a développé plusieurs collaborations notamment avec Beihang University (Chine), Waterloo University (Canada), USTHB (Algérie) UVic (Canada) et l’Université de Luxembourg (c.f. annexe 4).

## 1.3 Produits et activités de la recherche

### 1.3.1 Bilan scientifique

Le bilan scientifique sur la période de l’évaluation est très positif :

- l’équipe a obtenu d’excellents résultats qui ont donné lieu à la publication de 18 articles de journaux classés Q1 (environ 30% des articles de journaux publiés par les membres de l’équipe) ainsi que 19 articles de conférences classées A\* ou A (environ 20% des articles de conférences publiées par les membres de l’équipe) ;
- l’équipe a renforcé ses collaborations scientifiques ce qui s’illustre notamment par la participation à 26 projets collaboratifs (Europe, ANR, CIFRE, Région) ainsi qu’à l’invitation de 31 chercheurs étrangers sur la période ;
- en termes de reconnaissance, l’équipe compte un membre junior IUF 2015-2020 ;
- en termes de développement logiciel et de transfert, l’équipe a réalisé 4 logiciels et a fondé 1 nouvelle startup (Promyze - c.f. Annexe 4) sur la base de ses résultats de recherche (NFC-Interactive ayant été créée à la fin de période d’évaluation précédente).

### 1.3.2 Faits marquants

L’équipe souhaite mettre en avant les travaux suivants qui expriment la richesse des recherches effectuées pendant la période de l’évaluation :

- l’optimisation et le contrôle des environnements réseaux virtuels ;
- l’adaptation et le passage à l’échelle des services médias en fonction des utilisateurs et du contexte ;
- la mobilité des systèmes autonomes communicants ;
- la sécurité et le respect de la vie privée des systèmes informatiques distribués ;
- la duplication et la réplication d’artefacts logiciels en maintenance logicielle.

**Optimisation et contrôle des environnements réseaux virtuels :** La conception, la gestion et le déploiement de services réseau de manière flexible, automatisée et indépendante du matériel et des fournisseurs sont des enjeux majeurs dans le domaine des réseaux informatiques. Plusieurs approches ciblant ces enjeux ont d'ailleurs été proposées [27, 19, 20] et ont mené à l'évolution des réseaux vers des réseaux programmables et virtuels grâce à l'émergence des approches de virtualisation des fonctions réseau (NFV) et au contrôle du réseau par logiciels (Software Defined Networking). Malgré cela, cette évolution soulève un ensemble de défis liés au déploiement et à l'exploitation de services dans une infrastructure virtuelle et programmable, tels que l'orchestration et la gestion efficace de fonctions virtuelles, la fourniture de la résilience des services, le contrôle de la qualité de service (QoS), l'approvisionnement des ressources, etc.

Dans l'équipe, les travaux de recherche dans ce domaine ont alors visé à étudier la problématique du placement et du chaînage des fonctionnalités réseaux virtuelles appelées VNF (Virtual Network Function) en tenant compte de certaines exigences de service telles que le délai de bout-en-bout, la disponibilité du service ou encore la consommation d'énergie. Un ensemble d'algorithmes et de mécanismes permettant l'optimisation du déploiement des services a été proposé. Plus précisément, un mécanisme d'ordonnancement des fonctions VNF a été proposé [30], ainsi qu'un modèle d'optimisation couplé à un algorithme de placement et de chaînage de VNF dont l'objectif est de minimiser le délai de bout-en-bout pour satisfaire les exigences des applications temps-réel [2]. Au delà l'équipe a proposé un mécanisme de placement et de chaînage de VNF pour garantir un niveau prédéfini de disponibilité et de résilience [3]. L'objectif est de fournir une chaîne résiliente de services grâce à l'optimisation des paramètres du schéma de protection (optimisation des instances VNF en termes de nombre, de type, d'emplacement et de taille) nécessaires pour atteindre un niveau de disponibilité donnée en dépit des défaillances du réseau. Ces travaux de recherche ont été étendus vers l'optimisation des mécanismes de QoS dans les environnements à contraintes tels que les sans fil [18], les réseaux de capteurs (IoT) [24] et les réseaux satellites [1].

Ces travaux de recherche ont permis également de montrer que l'intégration de la technologie SDN pouvait permettre une dissémination géographique efficace et sécurisée de données dans un environnement véhiculaire. En effet, la définition de zones géographiques de distribution de données dans un environnement SDN n'ayant pas été considérée jusqu'ici, les évaluations menées dans le cadre d'expérimentations ont permis de démontrer la flexibilité de cette approche et le faible surcoût de communication comparé à l'existant. Par la suite, l'équipe a défini et implémenté une approche basée sur des machines d'état permettant de limiter les échanges entre contrôleurs SDN et équipements réseau [28]. L'évaluation de cette approche, en comparaison avec les solutions existantes, tend à confirmer les bénéfices de cette approche en termes de latence et de surcoût de communication. Pour finir, l'équipe a défini et implémenté un mécanisme d'authentification et de contrôle d'accès des nœuds SD-IdV permettant un passage à l'échelle plus important que les solutions existantes.

Ces travaux représentent un fait marquant pour l'équipe, attesté par les publications, et permettent de mesurer l'impact qu'a l'équipe dans le domaine des réseaux informatiques.

**Adaptation et passage à l'échelle des services médias en fonction des utilisateurs et du contexte :** La vidéo représente la première source de trafic sur Internet, avec un volume qui va doubler d'ici 2022 pour atteindre plus de 80% des données totales échangées (source : CISCO VNI Complete Forecast Update). La diffusion vidéo se matérialise sur plusieurs applications allant de la vidéo à la demande aux transmissions "live", en passant par la vidéoconférence. Face à cette croissance phénoménale, à la fois du débit demandé, de la qualité et du volume des contenus proposés, les problématiques de stabilité et de coûts liés à la diffusion se multiplient. L'objectif primordial est de réussir à fournir une qualité d'expérience suffisante à chaque utilisateur pour un coût optimisé. Pour cela, l'équipe s'est attelée à relever les challenges (1) d'adaptation du flux et (2) de passage à l'échelle, dans le cadre applicatif du streaming vidéo (live ou VOD) et dans celui des communications média (audio- et vidéo-conférences).

Dans le cadre du streaming vidéo, l'équipe a mis au point une solution de diffusion vidéo permettant de distribuer une qualité optimale à chaque utilisateur et d'absorber les forts pics d'audience, tout en déchargeant les serveurs [9]. La solution est en totale compatibilité avec les standards actuels et apporte deux briques supplémentaires, l'une basée pair-à-pair, facilitant le passage à l'échelle et la réduction des coûts, et l'autre orientée agrégation de flux multiples à des fins d'additivité de la qualité, innovation ayant reçu plusieurs prix au sein de la communauté [16, 8, 6]. Une série d'algorithmes de prises de décision a été élaborée pour faire fonctionner et co-exister vertueusement ces deux évolutions. Les résultats, au travers d'une large évaluation en conditions réelles, montrent un gain substantiel vis-à-vis de l'existant sur la capacité de passer à l'échelle et sur la qualité délivrée à chaque utilisateur [5, 7]. Dans le cadre des téléconférences entre plusieurs participants, l'équipe a défini un modèle exploitant le paradigme des réseaux logiciels, en combinant la diffusion multipoint et le placement de fonctions d'adaptation en cœur de réseau afin de réaliser d'importantes économies de bande passante. Au travers de l'élaboration de deux algorithmes de création d'arbres de diffusion multipoint, l'équipe a montré que les algorithmes proposés sont plus économes en bande passante que les algorithmes de téléconférences existants (e.g., serveur central, multipoint applicatif). Au-delà, l'équipe a conçu des algorithmes dynamiques qui calculent de manière optimale les règles de transcoding de flux sans recalculer les arbres de diffusion multipoint quand cela est possible, évitant ainsi des coûts de calcul non négligeables [23, 10].

Ces travaux représentent un fait marquant pour l'équipe sur un domaine scientifique dont les travaux avaient démarré lors de la précédente évaluation. Les résultats obtenus attestent de la volonté qu'a l'équipe de réaliser une recherche finalisée en collaboration avec des acteurs industriels (démonstration primée au CES de Las Vegas - c.f. annexe 4 ).

**Mobilité des systèmes autonomes communicants :** La mobilité est un enjeu important des systèmes autonomes et plus particulièrement des drones aériens qui évoluent dans des environnements 3D fortement dynamiques. Les problématiques liées à la mobilité sont nombreuses. Elles viennent tout d'abord de la perception qu'ont les systèmes autonomes de leur environnement. En effet, chaque système analyse son environnement à l'aide de capteurs (radar, lidar, caméra, etc.) et réalise alors des approximations pour construire une représentation de celui-ci. Ces approximations peuvent contenir des erreurs qui vont impacter sa stratégie de mobilité. Les problématiques liées à la mobilité viennent aussi de la complexité de l'environnement dans lequel les systèmes évoluent. Ces environnements sont bien souvent initialement inconnus (ils doivent donc être découverts en temps réel) et fortement dynamiques car ils peuvent héberger d'autres entités qui elles aussi sont autonomes. Enfin, dans certains contextes, il faut aussi considérer la présence d'adversaires ou d'ennemis dont l'objectif est de prédire et/ou perturber la mobilité (stopper un système autonome, le dérouter, etc.) ou même de détruire ou de capturer les systèmes autonomes. Dans ce domaine, notre équipe a contribué plus particulièrement sur la conception de modèles de mobilité représentant des déplacements de systèmes autonomes dans des environnements complexes tout en prenant en compte des objectifs multiples (i.e. se rendre d'un point A à un point B ou couvrir une zone). Les modèles de mobilité développés sont originaux car ils combinent plusieurs théories permettant la prise en compte de plusieurs objectifs. Reposant par exemple sur les approches de type Ant Colony Optimisation (ACO) et sur les concepts de la théorie du chaos [32], ils permettent de décrire, de valider et de mettre en oeuvre des comportements non déterministes qui sont notamment utilisés pour rendre impossible la prédiction de trajectoires des systèmes autonomes par des adversaires. L'équipe a proposé plusieurs modèles de mobilité, en mono drones et dans le cadre d'essais collaboratifs autonomes. En outre, l'équipe a notamment développé un modèle de calcul de trajectoire optimale (approche multi-critères) d'un essaim de drones pour se rendre d'un point A à un point B en environnement statique mais initialement inconnu [21]. Ce modèle exploite un partage d'information au sein de l'essaim de sorte à optimiser les trajectoires tout en maintenant la connectivité entre les engins [31]. Ce modèle montre de meilleurs résultats par rapport aux approches pré-existantes. L'équipe a aussi débuté des travaux conçus sur un modèle mathématique de calcul de trajectoire optimale de navigation d'un drone au sein

d'un environnement dynamique inconnu [33]. Ce modèle exploite la notion de potentiel fractionnaire qui permet de prendre en compte les variations paramétriques des engins, répondant ainsi à la problématique de perte de certains capteurs.

