Laboratoire d'Informatique Gaspard Monge Rapport d'activité

1er janvier 2013 - 30 juin 2018









Table des matières

| -1 | Le laboratoire | | | | | |
|-------|--|----|--|--|--|--|
| 1 | Présentation de l'unité | 11 | | | | |
| 1.1 | Introduction | 11 | | | | |
| 1.1.1 | Présentation générale | 11 | | | | |
| 1.1.2 | Localisation | 12 | | | | |
| 1.1.3 | Bref historique | 12 | | | | |
| 1.1.4 | Structuration de la recherche | 13 | | | | |
| 1.2 | Effectifs et moyens | 13 | | | | |
| 1.2.1 | Ressources humaines: personnels administratifs et techniques | 13 | | | | |
| 1.2.2 | Chercheurs permanents | 14 | | | | |
| 1.2.3 | Chercheurs non permanents | | | | | |
| 1.2.4 | Ressources financières | 16 | | | | |
| 1.3 | Politique scientifique | 16 | | | | |
| 2 | Présentation de l'écosystème local | 21 | | | | |
| 2.1 | Les quatre tutelles : CNRS, ENPC, ESIEE et UPEM | 21 | | | | |
| 2.2 | Les structures englobantes | 21 | | | | |
| 2.2.1 | Labex et fédération Bézout | 22 | | | | |
| 2.2.2 | I-SITE FUTURE et l'U-Cible | | | | | |
| 2.2.3 | La COMUE UPE | 22 | | | | |
| 2.2.4 | Entités régionales | 23 | | | | |
| 2.3 | Implication des membres du LIGM | 23 | | | | |

| 3 | Produits et activés de recherche | 25 |
|----------------------------------|--|-----------|
| 3.1 3.1.1 | Bilan scientifique Prix et distinctions | |
| 3.1.2 3.1.3 | Partenariats industriels et valorisation | |
| 3.1.4 3.1.5 | Contrats | |
| 3.1.6 | Formation par la recherche | |
| 3.2 | Faits marquants | 27 |
| 4 | Organisation et vie de l'unité | 31 |
| 4.1 | Pilotage, animation, organisation | 31 |
| 4.1.1 4.1.2 4.1.3 4.1.4 | Équipe de direction | 32 34 |
| 4.2 | Parité, intégrité, protection et sécurité | 36 |
| 4.2.1 4.2.2 4.2.3 | Protection et sécurité Intégrité Parité | 37 |
| 5 | Analyse SWOT | 39 |
| 5.1 | Points forces | 39 |
| 5.2 | Points à améliorer | 39 |
| 5.3 | Risques liés au contexte | 40 |
| 5.4 | Possibilités liées au contexte | 40 |
| 6 | Projet à cinq ans | 41 |
| 7 | Annexes laboratoire | 43 |
| 7.1 | Annexe 2 : matériel et plateformes | 46 |
| 7.2 7.2.1 | Annexe 4 : sélection des produits et des activités de recherche Production de connaissances, rayonnement et attractivité scientifique | 48 |
| 7.2.2 7.2.3 | Intéraction avec l'environnement | |
| Ш | Les équipes | |
| 8 | Algorithmes, architectures, analyse et synthèse d'images | 73 |
| 8.1 | Présentation de l'équipe | 73 |
| 8.1.1 8.1.2 | Introduction | 73 74 |
| 8.1.3 8.1.4 8.1.5 | Interactions locales et nationales | 79 |