Ces travaux représentent un fait marquant sur un domaine qui a toujours été important pour l'équipe. Les résultats obtenus ont été publiés dans les conférences et journaux cœur du domaine. Il faut aussi souligner les fortes collaborations menées avec les acteurs industriels du domaine (Thales et DGA), ainsi que la participation à des projets européens (projet ASIMUT).

**Sécurité et respect de la vie privée :** Les services basés sur les données tels que les services de stockage dans le nuage (e.g., Amazon Web Services, Microsoft Azure), les réseaux sociaux (e.g., Facebook, Twitter) et les systèmes de recommandation ou de vidéo à la demande (e.g., Amazon, Netflix) ont connu une adoption rapide au cours des dernières années. Tous ces services sont rendus possibles par la disponibilité d'une grande infrastructure informatique massivement distribuée et la possibilité de collecter et d'agréger de grandes quantités de données sur les utilisateurs, leurs environnements et leurs organisations.

Toutefois, l'émergence de ces services soulève deux grandes préoccupations. La première est d'ordre technique et concerne le nombre toujours croissant de menaces contre la vie privée, d'attaques et de fuites de données observées dans les plates-formes informatiques distribuées à grande échelle. La seconde est éthique et est liée aux préoccupations croissantes des citoyens concernant le respect de leurs droits numériques personnels. L'équipe s'est intéressée à ces problématiques de sécurité et de respect de la vie privée dans deux domaines applicatifs différents. Le premier concerne le partage au sein d'un groupe d'utilisateurs de clés cryptographiques permettant d'accéder à des données chiffrées stockées dans le nuage. Le second porte sur la diffusion de vidéo à la demande et plus particulièrement l'utilisation des dispositifs présents dans le réseau pour améliorer la qualité d'expérience.

Dans chacun de ces domaines, l'équipe a proposé des solutions techniques originales faisant levier sur les environnements d'exécution sécurisée disponibles depuis peu dans tous les processeurs Intel (SGX). Les résultats obtenus ont montré que l'utilisation de SGX permet de simplifier la complexité des systèmes de contrôle d'accès cryptographiques, les rendant efficaces même en présence de groupe d'utilisateurs de grande taille [14]. L'équipe a également proposé une extension efficace aux systèmes existants de diffusion de clés de chiffrement pour préserver l'anonymat des membres d'un groupe d'utilisateurs [15]. Dans le domaine de la diffusion de vidéo à la demande, l'équipe a proposé une solution reposant sur l'utilisation de SGX dans les postes clients afin de garantir la sécurité de bout en bout du contenu diffusé et l'incapacité pour un attaquant ou un utilisateur malveillant de révéler des informations personnelles sur un utilisateur du système [17].

Ces travaux représentent un fait marquant pour l'équipe sur un domaine qui est en plein émergence. Les résultats obtenus ont été publiés dans les conférences de premier plan. Il est aussi important de noter que ces travaux ont permis l'élaboration de nouvelles collaborations industrielles (Entreprise SCILLE avec la thèse CIFRE de Stefan Contiu) et académiques (Université de Neuchâtel, UC Louvain).

**Duplication et réplique d'artefacts logiciels en maintenance logicielle :** Les développeurs de systèmes logiciels procèdent souvent à des copier-coller de code source pour ajouter de nouvelles fonctionnalités. Cette pratique est controversée car, même si elle permet potentiellement des gains de temps, elle peut aussi compliquer fortement la maintenance. En effet, si un bug survient dans un morceau de code qui a été copié, il faut alors corriger toutes ses copies. Ce phénomène a été étudié intensivement dans le domaine du génie logiciel, et plusieurs centaines d'articles ont d'ailleurs été publiés sur ce sujet. L'équipe s'est intéressée à l'occurrence de ce phénomène dans le code source mais aussi dans des artefacts autres que du code source (documentations, fichiers de build, etc.).

L'objectif a été d'évaluer les pratiques de copier-coller et de proposer des mécanismes permettant de les maîtriser pour simplifier la maintenance logicielle.

Dans un premier temps, l'équipe s'est attachée à analyser la meilleure façon de procéder à l'analyse des copier-coller dans les études empiriques. L'équipe a montré les biais importants qui pouvaient porter sur ces ensembles et a proposé des méthodologies pour y faire face [12]. L'équipe a ensuite étudié la prévalence des copier-coller dans trois types d'artefacts qui n'avaient jamais été étudiés auparavant : les documentations d'API, les fichiers de déploiement Docker et les fichiers de styles CSS [29]. Dans ces trois types d'artefacts, un volume significatif de copier-coller existe (entre 30 et 100% des instructions). L'équipe a mis en évidence les raisons sous-jacentes de ces copier-coller, qui bien souvent sont spécifiques aux artefacts et, de plus, inévitables. De plus, les méthodes qui sont utilisées dans plusieurs projets logiciels pour les éviter ont été passées en revue, mettant en évidence leurs points forts et leurs faiblesses. Dans le cadre de CSS, l'équipe a proposé un outil qui permet de les corriger automatiquement [13].

Ces travaux représentent un fait marquant pour l'équipe car ils représentent des avancées majeures par rapport à l'état de l'art, ce qui est d'ailleurs attesté par les nombreuses publications dans les conférences et journaux. De plus, ces travaux ont été réalisés en collaboration avec deux universités internationales (Université du Luxembourg et Université de Singapour). Ils illustrent la place qu'à l'équipe Progress dans le domaine du génie logiciel.

**Autres travaux :** L'équipe a fait le choix de mettre en avant certains travaux qui présentent les différents domaines couverts et qui illustrent la qualité des contributions réalisées. Ces travaux, exprimés sous forme de faits marquants, ne doivent pas masquer les nombreux autres travaux tout aussi excellents qui sont réalisés notamment sur l'optimisation des protocoles réseaux [25], sur les tests logiciels [26], sur les interactions des systèmes web [11], [4] ou encore sur la Blockchain [22].

## 1.4 Organisation et vie de l'équipe

À la fin de la dernière évaluation HCERES, l'équipe était constituée de trois thèmes de recherche : COMET, MUSE et SE. Chaque thème ciblait un domaine scientifique précis et était responsable de l'animation scientifique dans ce domaine. L'équipe s'occupait alors de la gouvernance générale, et arbitrait les politiques scientifiques des thèmes pour faire une remontée unique à la direction du laboratoire (via le conseil scientifique). Faisant suite aux préconisations de la dernière évaluation, l'équipe a souhaité améliorer les collaborations internes entre ses thèmes. Plusieurs projets ont émergé entre les membres des thèmes ce qui a abouti au co-encadrement de deux thèses entre les thèmes. Rapidement, grâce aux projets communs et aux thèses communes, les membres de l'équipe ont souhaité porter l'animation scientifique au niveau de l'équipe (et plus au niveau des thèmes). Depuis lors, il a été décidé d'organiser une réunion mensuelle d'équipe durant laquelle se déroule un exposé scientifique en ouverture de session. Devant le succès de cette nouvelle organisation, il a été décidé de faire disparaître les thèmes. De plus, afin de soutenir l'animation scientifique auprès de nos doctorants, un séminaire qui leur est dédié a été mis en place. Ce séminaire se déroule deux fois par mois. Il est porté par les doctorants qui organisent leurs présentations et leurs animations. Les permanents participent activement à ce séminaire.

## Bibliographie

- [1] **Toufik AHMED**, Emmanuel DUBOIS, Jean-Baptiste DUPE, Ramon FERRÚS, Patrick GELARD, and Nicolas KUHN. "Software-defined satellite cloud RAN." In: *Int. J. Satellite Communications Networking* 36.1 (2018), pp. 108–133. DOI: 10.1002/sat.1206.



- [2] [Abdelhamid ALLEG](#), [Toufik AHMED](#), [Mohamed MOSBAH](#), Roberto RIGGIO, and Raouf BOUTABA. “Delay-aware VNF placement and chaining based on a flexible resource allocation approach.” In: *13th International Conference on Network and Service Management, CNSM 2017, Tokyo, Japan, November 26-30, 2017*. IEEE Computer Society, 2017, pp. 1–7. DOI: 10.23919/CNSM.2017.8255993.
- [3] [Abdelhamid ALLEG](#), Riad KOUAH, S. MOUSSAOUI, and [Toufik AHMED](#). “Virtual Network Functions Placement and Chaining for real-time applications.” In: *2017 IEEE 22nd International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD) (2017)*, pp. 1–6.
- [4] [Ilyes BEN Hadj Yahia](#), Jean-Rémy FALLERI, and [Laurent RÉVEILLÈRE](#). “Polly: A Language-Based Approach for Custom Change Detection of Web Service Data.” In: *Service-Oriented Computing - 15th International Conference, ICSOC 2017, Malaga, Spain, November 13-16, 2017, Proceedings*. Ed. by E. Michael MAXIMILIEN, Antonio VALLECILLO, Jianmin WANG, and Marc ORIOL. Vol. 10601. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2017, pp. 430–444. DOI: 10.1007/978-3-319-69035-3\_30.
- [5] [Joachim BRUNEAU-QUEYREIX](#), Jordi Mongay BATALLA, [Mathias LACAUD](#), and [Daniel NÉGRU](#). “PMS: A Novel Scale-Adaptive and Quality-Adaptive Hybrid P2P/Multisource Solution for Live Streaming.” In: *ACM Trans. Multim. Comput. Commun. Appl.* 14.2s (2018), 35:1–35:25. DOI: 10.1145/3183515.
- [6] [Joachim BRUNEAU-QUEYREIX](#), [Mathias LACAUD](#), and [Daniel NÉGRU](#). “A multiple-source adaptive streaming solution enhancing consumer’s perceived quality.” In: *14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference, CCNC 2017, Las Vegas, NV, USA, January 8-11, 2017*. IEEE, 2017, pp. 580–581. DOI: 10.1109/CCNC.2017.7983175.
- [7] [Joachim BRUNEAU-QUEYREIX](#), [Mathias LACAUD](#), [Daniel NÉGRU](#), Jordi Mongay BATALLA, and Eugen BORCOCI. “MS-Stream: A multiple-source adaptive streaming solution enhancing consumer’s perceived quality.” In: *14th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference, CCNC 2017, Las Vegas, NV, USA, January 8-11, 2017*. IEEE, 2017, pp. 427–434. DOI: 10.1109/CCNC.2017.7983147.
- [8] [Joachim BRUNEAU-QUEYREIX](#), [Mathias LACAUD](#), [Daniel NÉGRU](#), Jordi Mongay BATALLA, and Eugen BORCOCI. “QOE enhancement through cost-effective adaptation decision process for multiple-server streaming over HTTP.” In: *2017 IEEE International Conference on Multimedia and Expo, ICME 2017, Hong Kong, China, July 10-14, 2017*. IEEE Computer Society, 2017, pp. 1–6. DOI: 10.1109/ICME.2017.8019378.
- [9] [Joachim BRUNEAU-QUEYREIX](#), [Mathias LACAUD](#), [Daniel NÉGRU](#), Jordi Mongay BATALLA, and Eugen BORCOCI. “Adding a New Dimension to HTTP Adaptive Streaming Through Multiple-Source Capabilities.” In: *IEEE Multim.* 25.3 (2018), pp. 65–78. DOI: 10.1109/MMUL.2018.112142627.
- [10] [Joachim BRUNEAU-QUEYREIX](#), [Daniel NÉGRU](#), Jordi Mongay BATALLA, and Eugen BORCOCI. “Multiple description-DASH: Pragmatic video streaming maximizing end-users’ quality of experience.” In: *2016 IEEE International Conference on Communications, ICC 2016, Kuala Lumpur, Malaysia, May 22-27, 2016*. IEEE, 2016, pp. 1–7. DOI: 10.1109/ICC.2016.7511205.
- [11] [Hanyang CAO](#), Jean-Rémy FALLERI, [Xavier BLANC](#), and Li ZHANG. “JSON Patch for Turning a Pull REST API into a Push.” In: *Service-Oriented Computing - 14th International Conference, ICSOC 2016, Banff, AB, Canada, October 10-13, 2016, Proceedings*. Ed. by Quan Z. SHENG, Eleni STROULIA, Samir TATA, and Sami BHIRI. Vol. 9936. Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2016, pp. 435–449. DOI: 10.1007/978-3-319-46295-0\_27.

- [12] [Alan CHARPENTIER](#), [Jean-Rémy FALLERI](#), David Lo, and [Laurent RÉVEILLÈRE](#). “An empirical assessment of Bellon’s clone benchmark.” In: *Proceedings of the 19th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering, EASE 2015, Nanjing, China, April 27-29, 2015*. Ed. by Jian Lv, He Jason ZHANG, and Muhammad Ali BABAR. ACM, 2015, 20:1–20:10. DOI: 10.1145/2745802.2745821.
- [13] [Alan CHARPENTIER](#), [Jean-Rémy FALLERI](#), and [Laurent RÉVEILLÈRE](#). “Automated Extraction of Mixins in Cascading Style Sheets.” In: *2016 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution, ICSME 2016, Raleigh, NC, USA, October 2-7, 2016*. IEEE Computer Society, 2016, pp. 56–66. DOI: 10.1109/ICSME.2016.15.
- [14] [Stephan CONTIU](#), Rafael PIRES, Sébastien VAUCHER, Marcelo PASIN, Pascal FELBER, and [Laurent RÉVEILLÈRE](#). “IBBE-SGX: Cryptographic Group Access Control Using Trusted Execution Environments.” In: *48th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks, DSN 2018, Luxembourg City, Luxembourg, June 25-28, 2018*. IEEE Computer Society, 2018, pp. 207–218. DOI: 10.1109/DSN.2018.00032.
- [15] [Stephan CONTIU](#), Sébastien VAUCHER, Rafael PIRES, Marcelo PASIN, Pascal FELBER, and [Laurent RÉVEILLÈRE](#). “Anonymous and confidential file sharing over untrusted clouds.” In: *Symposium on Reliable Distributed Systems (SRDS)*. IEEE Computer Society, 2019.
- [16] [Simon DA Silva](#), [Joachim BRUNEAU-QUEYREIX](#), [Mathias LACAUD](#), [Daniel NÉGRU](#), and [Laurent RÉVEILLÈRE](#). “MUSLIN demo: high QoE fair multi-source live streaming.” In: *Proceedings of the 9th ACM Multimedia Systems Conference, MMSys 2018, Amsterdam, The Netherlands, June 12-15, 2018*. Ed. by Pablo CÉSAR, Michael ZINK, and Niall MURRAY. ACM, 2018, pp. 529–532. DOI: 10.1145/3204949.3208108.
- [17] [Simon DA Silva](#), Sonia Ben MOKHTAR, [Stephan CONTIU](#), [Daniel NÉGRU](#), [Laurent RÉVEILLÈRE](#), and Etienne RIVIÈRE. “PrivaTube: Privacy-Preserving Edge-Assisted Video Streaming.” In: *Proceedings of the 20th International Middleware Conference, Middleware 2019, Davis, CA, USA, December 9-13, 2019*. ACM, 2019, pp. 189–201. DOI: 10.1145/3361525.3361546.
- [18] Oualid DEMIGHA, Walid-Khaled HIDOUCI, and [Toufik AHMED](#). “Energy-efficient data collection under precision constraints in wireless sensor networks.” In: *IJSNet 23.1 (2017)*, pp. 11–28. DOI: 10.1504/IJSNET.2017.10001474.
- [19] Future Internet DESIGNC. *Future Internet Design National Science Foundation*. 2009. URL: <http://www.nets-find.net/> (visited on 09/09/2020).
- [20] Europes digital FUTURE. *EU-funded projects on Future Internet Research & Experimentation*. 2014. URL: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/programme-and-projects/project-factsheets-future-internet-research-experimentation> (visited on 09/09/2020).
- [21] [Ema FALOMIR](#), [Serge CHAUMETTE](#), and Gilles GUERRINI. “A Mobility Model Based on Improved Artificial Potential Fields for Swarms of UAVs.” In: *2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, IROS 2018, Madrid, Spain, October 1-5, 2018*. IEEE, 2018, pp. 8499–8504. DOI: 10.1109/IROS.2018.8593738.
- [22] [Nicolas HERBAUT](#) and [Daniel NÉGRU](#). “A Model for Collaborative Blockchain-Based Video Delivery Relying on Advanced Network Services Chains.” In: *IEEE Communications Magazine* 55.9 (2017), pp. 70–76. DOI: 10.1109/MCOM.2017.1700117.

- [23] [Nicolas HERBAUT](#), [Daniel NÉGRU](#), Yiping CHEN, Pantelis A. FRANGOUDIS, and Adlen KSENTINI. “Content Delivery Networks as a Virtual Network Function: A Win-Win ISP-CDN Collaboration.” In: *2016 IEEE Global Communications Conference, GLOBECOM 2016, Washington, DC, USA, December 4-8, 2016*. IEEE, 2016, pp. 1–6. DOI: [10.1109/GLOCOM.2016.7841689](#).
- [24] Riad KOUAH, [Abdelhamid ALLEG](#), A. LARABA, and [Toufik AHMED](#). “Energy-Aware Placement for IoT-Service Function Chain.” In: *2018 IEEE 23rd International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD) (2018)*, pp. 1–7.
- [25] [Mohamed Lamine LAMALI](#), Simon LASSOURREUILLE, Stephan KUNNE, and Johanne COHEN. “A stack-vector routing protocol for automatic tunneling.” In: *2019 IEEE Conference on Computer Communications, INFOCOM 2019, Paris, France, April 29 - May 2, 2019*. IEEE, 2019, pp. 1675–1683. DOI: [10.1109/INFOCOM.2019.8737536](#).
- [26] [Julien LEVEAU](#), [Xavier BLANC](#), [Laurent RÉVEILLÈRE](#), [Jean-Rémy FALLERI](#), and Romain ROUVROY. “Fostering the Diversity of Exploratory Testing in Web Applications.” In: *ICST 2020 - IEEE International Conference on Software Testing, Verification and Validation*. Ed. by Corina PASAREANU and Andreas ZELLER. Porto, Portugal, Mar. 2020. URL: <https://hal.inria.fr/hal-02398969>.
- [27] Rick McGEER, Mark BERMAN, Chip ELLIOTT, and Robert RICCI, eds. *The GENI Book*. Cham: Springer International Publishing, 2016. ISBN: 978-3-319-33767-8. DOI: [10.1007/978-3-319-33769-2](#).
- [28] [Léo MENDIBOURE](#), Mohamed Aymen CHALOUF, and [Francine KRIEF](#). “A SDN-Based Pub/Sub Middleware for Geographic Content Dissemination in Internet of Vehicles.” In: *90th IEEE Vehicular Technology Conference, VTC Fall 2019, Honolulu, HI, USA, September 22-25, 2019*. IEEE, 2019, pp. 1–6. DOI: [10.1109/VTCFall.2019.8891151](#).
- [29] [Mohamed Ameziane OUMAZIZ](#), [Jean-Rémy FALLERI](#), [Xavier BLANC](#), Tegawendé F. BISSYANDÉ, and Jacques KLEIN. “Handling Duplicates in Dockerfiles Families: Learning from Experts.” In: *2019 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution, ICSME 2019, Cleveland, OH, USA, September 29 - October 4, 2019*. IEEE, 2019, pp. 524–535. DOI: [10.1109/ICSME.2019.00086](#).
- [30] Roberto RIGGIO, Abbas BRADAI, Davit HARUTYUNYAN, Tinku RASHEED, and [Toufik AHMED](#). “Scheduling Wireless Virtual Networks Functions.” In: *IEEE Trans. Network and Service Management* 13.2 (2016), pp. 240–252. DOI: [10.1109/TNSM.2016.2549563](#).
- [31] [Martin ROSALIE](#), Grégoire DANOY, [Serge CHAUMETTE](#), and Pascal BOUVRY. “From Random Process to Chaotic Behavior in Swarms of UAVs.” In: *Proceedings of the 6th ACM Symposium on Development and Analysis of Intelligent Vehicular Networks and Applications, DIVANet 2016, Malta, November 13-17, 2016*. Ed. by Robson Eduardo de GRANDE, Mirela Sechi Moretti Annoni NOTARE, and Amir DAREHSHOORZADEH. ACM, 2016, pp. 9–15. URL: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2989281>.
- [32] [Martin ROSALIE](#), Grégoire DANOY, [Serge CHAUMETTE](#), and Pascal BOUVRY. “Chaos-enhanced mobility models for multilevel swarms of UAVs.” In: *Swarm Evol. Comput.* 41 (2018), pp. 36–48. DOI: [10.1016/j.swevo.2018.01.002](#).
- [33] Kendric RUIZ, Stephane VICTOR, Pierre MELCHIOR, and [Serge CHAUMETTE](#). “A new dynamical repulsive fractional potential for UAV in 3D dynamical environment.” In: *21st IFAC World Congress (IFAC WC 2020)*. Berlin, Germany, July 2020. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02527087>.