| 8.2 | Produits et activités de recherche | 79 |
|------------------------|---|------------|
| 8.2.1 | Bilan scientifique | 79 |
| 8.2.2 | Données chiffrées | |
| 8.2.3 | Logiciels | |
| 8.2.4 | Activité contractuelle | |
| 8.2.5 | Faits marquants scientifiques | |
| 8.3 | Analyse SWOT | 91 |
| 8.4 | Projet scientifique à cinq ans | 92 |
| 8.4.1 | Perspectives pour l'intégration des chercheurs en RO au sein du LIGM | |
| 8.4.2 8.4.3 | Architectures dédiées pour l'imagerie | |
| 8.4.4 | Morphologie mathématique, filtrage et analyse d'images | |
| 8.4.5 | Optimisation, apprentissage et traitement d'images | |
| 8.4.6 | Vision artificielle (interprétation d'images, perception 3D, modélisation géo | |
| | trique et sémantisation) | |
| 8.5 | Organisation de la vie de l'équipe | 98 |
| 8.6 | Recommandation de l'AERES en 2013 | 98 |
| 8.7 | Annexe : sélection des produits et des activités de recherche | 100 |
| 8.7.1 | Production de connaissances, rayonnement et attractivité scientifique | 100 |
| 8.7.2 | Intéraction avec l'environnement | 112 |
| 8.7.3 | Implication dans la formation par la recherche | 113 |
| 9 | Combinatoire Algébrique et Calcul Symbolique | 119 |
| 9.1 | Présentation de l'équipe | 119 |
| 9.1.1 | Introduction | 119 |
| 9.1.2 | | 120 |
| 9.1.3 | Interactions locales et nationales | 121 |
| 9.1.4 | Rayonnement international | 121 |
| 9.1.5 | • | 121 |
| 9.2 | | 122 |
| 9.2.1 | | 122 |
| 9.2.2 9.2.3 | Données chiffrées | 127 127 |
| 9.2.0 9.3 | Analyse SWOT | 127 |
| 9.3 9.4 | Projet scientifique à cinq ans | 128 |
| 9. 4 9.5 | Organisation de la vie de l'équipe | 129 |
| 9.6 | Recommandation de l'AERES en 2013 | 129 |
| 9.0 9.7 | Annexe : sélection des produits et des activités de recherche | 131 |
| 9.7 9.7.1 | Production de connaissances, rayonnement et attractivité scientifique | 131 |
| 9.7.1 9.7.2 | Intéraction avec l'environnement | 134 |
| 9.7.3 | Implication dans la formation par la recherche | 135 |
| 10 | Logiciels, Réseaux, Temps Réel | 137 |
| 10.1 | Présentation de l'équipe | 137 |
| 10.1.1 | Introduction | 137 |
| | Effectifs | 137 |
| | Interactions locales et nationales | |

| | Rayonnement international | |
|--|--|---|
| 10.2 | Produits et activités de recherche | 141 |
| 10.2.4 | Bilan scientifique Données chiffrées Logiciels Activité contractuelle | 141 146 146 147 |
| 10.3 | Analyse SWOT | 148 |
| 10.4 10.4.1 10.4.2 10.4.3 10.4.4 10.5 | Projet scientifique à cinq ans Thème Logiciel | 149 149 150 150 151 151 |
| 10.6 | Recommandation de l'AERES en 2013 | 151 |
| 10.7 10.7.1 10.7.2 10.7.3 | Annexe : sélection des produits et des activités de recherche Production de connaissances, rayonnement et attractivité scientifique Intéraction avec l'environnement | 153 160 162 |
| 11 | Modèles et Algorithmes | 165 |
| 11.1.4 11.1.5 | Présentation de l'équipe Introduction Effectifs Interactions locales et nationales Rayonnement international Formation par la recherche | 165 165 166 169 170 170 |
| 11.2 | Produits et activités de recherche | 171 |
| 11.2.4 11.2.5 11.2.6 | Bilan scientifique - Automates et logique Bilan scientifique - Algorithmique Bilan scientifique - Linguistique pour le traitement automatique des langues Données chiffrées Logiciels Activité contractuelle Faits marquants scientifiques | 171 174 179 180 180 181 181 |
| 11.3 | Analyse SWOT | 182 |
| 11.4 11.4.1 11.4.2 11.4.3 11.5 | Projet scientifique à cinq ans Automates et logique | 183 184 186 186 |
| 11.6 | Recommandations de l'AERES en 2013 | 186 |
| 11.7 11.7.1 11.7.2 | Annexe: sélection des produits et des activités de recherche Production de connaissances, rayonnement et attractivité scientifique Intéraction avec l'environnement | 187 187 198 199 |