## 2 Projet

### 2.1 Analyse SWOT

La force principale de l'équipe Progress est d'être à la fois fortement ancrée dans son écosystème recherche et de disposer de relations étroites avec l'environnement industriel évoluant dans les domaines de recherche traités. Cela permet à l'équipe d'entretenir de fortes collaborations avec des partenaires académique et industriels, collaborations qui sont devenues nécessaires pour effectuer une recherche de qualité.

La faiblesse principale de l'équipe réside dans sa taille et dans les différentes charges portées par ses membres. L'équipe, telle qu'elle est dimensionnée aujourd'hui, peine à pouvoir traiter les problématiques de recherche qu'elle souhaiterait adresser. Cette faiblesse se voit aussi sur le taux d'encadrement de ses membres (presque à saturation).

L'équipe est plus que moteur pour initier de nouvelles collaborations avec d'autres équipes de recherche (notamment sur les thèmes de la sécurité et de la performance des systèmes informatiques). La création de laboratoire communs que cela soit avec des industriels ou d'autres équipes pourrait offrir à l'équipe de nouvelles perspectives tout en garantissant une certaine stabilité.

Pour autant, le risque majeur qui pèse sur l'équipe vient du mode de financement de ses activités de recherche qui est essentiellement basé sur des appels à projets. L'équipe dépose de nombreux projets et leur réalisation serait plus que difficile s'ils venaient à être tous acceptés. A l'inverse, si peu de projets étaient acceptés, l'équipe manquerait alors cruellement de moyens.

### 2.2 Structuration, effectifs et orientations scientifiques

Le projet scientifique porté par l'équipe Progress fait fortement levier sur l'expertise acquise ces dernières années dans le développement et la mise en oeuvre de systèmes logiciels composés de plusieurs entités qui peuvent être autonomes et qui évoluent dans des environnements complexes. L'équipe souhaite plus particulièrement développer les thématiques de recherche suivantes :

- réseaux virtuels et réseaux de nouvelle génération,
- systèmes autonomes communicants et résilients,
- sécurité, respect de la vie privée et cyber résilience,
- maîtrise de l'évolution logicielle.

**Réseaux virtuels et réseaux de nouvelle génération :** l'évolution et la convergence des réseaux informatique, fixe ou mobile, vers des environnements virtuels hétérogènes soulèvent plusieurs défis liés au déploiement, la gestion et au contrôle des services réseaux. Les travaux envisagés dans cette thématique ont pour but d'optimiser les critères de QoS, la fiabilité, la configuration, le routage, les performances, la résilience et la sécurité des services réseaux. Les approches envisagées concernent l'utilisation de blockchains à accès restreint pour la distribution de certificats basés sur des noms d'entités plutôt que des adresses réseau, l'analyse du trafic réseau chiffré ou la mise en place automatique de tunnels. Nous souhaitons également aborder la problématique de la diffusion vidéo intelligente qui vise à combiner la 5G et l'intelligence artificielle pour offrir la meilleure qualité possible au moindre coût tout en réduisant l'impact provoqué, notamment écologique et sociétal. La nature des verrous à lever nécessitera de renforcer les collaborations existantes avec les autres équipes du laboratoire qui dispose de compétences complémentaires notamment dans le domaine de la combinatoire, de l'algorithmique distribuée et de l'analyse de complexité.

**Systèmes autonomes communicants et résilients :** Les systèmes de transport intelligents coopératifs s'appuient fortement sur l'utilisation des moyens de communication sans fil. Nous visons à travers cette thématique l'optimisation de la connectivité véhiculaire pour supporter des nouveaux services en particulier celui de la voiture autonome et connectée. Les approches envisagées concernent l'hybridation réseaux (DSRC / G5 ITS, LTE-V2X, 5G), le découpage en « slice » du réseau pour garantir des performances stables et isolées par type de service ou encore l'optimisation du traitement des données dans les extrémités du réseaux (approches MEC - Multi Access Edge Computing, offloading ...). Nous souhaitons également aborder dans cette thématique la problématique des essaims de drones évoluant dans des milieux différents (air, sol, surface, fonds marins). La combinaison des différents milieux impacte la complexité du système global résultant : chaque milieu est source de limitations en termes de mobilité et de capacité de communication (e.g. la communication fond-marins vers aérien est sporadique et n'offre qu'une très faible bande passante).

**Sécurité, respect de la vie privée et cyber résilience :** Les systèmes informatiques, quelque soit leur taille, doivent de plus en plus prendre en compte les aspects liés à la sécurité, la cyber résilience ainsi que le respect de la vie privée de leur utilisateurs. Toutefois, de nombreux défis doivent être levés pour atteindre ces objectifs, notamment à cause de la complexité croissante des systèmes informatiques. Nous ciblons dans ce projet toutes les couches des systèmes informatiques, des couches basses (réseau et sécurité des communications) aux couches hautes (code source, tests) en passant par les couches intermédiaires (systèmes répartis, systèmes autonomes). Nous souhaitons notamment aborder la double problématique de la résilience et de la performance des systèmes distribués lors de leur passage à l'échelle. Actuellement les protocoles de consensus résilients aux fautes qui sont utilisés dans les technologies des blockchains et des registres distribués ne permettent pas de conserver les bonnes performances observées en environnement à taille réduite. En ce sens, nous voulons étudier ces protocoles de consensus et de réplication de machines à états pour garantir des propriétés de résilience ainsi que des performances élevées nécessaires pour les applications blockchains à venir. Nous souhaitons également mettre à profit les environnements d'exécution sécurisé de plus en plus présents dans les architectures matérielles modernes, des objets connectés aux serveurs de calculs, pour accroître la sécurité et le respect de la vie privée des systèmes informatiques sans compromettre leur performance, notamment lors qu'ils utilisent des ressources partagées dans le nuage.

**Maîtrise de l'évolution logicielle :** Les systèmes logiciels sont condamnés à évoluer en permanence pour continuer à rendre service à leurs utilisateurs. Malgré tout, la modification d'un système logiciel est une opération à haut risque, souvent source de stress pour les développeurs car elle peut introduire un bug critique ou induire d'énormes problèmes de performance. En outre, les systèmes logiciels dépendent souvent d'autres systèmes logiciels et subissent donc les modifications de ces systèmes externes. Maîtriser l'évolution d'un système logiciel et de ses dépendances est donc extrêmement compliqué pour un développeur. Dans notre projet de recherche nous souhaitons assister le développeur dans cette tâche dantesque. Nous envisageons plusieurs questions de recherche. Comment caractériser automatiquement le changement de comportement d'un système logiciel ? Peut-on évaluer automatiquement si les tests existants ont la capacité de couvrir de manière adéquate les comportements modifiés ? Si ce n'est pas le cas, peut-on automatiquement proposer de nouveaux tests ? Peut-on simplifier automatiquement le logiciel pour qu'il soit plus facile de maîtriser son évolution ? Peut-on savoir automatiquement si la modification de comportement d'une des dépendances a des chances d'affecter le système, et comment modifier le système en conséquence ?

**Visibilité au sein du futur département.** Des synergies peuvent s'établir avec l'équipe BKB autour de la thématique de la maîtrise de l'évolution logicielle et plus spécifiquement la visualisation du comportement et de ses modifications.



**Visibilité dans le LaBRI au-delà du futur département.** Le domaine de la robotique constitue aujourd'hui un continuum qui va des machines jusqu'au traitement des données en passant par l'intelligence embarquée, l'automatique, l'algorithmique distribuée, l'imagerie, l'intelligence artificielle, la cyber sécurité, etc. Il nous a donc semblé pertinent de rapprocher et de favoriser les collaborations autour d'un axe transverses à plusieurs équipes couvrant différents départements du laboratoire. Nous l'appelons ASPIC (Autonomous Systems, Perception, Interaction, Control). Un travail a été amorcé autour des axes de perception et interaction (équipe Image et Son), robotique humanoïde (équipe Méthodes formelles) et drones et essaims de drones (équipe Progress). Ceci s'est déjà traduit par la mise en place d'un groupe de travail commun, de projets transverses et de collaborations industrielles (Thales par exemple). À noter qu'un parcours de Master (dirigé par S. Chaumette de l'équipe Progress) portant lui aussi le nom ASPIC (Autonomous Systems, Perception, Interaction, Control) existe maintenant depuis trois ans. Dans la suite nous entendons poursuivre la structuration de cet axe en favorisant les échanges et les projets communs.

La notion de confiance devient primordiale en informatique. Difficilement mesurable elle exprime le ressenti qu'à un utilisateur sur un système informatique au regard de sa fiabilité, sa sécurité, son impartialité, sa protection des données à caractère personnel, sa cyber résilience, etc. Les recherches réalisées dans le domaine de l'informatique de confiance au LaBRI sont la croisée de plusieurs thématiques phares (preuve de programme, architecture et système, génie logiciel, sécurité et cyber-sécurité, etc.). Elle sont notamment portées par les équipes Méthodes Formelles et Progress qui ont initiés plusieurs collaborations dont une qui traite de la preuve des algorithmes de Parcoursup et l'impact de la preuve de programme sur la confiance des utilisateurs. À noter qu'une chaire industrielle " Cyber résilience des infrastructures numériques " sera opérationnelle à compter du premier semestre 2021. Dans la suite nous entendons poursuivre la structuration de cet axe en favorisant les échanges et les projets communs.





# Supports et AlgoriThmes pour les Applications Numériques hAutes performances

## 1 Bilan

### 1.1 Présentation de l'équipe

#### 1.1.1 Introduction

L'équipe SATANAS mène des recherches autour du calcul hautes performances avec une expertise autour des méthodes numériques, les algorithmes parallèles, les techniques de partitionnement et la conception de systèmes d'exécution. Depuis la dernière évaluation HCERES, l'équipe regroupe des chercheurs appartenant à trois thèmes du LaBRI qui correspondent en fait à des Equipes Projet Communes (EPC) avec Inria :

- RUNTIME (Efficient runtime systems for parallel architectures) qui regroupe les 2 EPCs Inria STORM (STatic Optimizations, Runtime Methods) et TADAAM (Topology-aware system-scale data management for high-performance computing),
- HIEPACS (High-End Parallel Algorithms for Challenging Numerical Simulations) qui correspond à l'EPC Inria du même nom,
- PHOENIX (A Multi-Disciplinary Approach to Orchestrating Networked Entities) qui correspond à l'EPC Inria du même nom.

Avec l'intégration du thème PHOENIX lors de la dernière évaluation, le champ d'action de l'équipe SATANAS s'était étendu à la conception de principes, de langages spécifiques à un domaine et de techniques logicielles pour l'orchestration d'entités en réseau. Suite à l'arrêt du projet Inria correspondant en 2018, cette activité ne fera pas partie du projet d'intégration de l'équipe SATANAS dans la nouvelle organisation du LaBRI.

### 1.1.2 Effectifs et moyens

Tableau 6.1 : Chercheurs et E/C de l'équipe Supports et AlgoriThmes pour les Applications Numériques hAutes performanceS

	2015	2016	2017	2018	2019	2020
MCF	8	8	8	8	8	9
CR	5	6	7	8	8	7
PR	5	5	5	5	5	4
DR	3	4	4	4	4	5
Post-doctorant(e)s	3	1	3	1	2	3
Doctorant(e)s	28	23	18	18	17	23
Autres, dont émérites	2	2	1	1	1	1

L'équipe Supports et AlgoriThmes pour les Applications Numériques hAutes performanceS a actuellement 4 MCF ou CR habilités.

Le tableau suivant donne les contrats de l'équipe (il est rappelé dans l'annexe 4).

Tableau 6.2 : Contrats de l'équipe Supports et AlgoriThmes pour les Applications Numériques hAutes performanceS, en k€

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total
International, dont Europe	494	110	50	521	100	0	1275
National	1241	50	282	313	448	0	2334
Régional	572	61	0	720	0	0	1353
Industrie	425	523	196	58	463	0	1665
Autres	32	86	32	0	0	0	150

Montant total des contrats pour l'équipe Supports et AlgoriThmes pour les Applications Numériques hAutes performanceS : **6777 k€**.

### 1.1.3 Politique scientifique

La politique scientifique de l'équipe SATANAS s'articule autour du calcul hautes performances et couvre cette thématique en s'appuyant sur les compétences complémentaires des 3 EPCs : les solveurs et les applications pour HIEPACS, l'optimisation et les supports d'exécution pour STORM et la gestion de ressources et l'exploitation des super-calculateurs pour TADAAM. Cet environnement assez unique, la proximité thématique et la cohérence de ces travaux de recherche font qu'il est possible de poursuivre des projets de manière commune. Au-delà de ce premier cercle, l'équipe SATANAS bénéficie de la présence, sur le site bordelais, de l'équipe BKB qui s'intéresse également à la gestion de données massives, et des équipes de mathématique appliquée qui ont des besoins spécifiques en parallélisme et en calcul scientifique.

Sur la période 2015-2020 l'équipe SATANAS a recruté 2 CRCN Inria et une maitre de conférences. Un DR Inria et un CRCN Inria sont venus dans l'équipe depuis l'équipe CombAlgo. Un CRCN a été promu DR et un CRCN

Inria a muté depuis Sophia à Bordeaux dans SATANAS. Un ISFP (Inria Starting Faculting Position) a été recruté pour janvier 2021.

L'équipe a également renforcé son taux d'encadrement avec 5 nouvelles habilitations à diriger des recherches soutenues sur la période.

En suivant les recommandations de la dernière évaluation HCERES, l'équipe a amorcé un rapprochement avec l'équipe BKB du LaBRI via un séminaire commun "HPC/Big data" et le recrutement commun d'une maître de conférences sur ces thématiques.

## **1.2 Présentation de l'écosystème recherche de l'équipe**

L'équipe SATANAS a mis en place un consortium avec des partenaires industriels afin de sécuriser les futurs développements du logiciel STARPU (Airbus, ArianeGroup). Elle développe également une pile logicielle complète pour l'algèbre linéaire dense et creuse à destination de la recherche académique et industrielle en particulier Airbus, Bull, CEA, IFPEN, SAFRAN. Nous avons également renforcé nos collaborations académiques internationales à travers le dispositif des équipes associées de l'Inria, en particulier avec les organisations gouvernementales américaines telles qu'Argonne National Lab, Lawrence Berkeley National lab. et les universités telles que celles de Berkeley, de Stanford, du Colorado à Denver ou du Tennessee. De plus, nous avons également développé nos collaborations au niveau européen (projets H2020, Exa2pro, Intertwine, EoCoE-2, PRACE-6IP, EXDCI2, NESUS COST Action, ITEA COLOC Project, EOSC-Pillar) et au niveau industriel en renforçant les transferts technologiques à destination des entreprises Airbus, ArianeGroup, ATOS, CEA, EDF, IFPEN, Total et Ubisoft. Dans le cadre de l'ouverture vers les applications d'apprentissage, nous avons également tissé des liens étroits avec des équipes spécialistes (TAO à Saclay, ZENITH à Montpellier, SEQUEL à Lille) dans le cadre du DEFI Inria HPC et Big Data piloté par Bruno Raffin et nous avons monté une équipe associée Inria avec Skoltech (Russie, Ivan Oseledets). D'autre part, dans le cadre du Joint-Lab for Exascale Computing (JLESC), qui est une structure regroupant des organisations travaillant sur le HPC nous avons des collaborations récurrentes avec Argonne National Lab (USA), le Riken (Japon), BSC (Espagne) et Jülich (Allemagne).

## **1.3 Produits et activités de la recherche**

### **1.3.1 Bilan scientifique**

Au cours des dernières décennies, d'innombrables percées scientifiques, techniques et sociétales ont été rendues possibles par le développement des applications, des algorithmes et des architectures de calcul haute performance (HPC). Ces puissants outils ont permis aux chercheurs de trouver des solutions informatiques efficaces à certaines des questions et des problèmes scientifiques les plus difficiles en médecine et en biologie, en climatologie, en nanotechnologie, en énergie et en environnement. Il est admis aujourd'hui que la simulation numérique est le troisième pilier du développement de la découverte scientifique au même titre que la théorie et l'expérimentation. De nombreux rapports et articles ont également confirmé que la simulation à très haute performance ouvrira de nouvelles possibilités non seulement pour la recherche mais aussi pour un large éventail de secteurs industriels.

**HIEPACS** Dans ce contexte, l'objectif de l'équipe HIEPACS est de contribuer à la réalisation efficace de simulations frontières issues de recherches universitaires et industrielles difficiles. La résolution de ces problèmes exige une approche multidisciplinaire impliquant les mathématiques appliquées, le calcul scientifique et l'informatique. En

mathématiques appliquées, il s'agit essentiellement de schémas numériques avancés. Dans les sciences informatiques, il s'agit du calcul massivement parallèle, de la conception d'algorithmes et de codes hautement scalables pour des plateformes hiérarchiques émergentes multi-cœurs, éventuellement hétérogènes. Par cette approche, HIEPACS entend contribuer à toutes les étapes allant de la conception de nouveaux schémas numériques à haute performance, plus scalables, plus robustes et plus précis, à la mise en œuvre optimisée des algorithmes et codes associés sur des super-ordinateurs à très haute performance. Ces recherches sont menées en étroite collaboration avec des initiatives européennes et américaines, en particulier dans le cadre de projets de collaboration européens H2020 et Euro-HPC.

La partie méthodologique de HIEPACS couvre plusieurs sujets. Tout d'abord, nous abordons des études d'approches algorithmiques et méthodologiques génériques concernant le calcul intensif et massivement parallèle. Plusieurs perspectives de recherche sur les techniques d'algèbre linéaire parallèle scalable sont abordées essentiellement pour la résolution de grands systèmes linéaires. Nos recherches couvrent des approches directes pour des matrices denses et creuses, des schémas itératifs et des hybrides mélangeant des techniques directes et itératives. Nous travaillons également sur les calculs d'interaction à N corps basés sur des méthodes multipolaires rapides parallèles ainsi que sur des techniques d'ordonnancement sous contrainte mémoire notamment pour des techniques d'apprentissage usuellement mises en œuvre sur des GPUs. Enfin, nous menons des recherches liées aux défis algorithmiques pour les couplages de codes complexes dans les simulations multiphysiques. Ces activités de recherche sont adossées à un développement logiciel conséquent dont l'objectif est de valider en vraie grandeur la pertinence de nos travaux dans des contextes variés académiques et industriels. Le bénéfice de ce travail logiciel est de disposer d'un certain nombre d'outils logiciels disponibles librement pour la communauté scientifique.

**STORM** L'objectif de l'équipe STORM est de contribuer à faciliter l'accès et l'utilisation de machines parallèles hétérogènes aux non-experts. Cela consiste d'une part de faciliter l'expression du parallélisme, des variations possibles du parallélisme d'une application, afin de capturer l'essence des algorithmes qui doivent être mis en œuvre. En particulier, l'expression du parallélisme peut se faire au travers de standards, comme OpenMP, MPI, OpenCL ou Cuda mais également l'équipe s'intéresse au développement de langages spécifiques à une application (Domain Specific Language). Cela correspond également à fournir des méthodes et outils d'aide à la correction du parallélisme. D'autre part, nous nous focalisons sur les méthodes statiques et dynamiques pour une mise en œuvre efficace de ces codes parallèles sur des architectures hétérogènes notamment, par des optimisations statiques et dynamiques, des ordonnancements des graphes de tâches et une gestion fine des ressources de la machine.

La partie méthodologique de STORM correspond aux aspects couverts par les problématiques de parallélisme : nous étudions l'expression du parallélisme, l'évolution des langages parallèles, et les méthodes permettant de transformer ce parallélisme en code efficace sur des machines parallèles et hétérogènes. Cela comprend des méthodes d'optimisation à la compilation, pour l'utilisation mémoire, pour l'optimisation du parallélisme, la vérification de la correction de ce parallélisme. Les méthodes statiques liées au parallélisme et leur optimisation sont des méthodes d'analyse sémantique, de graphes, d'automates, mais aussi de modélisation algébrique des propriétés extraites. Pour les aspects dynamiques d'optimisation, d'ordonnancement, cela comprend également des approches heuristiques de l'ordonnancement sous contraintes de ressources.