| 10 | | |
|--------|---|-------|
| 12 | Signal et communication | 203 |
| 12.1 | Présentation de l'équipe | 203 |
| 12.1.1 | Introduction | 203 |
| 12.1.2 | Effectifs | 204 |
| 12.1.3 | Interactions locales et nationales | 205 |
| 12.1.4 | Rayonnement international | |
| 12.1.5 | Formation par la recherche | 206 |
| 12.2 | Produits et activités de recherche de l'équipe | 207 |
| 12.2.1 | Bilan scientifique | 207 |
| 12.2.2 | Données chiffrées | 210 |
| 12.2.3 | Activité contractuelle | 210 |
| 12.2.4 | Faits marquants scientifiques | 210 |
| 12.3 | Analyse SWOT | 211 |
| 12.4 | Projet scientifique à 5 ans | 212 |
| 12.4.1 | Outils statistiques pour le traitement de données en grande dimension | 212 |
| 12.4.2 | Dynamiques d'algorithmes de simulation et d'optimisation en contexte stoc | :has- |
| | tique | 212 |
| 12.4.3 | Nouvelles problématiques pour la résolution de problèmes inverses | |
| 12.4.4 | Théorie de l'information | |
| 12.4.5 | Généralisations du transport optimal et applications | 213 |
| 12.5 | Recommandations de l'AERES en 2013 | 214 |
| 12.6 | Annexe : sélection des produits et des activités de recherche | 215 |
| 12.6.1 | Production de connaissances, rayonnement et attractivité scientifique | 215 |
| 12.6.2 | Interaction avec l'environnement | 221 |
| 12.6.3 | Implication dans la formation par la recherche | 222 |

Le laboratoire

Présentation de l'unité

- 1.1 Introduction
- 1.2 Effectifs et moyens
- 1.3 Politique scientifique

Présentation de l'écosystème local

- 2.1 Les quatre tutelles : CNRS, ENPC, ESIEE et UPEM
- 2.2 Les structures englobantes
- 2.3 Implication des membres du LIGM

Produits et activés de recherche

- 3.1 Bilan scientifique
- 3.2 Faits marquants

Organisation et vie de l'unité

- 4.1 Pilotage, animation, organisation
- 4.2 Parité, intégrité, protection et sécurité

Analyse SWOT

- 5.1 Points forces
- 5.2 Points à améliorer
- 5.3 Risques liés au contexte
- 5.4 Possibilités liées au contexte

Projet à cinq ans

Annexes laboratoire

- 7.1 Annexe 2: matériel et plateformes
- 7.2 Annexe 4 : sélection des produits et des activités de recherche

1 Présentation de l'unité

1.1 Introduction

1.1.1 Présentation générale

Le Laboratoire d'Informatique Gaspard Monge (LIGM) est une Unité Mixte de Recherche, avec une activité en informatique : section 27 et 61 du CNU, et majoritairement 6 et 7 du CNRS. Le laboratoire possède quatre tutelles : le CNRS, l'École Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC), l'École Supérieure d'ingénieurs en Électrotechnique et Électronique de Paris (ESIEE Paris) et l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée (UPEM).

Le laboratoire est formé de cinq équipes, qui regroupent environ 150 personnes, dont presque 80 sont chercheurs ou enseignants-chercheurs permanents. À de rares exceptions près, les personnels du LIGM ayant une mission de recherche sont employés par l'une des quatre tutelles, comme chercheurs au CNRS et à l'ENPC, et comme enseignants-chercheurs à l'ESIEE Paris et à l'UPEM.

Les principales activités de recherche du laboratoire concernent l'analyse et le traitement des images, différents aspects de la géométrie en informatique, l'apprentissage, les réseaux, l'algorithmique temps-réel, la combinatoire, l'algorithmique, la bio-informatique, la logique informatique et les automates, le traitement automatique des langues et le traitement du signal. En plus de couvrir un large spectre de l'informatique dans ses thématiques, les travaux effectués au sein du laboratoire vont des plus fondamentaux aux plus appliqués.