Ces méthodes sont ensuite évaluées, mises en œuvre et valorisées au travers d'implémentations. StarPU est l'un des outils phare de l'équipe, correspondant pour nous à une plateforme sur laquelle nous pouvons évaluer nos contributions méthodologiques et offrant de nombreuses fonctions d'ordonnancement avancées pour des graphes de tâches machines hétérogènes. Cette plateforme open-source constitue également une surface d'échange avec des partenariats industriels (Airbus, ArianeGroup notamment) ou académiques. Plus récemment, la plateforme AFF3CT pour la modélisation de la radio logicielle, avec notamment les encodeurs/décodeurs de codes correcteurs

d'erreur, illustre également les efforts réalisés pluridisciplinaires pour la mise au point de DSL permettant de hautes performances.

**TADAAM** L'équipe TADAAM s'intéresse au comportement des couches basses de la pile logicielle HPC : gestion du matériel (mémoire, cœurs, caches), communication et stockage. L'approche de l'équipe TADAAM est orientée *donnée*, c'est-à-dire que les problèmes étudiés visent à ce que les données utilisées par les applications soient au bon endroit au bon moment afin d'éviter que celles-ci ne soient bloquées dans leur calcul.

Pour résoudre ces problèmes, l'équipe TADAAM conçoit un ensemble de couches de service à l'échelle du système. Ces couches ont un état : elles gardent en mémoire l'état des applications et les accès aux autres briques de la pile logicielle. Ces couches ont deux parties. Premièrement, elles permettent d'abstraire les caractéristiques bas niveau du système (e.g. topologie réseau, utilisation des ressources) et de la pile logicielle (e.g. thread, données, support d'exécution). Deuxièmement, les applications peuvent enregistrer leurs besoins et leurs comportements via une API adéquate. Avec ces deux informations, les couches optimisent l'exécution de toutes les applications à l'échelle de tout le système et de manière coordonnée. Des exemples de telles couches sont : des systèmes pour ordonnancer les entrées-sorties vers le stockage, des mécanismes pour arbitrer l'accès aux ressources des différentes briques de la pile logicielle, une bibliothèque pour gérer de manière abstraite la topologie dans MPI, des algorithmes de gestion de ressources pour les applications stochastiques, ou encore pour optimiser les communications dans les supports d'exécution à base de tâches.

Pour réaliser ces différentes solutions, l'équipe TADAAM travaille selon trois axes de recherches :

- Modélisation des systèmes de calcul haute performance et des applications dans le but de comprendre l'interaction entre les machines et les applications qui s'y exécutent.
- Fournir des services aux applications pour optimiser leur exécution à l'aide d'algorithmes passant à l'échelle.
- Exposer ces services aux applications à travers une API bien définie dans une couche hiérarchique gérant le taux élevé des événements à l'échelle du système.

**PHOENIX** L'équipe PHOENIX était une équipe transdisciplinaire composée de chercheurs en Psychologie, Sciences Cognitives et en Informatique. Elle comprenait deux chercheurs Inria en Informatique, un professeur d'informatique de Bordeaux INP et deux professeurs en psychologie cognitive de l'Université de Bordeaux. Outre des post-doctorants en ergonomie et en psychologie, elle a accueilli des doctorants en informatique et en psychologie, et ingénieurs de développement.

La thématique principale concerne la conception, le développement et la validation d'outils d'assistances numériques visant à améliorer la qualité de vie, l'autonomie et l'inclusion sociale de personnes en situation de handicap. Les publics visés sont variés et les travaux actuels portent sur les personnes avec autisme, avec déficience intellectuelle ou encore les personnes âgées. Les applications développées concernent l'ensemble des milieux ordinaires tels que la vie domiciliaire ou encore l'inclusion scolaire. La pluridisciplinarité permet de mettre œuvre des méthodologies centrées utilisateurs (prenant en compte les besoins des utilisateurs et des aidants familiaux et professionnels tout au long du cycle de conception). Les applications sont ensuite déployées et validées à travers des méthodologies d'évaluation à la fois des nouveaux usages liées au numérique et des répercussions sur la santé et le bien être des utilisateurs.

Les principales contributions de PHOENIX en informatique sont :

- Une approche outillée pour le développement d'applications pervasives (DiaSpec, DiaSuite).
- Une approche outillée pour l'orchestration de masses de capteurs (DiaSwarm).



- Une plateforme d'assistance à la personne (HomeAssist).
- Un ensemble d'outils pour l'inclusion scolaire d'élèves avec Autisme (School+).
- Conception, développement et évaluation d'un langage dédié à la détection de contextes en environnements pervasifs (Allen).

Les principales contributions de PHOENIX en psychologie sont :

- Une étude clinique d'évaluation de la plateforme HomeAssist dans 140 logements de personnes âgées : Résultat positif sur l'efficacité pour le maintien de l'autonomie et la réduction du fardeau de l'aidant et l'ergonomie du système.
- Une étude clinique d'évaluation des outils School+ incluant 50 élèves : Résultat positif sur l'efficacité dans le soutien à l'inclusion scolaire et l'ergonomie du système.

### 1.3.2 Faits marquants

Le bilan scientifique sur la période de l'évaluation est fortement positif :

- L'équipe publie dans des journaux et des conférences de premier plan.
- L'équipe participe à de nombreux projets collaboratifs régionaux, nationaux et internationaux.
- Des collaborations de recherche récurrentes avec des partenaires industriels comme Airbus, ArianeGroup, ou le CEA ont été consolidées/établies au cours de ces 5 dernières années, mettant en valeur notamment les réalisations logicielles des équipes.
- Plusieurs logiciels développés dans l'équipe sont reconnus internationalement, subventionnés par nos partenaires industriels, et jouent un rôle central dans la stratégie scientifique de l'équipe.
- Les membres de l'équipe sont fortement impliqués dans les comités éditoriaux et comités de programme du domaine.

Nous avons fait le choix de mettre en avant un projet commun dans lequel les 3 EPCs de l'équipe SATANAS sont impliquées et qui illustre parfaitement les synergies résultant de la complémentarité des activités de recherche et l'étroite collaboration des membres de l'équipe.

**Fait marquant** SOLHAR : un projet ANR fédérateur pour la calcul hautes performances.

Ces dernières années, l'intérêt de la communauté de calcul scientifique pour les accélérateurs matériels a crû rapidement. La raison de cet intérêt tient dans la puissance massive de calcul délivrée par ces appareils. Plusieurs bibliothèques logicielles d'algèbre linéaire dense visant les architectures à base d'accélérateurs ont ainsi été produites. Au contraire, les méthodes de résolution de systèmes linéaires creux, qui ont des schémas d'accès mémoire irréguliers et indirects, sont plus complexes à mettre en oeuvre lorsque les accélérateurs sont considérés.

Ce projet avait pour but d'étudier et de mettre au point des algorithmes et des modèles de programmation parallèles pour implanter des méthodes directes de résolution de systèmes linéaires creux sur les plate-formes émergentes équipées d'accélérateurs. L'approche proposée s'est articulée autour de trois axes de recherche :

- algèbre linéaire : les algorithmes ont du être adaptés dans le but de présenter des propriétés qui rendent leur implémentation et leur exécution efficaces et fiables sur des plate-formes hétérogènes. Ceci a nécessité le développement de nouvelles méthodes pour définir les schémas d'accès aux données adaptés aux architectures visées ainsi que des techniques pour garantir un comportement fiable et robuste fournissant des solutions précises. De plus, il a été nécessaire de mettre au point de nouvelles méthodes efficaces sur accélérateurs pour les tâches spécifiques d'algèbres linéaire dense utilisées dans le contexte des solveurs directs creux ;

- moteurs d'exécutions : les outils tels que le moteur d'exécution StarPU ont démontré leur grande efficacité et robustesse pour l'implantation d'algorithmes d'algèbre linéaire dense. Les algorithmes d'algèbre linéaire creuse, cependant, sont caractérisés par des schémas d'accès aux données compliqués, des tâches de calcul de granularité extrêmement variable et des dépendances complexes. Ainsi, un effort de recherche conséquent a été engagé pour mettre au point et implanter des fonctionnalités ainsi que des interfaces en adéquation avec les besoins formalisés par l'activité de recherche sur les méthodes directes ;
- ordonnancement : exécuter une charge de travail hétérogène avec des dépendances complexes sur une architecture tout aussi complexe et hétérogène est un défi extrêmement stimulant qui requiert le développement d'algorithmes d'ordonnancement novateurs. Les algorithmes, développés dans le cadre de ce projet, doivent composer avec une vision partielle du graphe de tâche et des objectifs parfois contradictoires tels que la minimisation du recouvrement, la maximisation de la localité spatiale, ou, lorsque cela s'applique, la minimisation de la consommation mémoire.

Étant donnée la large disponibilité des plate-formes de calculs équipées avec des accélérateurs et la robustesse numérique des méthodes directes de résolution de systèmes linéaires creux, les résultats de ce projet ont eu un impact considérable pour le calcul scientifique académique et industriel. Il fournit de plus une contribution conséquente à la communauté du calcul scientifique, puisqu'il constitue un exemple sans précédent de code numérique complexe dont la parallélisation repose entièrement sur l'utilisation d'un moteur d'exécution, étant ainsi extrêmement portable, maintenable et évolutif, permettant ainsi de mieux appréhender l'évolution vers les futures architectures de calcul.

Le fruit de ces travaux de recherche se concrétise par la disponibilité d'une pile logicielle reconnue et subventionnée par nos partenaires industriels.

**Fait marquant** Des membres de SATANAS participent au MPI Forum qui est l'instance de standardisation de MPI. Nous avons proposé en septembre 2017 un nouveau groupe de travail sur les topologies matérielles avec le soutien de Bull-Atos, du CEA, de Paratools, d'Intel et de Fujitsu. L'un des objectifs est notamment de faire adopter notre vision sur des abstractions permettant de gérer de manière portable les topologies matérielles (réseaux ou mémoire) et la localité. Nous avons pu intégrer nos propositions dans la nouvelle version du standard (MPI 4.0 en 2020).

**Fait marquant** Guillaume Pallez a obtenu le prix *IEEE TCHPC Early Career Researchers Award for Excellence in High Performance Computing* en 2019. C'est le seul français (et le deuxième Européen) à avoir reçu ce prix prestigieux. Ce prix met en avant chaque année trois jeunes chercheurs du domaine calcul haute-performance pour leur vision, ainsi que leur contributions remarquables. Il est remis lors de la conférence phare du domaine, Supercomputing. Pour Guillaume, ce sont ses travaux sur les Entrées-Sorties en HPC, en particulier autour des problématiques de différentiation automatique, ainsi que son récent projet autour des modélisations d'applications de neurosciences qui ont conduit le jury à lui attribuer ce prix. Notons également que Guillaume a été *Tech Program Vice Chair* à la conférence Supercomputing en 2017, ce qui constitue également un élément remarquable du fait de l'impact et de l'audience de cette conférence qui rassemble chaque année environ 10.000 participants.

**Fait marquant** L'expertise des membres de l'équipe déborde du strict cadre de la technique pour s'étendre aux enjeux juridiques et sociétaux de l'informatique. En janvier 2014, François Pellegrini avait été nommé membre du collège de la CNIL, pour un mandat de cinq ans, par le président du Sénat de l'époque. En janvier 2019, il a été reconduit par le nouveau président du Sénat, pour un deuxième et dernier mandat de cinq années. Seul informaticien au collège des commissaires de la CNIL, il contribue aux délibérations en apportant son expertise

dans le domaine de la science informatique et du droit du numérique. Il a en charge les domaines du commerce et de la publicité électroniques (notamment concernant les cookies et autres traceurs), la cyber-sécurité, les fichiers régalien européens et la coordination européenne. À ce dernier titre, il représente habituellement la France auprès du Comité européen de la protection des données, l'instance européenne qui fédère l'ensemble des autorités de protection des données de l'Union européenne. En tant que commissaire-rapporteur, il instruit des dossiers de sanctions administratives que la CNIL peut infliger à certains responsables de traitements ayant commis des manquements à la loi "Informatique et Libertés" et au RGPD.

## 1.4 Organisation et vie de l'équipe

### 1.4.1 Pilotage, animation, organisation de l'équipe

Les EPCs HIEPACS, STORM et TADAAM partagent des activités de recherche étroitement liées, nous avons donc de nombreux projets en commun et nous participons, en commun, à la réponse aux différents appels à projets. La moitié des publications de l'équipe sont communes à au moins 2 EPCs, les thèses sont majoritairement co-dirigées ou co-encadrées par des membres de 2 EPCs et les développements des principaux logiciels sont interdépendants. Ce qui se traduit par un travail collaboratif sur des méthodologies et technologies communes et par un partage des missions attribuées aux ingénieurs de recherche affectés dans les équipes. Chaque EPC organise un groupe de travail régulier auquel les membres des autres EPC sont conviés et participent très régulièrement suivant les thèmes abordés. Notons enfin qu'en tant qu'Equipes Projet Communes, nous rédigeons chaque année un rapport d'activité pour l'Inria. Les activités de recherche, les projets et les logiciels développés sont détaillés de manière très précise dans ces rapports disponibles en ligne (par exemple pour l'année 2019) :

- HIEPACS : <https://raweb.inria.fr/rapportsactivite/RA2019/hiepacs/uid0.html>
- STORM : <https://raweb.inria.fr/rapportsactivite/RA2019/storm/uid0.html>
- TADAAM : <https://raweb.inria.fr/rapportsactivite/RA2019/tadaam/uid0.html>

### 1.4.2 Parité ; Intégrité scientifique ; Hygiène et sécurité ; Développement durable et prise en compte des impacts environnementaux ; Propriété intellectuelle et intelligence économique

Sur la période considérée, pour les 3 recrutements sur des postes permanents, 2 ont été obtenus par des femmes. De plus, l'équipe a progressé en termes de parité pour les recrutements des personnels non-permanents (doctorants, post-doctorants, ingénieurs). Les doctorantes représentent 14% des doctorants de l'équipe sur la période.

En termes de science reproductible, une attention particulière a été portée pour pouvoir refaire les expériences, en fournissant par exemple des artefacts associés avec les publications qui l'autorisent. Pour les principaux logiciels de l'équipe, l'intégration continue, les tests de non-régression, la documentation utilisateur ont pour objectif de garder le logiciel maintenable, portable et pouvant être installé et utilisé simplement. Par ailleurs, pour nos logiciels ayant atteint une diffusion importante, en plus de l'intégration continue, l'historique des résultats et les performances sont stockés en base (Elasticsearch) et peuvent être comparés avec les outils concurrents de la communauté.

La reproductibilité apparaît aujourd'hui comme étant de plus en plus indispensable pour s'assurer qu'un calcul (une expérience numérique) produisant un résultat pourra être obtenu de manière identique par un autre utilisateur ou développeur quelques mois ou années plus tard. Avec GUIX et GUIX-HPC (développé à l'Inria Bordeaux) il est possible de produire/déployer un binaire identique - au bit près - sur deux machines distinctes, ainsi que dans le temps. C'est la solution qui a été retenue pour le déploiement des logiciels de la pile solveur, à la fois pour mettre au

point un algorithme ou un code sur un ordinateur personnel, pour le valider en intégration continue, pour faire des premiers tests dimensionnant, puis pour des études de passage à l'échelle sur des super-calculateur (à l'aide de conteneurs générés pour le déploiement). La force de ce workflow étant d'avoir le même binaire lors des quatre étapes tout en préservant une solution souple pour les phases de développement.

## 2 Projet

### 2.1 Analyse SWOT

#### Forces :

- Unité thématique et complémentarité des compétences des membres de l'équipe.
- Visibilité internationale des travaux de recherche, diffusion des résultats et implication dans communauté du HPC.
- Impact des transferts technologiques sur les grands acteurs du domaine du HPC.
- Le développement de logiciels de taille moyenne et ciblés s'est avéré être une bonne stratégie pour obtenir un retour d'information sur nos orientations futures.
- Participation aux comités de standardisation et aux études prospectives européennes.
- Collaborations industrielles avec des partenaires qui utilisent la simulation numérique dans leurs activités de R&D.
- Positions attractives de nos doctorants dans le secteur du HPC des R&D des grands groupes et carrières académiques.
- Renforcement significatif de notre taux d'encadrement.

#### Faiblesses :

- Nos travaux de recherche s'appuient sur des activités expérimentales importantes (nécessitant une forte main-d'œuvre en développement).
- La diffusion forte de certains logiciels développés dans l'équipe, engendre des coûts de maintenance importants mais qui doivent rester maîtrisés.
- Le manque d'étudiants en HPC mais cette tendance, observée ces dernières années, est en nette amélioration, en particulier depuis la refonte du master CISD.

#### Opportunités :

- Les thèmes de recherche actuels de l'équipe sont parfaitement en phase avec les orientations suivies par la communauté scientifique et avec les grands acteurs qui consacrent des efforts importants à la simulation numérique et au calcul haute performance.
- Exploiter l'expertise en ingénierie logicielle pour le développement de programmes performants.
- L'apprentissage est un gros consommateur de HPC et alimente de manière sensible les problématiques de notre domaine.
- Le positionnement de nos travaux de recherche se situe au bon niveau d'abstraction pour exploiter l'évolution des nouveaux matériels.

#### Menaces :

- Les normes évoluent trop lentement, ce qui limite l'adoption à grande échelle de nos recherches dans l'industrie.

- Le vieillissement de l'équipe et la progression de carrière très limitée dans la conjoncture actuelle.
- La dépendance aux plateformes d'expérimentation comme Plafrim (dont les modalités de gestion sont très différentes de celles proposées sur les supercalculateurs du GENCI).

## **2.2 Structuration, effectifs et orientations scientifiques**

### **2.2.1 Structuration et effectifs**

L'équipe SATANAS s'inscrit naturellement dans le nouveau découpage en départements du projet du LaBRI. Elle constituera un département à part entière avec une unité thématique forte et, afin de simplifier la lecture de ses activités, les 3 EPCs associées seront présentées comme des équipes au sein de ce département. Lors de la dernière campagne d'évaluation interne Inria, les EPCs STORM et TADAAM ont déjà redéfini leurs objectifs scientifiques à moyen terme et continuerons à les faire évoluer au fil du calendrier d'évaluation Inria. L'EPC HEPACS doit être évaluée l'année prochaine dans le calendrier du comité d'évaluation Inria et ses membres travaillent activement à la redéfinition des objectifs scientifiques et à sa restructuration. Les réflexions n'ont cependant pas encore convergé même si de nouveaux axes de recherche seront certainement mis en avant, en adéquation avec les orientations scientifiques présentées ci-dessous.

En termes de recrutement à courte échéance nous soutenons sans aucune réserve et avec un grand enthousiasme la candidature de Laércio Lima Pilla dans l'équipe SATANAS en mutation comme CR CNRS. Son projet de recherche et d'intégration porte sur l'ordonnancement et sur les problématiques liées à la scalabilité, l'hétérogénéité et la localité. C'est un projet d'une importance capitale car ces points sont centraux pour le calcul scientifique hautes performances. Les axes de recherche qu'il souhaite développer s'intègrent et complètent les travaux actuels de l'équipe SATANAS, sur l'ordonnancement distribué et très hétérogène, et ouvrent de nouvelles perspectives pour la sélection par apprentissage des méthodes d'ordonnancement.

### **2.2.2 Orientations scientifiques**

La simulation numérique est aujourd'hui intégrée dans tous les cycles de conception et d'études scientifiques, qu'elles soient académiques ou industrielles, afin de prédire ou de comprendre le comportement de phénomènes complexes souvent couplés ou multi-physiques. La qualité de la prédiction nécessite d'avoir des modèles précis et adaptés, mais aussi de disposer d'algorithmes de calcul efficacement implantés sur des ordinateurs aux architectures en permanente évolution. Compte tenu de la taille toujours croissante et de la sophistication des simulations mises en œuvre, le recours au calcul parallèle sur des calculateurs possédant jusqu'à plusieurs centaines de milliers de cœurs de calcul et consommant/générant des volumes massifs de données devient incontournable ; ce domaine correspond à ce qui est aujourd'hui appelé High Performance Computing (HPC). D'autre part, la numérisation de nombreux procédés et la prolifération d'objets connectés de toute nature génèrent des volumes de données toujours croissants qui contiennent de multiples informations précieuses ; celles-ci ne peuvent être mises en évidence que via des traitements sophistiqués ; on parle alors de Big Data. La complexité intrinsèque de ces traitements numériques nécessite une approche holistique avec des collaborations d'équipes multidisciplinaires capables de maîtriser l'intégralité des compétences scientifiques requises pour chacune des composantes constituant cette chaîne d'expertises.