Le laboratoire est bien implanté dans son environnement, avec une forte implication locale au plus haut niveau, un rôle important dans le Labex Bézout et des projets en cours dans l'I-SITE FUTURE. Au niveau régional, le LIGM émarge au DIM Math-Innov (Mathématiques) et au DIM émergent RFID (Informatique). De nombreux membres du laboratoire sont également impliqués dans les instances nationales (CNU, CoNRS, Comités ANR, GDR, ...) et visibles internationalement via la direction et la participation à des comités éditoriaux de revues et à des comités de programme de conférences prestigieuses. Le laboratoire a également développé de nombreux liens avec le monde de l'entreprise, au moyen de projets joints, d'encadrements de thèses CIFRE, d'incubation d'idées avec la SATT, ...

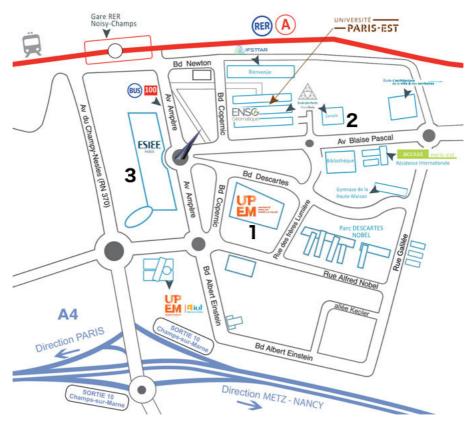
Une partie du LIGM développe naturellement une recherche proche des mathématiques, discipline dont plusieurs de ses membres sont très proches. Cette proximité se concrétise dans le

Labex Bézout avec les laboratoires de mathématiques de l'ENPC (le CERMICS) et des universités de Paris-Est (le LAMA), mais aussi par des co-encadrements de thèse, des publications dans des revues de mathématiques, des projets ANR communs, ... Le laboratoire émarge d'ailleurs à la fois aux Domaines d'Intérêt Majeur (DIM) de Mathématiques et d'Informatique de la région Ile-de-France. Nous avons également des collaborations soutenues avec d'autres domaines scientifiques : la santé (en image et en algorithmique), les SHS (en traitement automatique des langues et en algorithmique), et la physique des matériaux (en image).

1.1.2 Localisation

Le laboratoire est localisé dans la cité Descartes de l'Université Paris-Est, situé à Champs-sur-Marne. Les membres de l'unité sont répartis dans trois bâtiments distincts (voir le plan) :

- 1. le bâtiment Copernic de l'UPEM, pour les personnels de l'UPEM et du CNRS;
- 2. le bâtiment Coriolis de l'ENPC, pour les personnels ENPC;
- 3. le bâtiment principal de l'ESIEE, pour les personnels de l'ESIEE et une chercheuse CNRS. Quelques membres du laboratoire d'équipes multi-tutelles ont plusieurs bureaux pour faciliter leurs interactions scientifiques au quotidien.



1.1.3 Bref historique

Le laboratoire a été créé en 1992 par Maxime Crochemore et a le statut d'UMR CNRS depuis 2002. Il a auparavant été équipe postulante du CNRS en 1994, confirmée UPRES-A en 1998. En 2002, le laboratoire possédait trois tutelles : l'UPEM, ESIEE Paris et le CNRS. En 2009, le LIGM a fusionné avec le laboratoire CERTIS de l'ENPC, portant ainsi à quatre le nombre de ses tutelles.

Maxime Crochemore a été directeur du laboratoire jusqu'en 2004. De 2004 à 2005, il est resté directeur, assisté de Gilles Roussel en tant que directeur adjoint. De 2006 à 2008, Gilles Roussel a été nommé directeur, Éric Laporte devenant directeur adjoint. Suite à la nomination de Gilles Roussel comme vice-président de l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée, Marie-Pierre Béal l'a

remplacé à la direction du laboratoire en février 2008. Elle est restée directrice jusqu'à fin 2014. Gilles Roussel a été directeur adjoint jusqu'à son élection à la présidence de l'Université en 2012, Jean-Christophe Pesquet le remplaçant à ce poste en mars 2012. Cyril Nicaud a pris la direction de l'unité en 2015, Jean-Christophe Pesquet restant directeur adjoint jusqu'à sa mutation en septembre 2016, où il a été remplacé par Jamal Najim. Le nombre de chercheurs, enseignants-chercheurs et ingénieurs avec une mission de recherche, sur des statuts permanents était de 35 en 2001, 40 en 2005, 55 en 2008, 72 en 2013 pour atteindre 85 en 2018.

1.1.4 Structuration de la recherche

Le laboratoire est structurée en cinq équipes, plus une équipe de direction. L'équipe de direction est composée du directeur, du directeur adjoint, de la responsable administrative, des personnels administratifs et techniques, et d'une ingénieure de recherche ayant pour missions, entres autres, la valorisation logicielle et la communication. Les équipes de recherche sont les suivantes :

- Algorithmes, architectures, analyse et synthèse d'images (A3SI, CNU 27): architectures dédiées pour l'imagerie; géométrie et topologie discrètes; morphologie mathématique, filtrage et analyse d'images; optimisation, apprentissage et traitement d'images; synthèse d'images et modélisation; vision, reconstruction de modèles 3D et sémantisation.
- Combinatoire algébrique et calcul symbolique (COMBI, CNU 27): algèbres de Hopf combinatoires; probabilités libres; théorie des représentations et des invariants; combinatoire énumérative; intégration des algorithmes dans le système SAGE.
- Logiciels, réseaux et temps réel (LRT, CNU 27): réseaux; logiciels; internet des objets; réseaux mobiles et sans fil; gestion de ressources; sécurité et chorégraphie de services; systèmes temps-réel; efficacité énergétique.
- Modèles et algorithmes (MOA, CNU 27) : algorithmique pour la bioinformatique et algorithmique du texte; automates et logiques~; base de données théoriques linguistique pour le traitement des langues; analyse en moyenne, génération aléatoire; géométrie combinatoire et algorithmique; combinatoire des mots et dynamique symbolique.
- **Signal et communication (SIGNAL, CNU 61)**: problèmes inverses et optimisation; grandes matrices aléatoires et traitement statistique du signal en grande dimension; théorie et transmission de l'information.

1.2 Effectifs et moyens

| LIGM | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Chercheurs | 15 | 15 | 16 | 16 | 18 | 18 |
| Enseignants - Chercheurs | 53 | 54 | 54 | 57 | 60 | 62 |
| Emérites | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| BIATS | 6 | 7 | 8 | 7 | 7 | 8 |
| Total | 79 | 81 | 83 | 85 | 89 | 92 |

FIGURE 1.1 – Évolution des effectifs permanents du LIGM, en nombre de personnes.

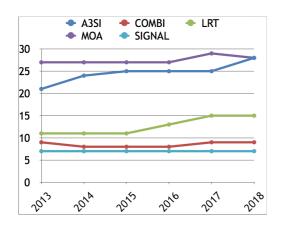
1.2.1 Ressources humaines: personnels administratifs et techniques

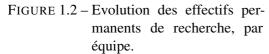
Au début 2013, l'équipe administrative du laboratoire dirigée par Corinne Palescandolo (AI CNRS), était composée de Séverine Giboz (CDD UPEM) et de Brigitte Mondou (ENPC). La

situation était difficilement tenable, au vu de toutes les tâches à effectuer avec le développement du laboratoire. Heureusement, Laurence Layani (AI CNRS) est arrivée en juillet 2014. Elle est partie en détachement au sein de l'UPEM dans un autre laboratoire en septembre 2015, mais a été immédiatement remplacée par Nathalie Rousseau (ATP CNRS). Après de longues années à renouveler CDD sur CDD, Séverine Giboz a finalement obtenu un CDI (ITRF UPEM) en janvier 2017.

Pour les personnels techniques, notamment la gestion du parc informatique, il n'y a pas eu de changements sur la période évaluée. Patrice Herault et Éric Llorens, les deux personnels s'occupant de l'administration des ordinateurs, sont à temps partiel au LIGM, l'un à l'UPEM et l'autre à l'ESIEE, et s'occupent également d'autres laboratoires ou composantes d'enseignement.

1.2.2 Chercheurs permanents





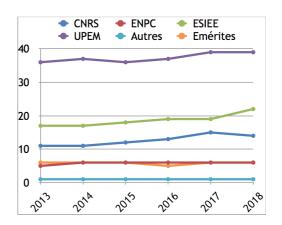


FIGURE 1.3 – Evolution des effectifs permanents de recherche, par tutelle.