Pour avoir un réel impact sur les progrès et avancées scientifiques, ces compétences doivent inclure la gestion efficace du nombre massif de nœuds de calcul en utilisant des paradigmes de programmation ayant un niveau élevé d'expressivité, exploitant des couches de communications performantes, des techniques de gestion efficaces pour

des entrées-sorties intensives, des mécanismes efficaces d'ordonnancement de calcul sur des plates-formes avec un grand nombre d'unités de calcul et des volumes massifs d'entrées-sorties, des méthodes numériques innovantes et performantes pour analyser les volumes de données produites et des algorithmes efficaces pouvant être intégrés dans des applications représentant des challenges scientifiques reconnus à forts impacts sociétaux et économiques. Le projet de l'équipe SATANAS vise à considérer chacun de ces maillons de manière consistante, cohérente et consolidée. Nous disposons depuis l'année dernière de plusieurs sources de financement pour développer ces activités :

- Faisant suite au projet ANR SOLHAR mentionné précédemment, le projet SOLHARIS vise à adresser les défis relatifs au développement de solveurs linéaires efficaces et scalables pour architectures hétérogènes de grande taille. À cause de la complexité et de l'hétérogénéité de ces plateformes ainsi que celle des méthodes cibles, ce projet reposera sur l'utilisation de supports d'exécution pour atteindre un niveau élevé de performance, programmabilité et portabilité. En regroupant des experts en algèbre linéaire computationnelle, ordonnancement et supports d'exécution, SOLHARIS répondra à ces défis d'une part au moyen du développement d'algorithmes numériques et de méthodes d'ordonnancement adaptés aux caractéristiques des calculateurs hétérogènes de grande taille, et d'autre part, par le biais de l'amélioration et l'extension des supports d'exécution avec de nouvelles fonctionnalités qui répondent aux besoins de ces méthodes. Ce travail conduira à des résultats de recherche fondamentale aussi bien qu'au développement de logiciels.
- Le projet région "HPC scalable ecosystem", dans lequel sont impliqués un grand nombre de chercheurs des équipes SATANAS et BKB, à travers le cluster SysNum de l'IDEX de l'université de Bordeaux, mais aussi Airbus, le CEA et l'INRAE entre autres, propose de relever 4 défis applicatifs :
  - Metabarcoding et écologie numérique,
  - Détection d'anomalies dans les graphes d'interaction à grande échelle et application aux réseaux sociaux,
  - Réduction du bruit autour des aéroports et santé durable,
  - Écoulements turbulents, combustion turbulente, aérothermique et phénomènes physiques complexes.

Ce projet contribuera significativement à la synergie naissante sur la convergence entre deux domaines jusqu'à présent encore relativement distincts, à savoir le calcul haute performance (HPC) et le traitement, la gestion des grandes masses de données (Big Data) ; ce projet s'inscrit donc clairement dans le domaine émergent du High Performance Data Analytics (HPDA).

- Plus spécifiquement, et en complément du défi applicatif de Metabarcoding mentionné ci-dessus, l'action de développement technologique GORDON travaille à consolider les briques d'une pile logicielle HPC développée par les chercheurs de SATANAS et qui couvre les aspects solveurs numériques, support d'exécution et bibliothèque de communication. Le cadre applicatif de ce projet est une application de classification d'individus (micro-organismes, eucaryotes) posé par nos partenaires de l'INRAE (et avec l'équipe PLEIADE). Les échantillons pouvant varier de dizaine de milliers au million d'individus.

### 2.2.3 Ouvertures scientifiques

**Convergence HPC BigData** Le HPC et le Big Data ont évolué avec leurs propres infrastructures (supercalculateurs contre nuages), applications (simulations scientifiques contre analyses de données) et outils logiciels (MPI et OpenMP contre cadres Map/Reduce ou Deep Learning). Mais l'analyse des données massives nécessite de plus en plus de puissance de calcul (grâce à l'apprentissage profond) et devient une préoccupation majeure pour le calcul scientifique. Le Challenge HPC-BigData, auquel participent des membres de l'équipe SATANAS, rassemble des équipes des domaines HPC, Big Data et Machine Learning (ML) pour travailler à l'intersection de ces domaines. La recherche est organisée selon trois axes principaux :



- l'utilisation du HPC pour accélérer l'IA et le traitement des données massives,
- l'intelligence artificielle et l'analyse des données pour les simulations scientifiques à grande échelle,
- la gestion des infrastructures et des ressources.

Dans le contexte de la convergence entre le HPC et les grandes données, la charge de travail des supercalculateurs devient plus hétérogène. Cela s'explique par le fait que le processus de découverte scientifique allie généralement les simulations aux étapes d'analyse des données. La quantité de données impliquées dans ce cycle a augmenté en raison des améliorations apportées aux technologies des capteurs et de la puissance de traitement sans précédent des supercalculateurs, permettant la représentation de problèmes scientifiques plus importants. Dans ce contexte, il est important d'exécuter toutes les étapes sur la même machine pour éviter les coûts élevés associés au mouvement des données. De plus, aujourd'hui, de nombreuses étapes d'analyse de données impliquent une lourde charge CPU et bénéficient d'accélérateurs dans les supercalculateurs, l'exemple le plus notable étant l'apprentissage des réseaux neuronaux. C'est pourquoi la notion d'application scientifique évolue vers un *workflow* scientifique, composé de tâches à forte intensité de CPU et de données. Cette nouvelle diversité de la charge de travail offre également des possibilités de meilleure utilisation des ressources, car les codes d'analyse des données sont souvent élastiques et s'adaptent à un nombre changeant de ressources. Les planificateurs de la prochaine génération de supercalculateurs auront besoin d'informations détaillées sur les applications, qui devront être dérivées de données obtenues lors d'exécutions précédentes (par exemple des traces). En outre, afin de promouvoir une meilleure utilisation des ressources partagées, des stratégies d'arbitrage dynamique sont nécessaires. Elles doivent s'appuyer sur des données de surveillance actualisées et prendre rapidement des décisions pour adapter le système à une charge de travail changeante. Néanmoins, de telles informations approfondies ne sont généralement pas disponibles aujourd'hui. Par conséquent, proposer des stratégies de surveillance et de profilage des applications est un élément important pour atteindre l'objectif d'amélioration des algorithmes de planification.

Cette activité de recherche sera positionnée à l'interface entre les futurs départements SATANAS et BKB et un recrutement commun d'une maître de conférences sur cette thématique a été effectué en 2019. Ce projet devra se développer à moyen terme et devenir candidat à un des futurs axes transverses dans la nouvelle organisation du LaBRI.

A noter que le master CISD (Calcul Intensif et Sciences des données), ouvert en 2019, a pour objectif de proposer une double compétence calcul et données. Il s'adresse aux élèves de l'ENSEIRB-MATMECA et du master informatique de Bordeaux qui souhaitent devenir des experts en calcul et en traitement et analyse des données hautes performances.

**HPC et apprentissage** L'apprentissage dans les réseaux de neurones profonds est aujourd'hui une source d'utilisation importante des ressources de calcul HPC, d'une manière qui renouvelle de façon importante certaines des problématiques liées à l'allocation de ressources, à la parallélisation, à l'exécution dynamique et à l'ordonnancement. En effet, la rétropropagation du gradient, qui est l'algorithme central de l'apprentissage supervisé, introduit des dépendances de longue durée, de sorte que les graphes de dépendances générés sont qualitativement très différents de ceux rencontrés en algèbre linéaire et en calcul scientifique en général. Ces dépendances génèrent des besoins en mémoire importants, qui rendent raisonnables des stratégies fondées sur le recalcul (re-matérialisation) ou l'utilisation de hiérarchie mémoire profonde. Ces questions (allocation de ressources, ordonnancement, organisation des mouvements de données) se traduisent naturellement au niveau algorithmique et au niveau système et sont l'objet de la participation des équipes HIEPACS et STORM et TADAAM à le DEFI Inria « High Performance Computing and Big Data ». En particulier, l'adaptation de runtimes dynamiques à des applications d'apprentissage supervisé est cruciale, en s'appuyant sur l'expérience HPC qui a démontré la capacité de ces techniques à gérer des environnements hétérogènes et incertains, et pose des questions de nature très variées, y compris au niveau des

interfaces avec les langages et les intergiciels de l'apprentissage. Au-delà des questions de stockage, les techniques de parallélisation mises en oeuvre pour l'apprentissage sont nombreuses, riches et originales (data parallelism, model parallelism, filter parallelism,...) et renouvellent également beaucoup les problématiques de placement de données (HIEPACS, STORM), de communications collectives (TADAAM). Il est à noter que contrairement au cadre HPC « classique », la parallélisation de l'apprentissage modifie le calcul qui est réalisé et son résultat, et il est donc crucial de travailler avec des experts en apprentissage (TAO à Saclay, ZENITH à Montpellier, SEQUEL à Lille) pour comprendre précisément les contraintes et les limites. À l'inverse, la question de la capacité des techniques d'apprentissage (non supervisé en particulier) pour aider à la résolution de problèmes d'optimisation combinatoire liés au HPC (ordonnancement, placement, équilibrage de charge) est ouverte et fait l'objet de travaux préliminaires (HIEPACS, SEQUEL, TADAAM).

**Informatique quantique pour la simulation** Avec l'augmentation, notamment au niveau européen, des ressources allouées au développement de calculateurs quantiques, les premiers prototypes devraient être accessibles dans les années à venir. Bien que leurs domaines de prédilection seront certainement la cryptographie et la physique/chimie quantique, il existe des pistes pour aborder des domaines de la simulation numérique auxquels l'équipe SATANAS s'intéresse. L'apparition de cette nouvelle composante, clairement en rupture, dans le monde HPC ouvre un vaste champ de sujets de recherche de nature méthodologique et algorithmique (hétérogénéité exacerbée, calcul stochastique vs calcul déterministe, ...). Les EPC HIEPACS et STORM de l'équipe SATANAS participent au DEFI (action collaborative et exploratoire) Inria EQIP, dont le lancement est pour fin 2020 et qui regroupe des expertises en méthode numérique, en simulation des systèmes quantiques, compilation, émulation quantique, cryptographie et crypto analyse, algorithmique quantique, qubits et HPC. Ce large spectre de compétences permet de couvrir toute la chaîne, des aspects matériels jusqu'aux applications. Les objectifs en terme de HPC sont notamment d'identifier les algorithmes utilisés en HPC qui pourraient être réécrits pour un accélérateur de calcul quantique.