Le tableau de la figure 1.1 récapitule les effectifs des permanents du laboratoire selon les années de la période d'évaluation. Les figures 1.2 et 1.3 reprennent ces données pour les permanents avec mission de recherche, mais en détaillant cette fois par équipe et par tutelle.

En 2013, Venceslas Biri (MdC à l'UPEM) et Xavier Goaoc (CR INRIA au LORIA) ont été recrutés professeurs UPEM, dans les équipes A3SI et MOA, respectivement. Johan Tapper (thèse à Linköping University) a lui été recruté maître de conférences UPEM dans l'équipe MOA. Yacine Gamri-Doudane a été promu sur un poste de professeur à l'université de la Rochelle. Alain Lascoux, DR émérite de l'équipe COMBI est décédé cette année-là.

En 2014, Mathieu Aubry (thèse à INRIA Paris) et Chaohui Wang (thèse à l'Ecole Centrale Paris) ont été recruté chercheur ENPC et maître de conférences UPEM dans l'équipe A3SI. Laurent George (MdC à l'UPEC) a été recruté professeur ESIEE. Guillaume Blin (MdC UPEM) a été promu professeur au LaBRI, à Bordeaux.

En 2015, Giovanni Cherchia (thèse à Télécom Paris-Tech) a été recruté maître de conférences ESIEE dans l'équipe A3SI, et Laurent Bulteau (thèse au LINA, Nantes) a été recruté sur un poste CR CNRS (section 6) dans l'équipe MOA.

En 2016, Rami Langar (MdC au LIP6) et Nadjib Aït Saadi (MdC au LISSI, UPEC) ont été recrutés professeur UPEM et professeur ESIEE dans l'équipe LRT. Alfredo Hubard (thèse à NYU, USA) en tant que maître de conférences UPEM et Éric Colin de Verdière (CR CNRS au LIENS, ULM) en tant que DR CNRS nous ont rejoint dans l'équipe MOA. Matthieu Constant (MdC UPEM) a été promu professeur à l'ATIFL, Nancy. Jean-Christophe Pesquet (PR UPEM) a muté à Centrale-Paris.

En 2017, Nadime Francis (thèse au LSV, Cachan) et Vincent Jugé (thèse à l'IRIF, Paris) ont rejoint l'équipe MOA, et Olivier Bouillot (thèse au LMO, Paris-Sud) l'équipe COMBI, en tant que maîtres de conférence. Ting Wang (thèse à l'Ecole Centrale Nantes) et Nawel Zangar (thèse au PRiSM à l'UVSQ) ont été recrutés sur des postes de maîtres de conférences ESIEE dans l'équipe LRT. Sylvain Cherrier qui était PRAG et ayant passé sa thèse en tant que membre du laboratoire, est devenu maître de conférences dans l'équipe LRT. Mathias Weller (thèse au TU, Berlin) est arrivé dans l'équipe MOA comme CR CNRS, section 51. Walid Hachem (DR CNRS au LTCI) a rejoint en mutation l'équipe SIGNAL (section 7).

En 2018, le laboratoire a décidé d'intégrer Sana Berraf, Chengbin Chu et Abderrahim Sahli, tous déjà en poste à l'ESIEE sur des thématiques proches de la recherche opérationnelle, en vue de concrétiser des interactions potentielles avec l'équipe A3SI et plus largement au sein du LaBEX Bézout (voir la section correspondante dans la description de l'équipe A3SI).

Sur les 22 recrutements effectués pendant cette période, il n'y a donc eu que deux recrutements locaux : un au niveau professeur de Venceslas Biri qui est très impliqué à haut niveau localement (il est vice-président enseignement de l'UPEM) et un au niveau maître de conférence de Sylvain Cherrier, qui a réussi à développer une activité de recherche et de valorisation significative alors qu'il était PRAG. Pendant ces cinq années, nous avons recruté au laboratoire des collègues de nationalités variées, venant d'Allemagne, de Chine, du Mexique, de Suède, ...

Nous avons également eu le plaisir d'accueillir 4 nouveaux chercheurs CNRS ces trois dernières années : un CR et un DR en section 6, un CR en section 51 et un DR en section 7.

1.2.3 Chercheurs non permanents

Doctorants

Les figures 1.4 et 1.5 récapitulent les inscriptions en thèses ainsi que le nombre de soutenances et abandons. On note une légère diminution récente du nombre d'inscription, qui est générale à toute l'École Doctorale MSTIC.

Nous réfléchissons au niveau de l'École Doctorale à des moyens pour trouver davantage de candidats doctorants. Le laboratoire n'hésite pas à financer des missions à l'étranger réalisées dans le but de trouver des doctorants (cela a notamment été fait avec le Mexique, en association avec Campus France).

| | 2013-14 | 2014-15 | 2015-16 | 2016-17 | 2017-18 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Inscrits | 66 | 72 | 61 | 64 | 55 |
| | 7 | 12 | 11 | 11 | 8 |
| | 9 | 10 | 7 | 8 | 9 |

FIGURE 1.4 – Évolution des effectifs des doctorants du LIGM, par années universitaires.

ATER, post-doctorants, Ingénieurs en CDD

Chaque année, il y a entre trois et cinq postes d'ATER fournis par l'UPEM pour le laboratoire, en section 27 et en section 61. Ce sont maintenant toujours des postes pleins, pour des raisons budgétaires.

Il y a eu en tout 17 post-doctorants au laboratoire pendant la période évaluée, tous financés par des projets.

| | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018* | 2013-18 |
|------------------------|------|------|------|------|------|-------|---------|
| Soutenances | 12 | 13 | 19 | 10 | 25 | 3 | 82 |
| Abandons | 1 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | 6 |
| Durée moyenne (années) | 3,5 | 3,7 | 3,6 | 3,2 | 3,8 | 3,4 | 3,6 |

FIGURE 1.5 – Évolution des soutenances et abandons de thèses, par années civiles.

Grâce à l'aide de la SATT IdF-Innov et d'un Super-BQR de l'UPEM, nous avons également accueilli 3 ingénieurs (développeurs) en CDD.

1.2.4 Ressources financières

Le tableau récapitule les différentes ressources financières, en distinguant l'apport de chaque tutelle en terme de dotation, appels à projets internes (c'est à dire les BQR, les PEPS, et tout autre appel propre à une tutelle), aide directes d'une part et les ressources sur projets, contrats, ... d'autre part.

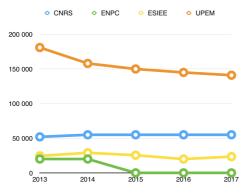
| | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
|------------------------------------|----------|----------|----------------|----------|----------|
| Attributions directes (dotations,) | 412 K€ | 340 K€ | 322 K€ | 357 K€ | 308 K€ |
| ▷ CNRS | 87 K€ | 71 K€ | 109 K€ | 100 K€ | 86 K€ |
| ⊳ ENPC | 20 K€ | 20 K€ | 0 | 0 | 0 |
| ⊳ ESIEE | 24 K€ | 29 K€ | 25 K€ | 20 K€ | 23 K€ |
| ▷ UPEM | 281 K€ | 220 K€ | 188 K € | 236 K€ | 199 K€ |
| Financements par projets, chaires, | 1.713 K€ | 1.510K€ | 1.404 K€ | 861 K€ | 936 K€ |
| ⊳ CNRS + UPEM | 880 K€ | 847 K€ | 848 K€ | 385 K€ | 381 K€ |
| ⊳ ENPC | 486 K€ | 213 K€ | 331 K€ | 244 K€ | 238 K€ |
| ⊳ ESIEE | 347 K€ | 450 K€ | 225 K€ | 232 K€ | 317 K€ |
| Total | 2.125 K€ | 1.849 K€ | 1.726 K€ | 1.217 K€ | 1.244 K€ |

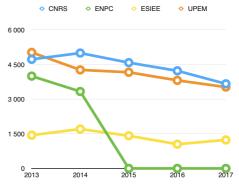
FIGURE 1.6 – Ressources financières du LIGM, hors masse salariale et coût des infrastructures. Il y avait un important projet européen porté par Yacine Ghamri-Doudane entre 2013 et 2015, ce qui explique les montants particulièrement élevés des projets gérés par l'UPEM ces années-là.

Seules les dotations des tutelles sont gérées directement par le laboratoire. Le graphique cidessous montre l'évolution de ces dotations au fil des ans. Il ne faut pas interpréter trop vite ces données, les dotations étant liées aux politiques des tutelles qui sont différentes. Notamment les membres du LIGM qui ont une des écoles d'ingénieurs comme employeurs ont une mission de valorisation prioritaire, et la pratique est de davantage compter sur ses contrats pour, par exemple, financer ses missions.

1.3 Politique scientifique

De façon très générale, la politique scientifique du laboratoire a consisté à renforcer son attractivité et son internationalisation d'une part, et d'autre part à stabiliser la jeune équipe LRT, les thématiques isolées et les interactions au sein du Labex Bézout.





Dotations par tutelle.

Dotations par chercheur permanent, selon les tutelles.

Visibilité et attractivité

L'attractivité du LIGM s'est développée grâce à une grande exigence de tous les instants sur la qualité scientifique, notamment sur les recrutements. La direction du laboratoire s'est beaucoup appuyée sur l'INS2I dans ses prises de décisions stratégiques, afin d'avoir des conseils venant d'une tutelle nationale et donc extérieure au site et à ses contraintes propres (qui doivent concilier l'excellence scientifique avec les autres missions du site).

La direction du LIGM a également toujours été soucieuse de conserver de très bonnes relations avec les différentes composantes d'enseignement, ce qui permet des dialogues constructifs pour les recrutements de permanents, les demandes de délégations, ...

Nous avons une politique volontaire et active d'aide à la préparation des candidats extérieurs, notamment les candidats aux concours CR et DR du CNRS. Nous passons beaucoup de temps à les aider pour leurs dossiers et à les préparer pour l'oral. Nous avons ainsi conseillé de nombreux jeunes collègues qui ont été recrutés un peu partout en France. En parallèle, nous avons vu significativement augmenter le nombre de candidats CR ou DR qui choisissent le laboratoire dans leurs vœux d'affectation, et aussi du nombre d'affectations.

Le LIGM soutient activement les manifestations (conférences, journées thématiques, ...) sur le site, en participant systématiquement à leur financement. La participation de très nombreux membres du laboratoire aux diverses instances nationales (INS2I, CNU 27 et 61, CoNRS 7 et 41, jurys ANR, jurys PEDR CNRS, direction de GdR, ...) accroît d'autant plus la visibilité du laboratoire.

Internationalisation

Le LIGM a volontairement recruté de nombreux chercheurs permanents et de nombreux doctorants venant de pays variés (voir la partie 1.2.2). Nous avons été aidés dans le développement de relations internationales par les différentes tutelles et structures locales, notamment par les possibilités d'invitations longues durées (1 mois ou plus) : il y a chaque année des appels de l'UPEM, de la Comue UPE et du Labex Bézout.

Les projets pédagogiques internationaux (Master avec Palerme à l'UPEM, Master International à l'ESIEE, Master Bézout avec bourses à l'international, ...) auxquels sont liés les enseignants-chercheurs du LIGM ont également œuvré dans cette direction. Les chercheurs du laboratoire participent à de nombreuses écoles de recherche un peu partout dans le monde. Le LIGM a commencé à développer des interactions avec l'UMI Relax à Chennai (franco-indienne); nous accueillons ainsi en 2018 deux stagiaires d'excellent niveau scientifique dans l'équipe MOA avec pour objectif de pérenniser les échanges avec l'Inde, notamment via cette UMI.

Le laboratoire a également développé une action nommée séjours courts d'été et d'automne pour permettre d'entretenir facilement des collaborations ou de préparer des projets internationaux au

moyen de visites d'une semaine (en allant à l'étranger ou en faisant venir le collègue concerné). Cette action a eu lieu en 2016, 2017 et l'appel 2018 est lancé, et consiste en une procédure très souple et incitative, qui a été un grand succès. Pour l'instant toutes les demandes ont été acceptées, parfois après quelques ajustements effectués en concertation avec la direction.

Renforcement de l'équipe LRT, des thématiques isolées et des interactions

L'équipe LRT (Logiciels, Réseaux, Temps-Réel) a été créée en 2013, à la toute fin de la précédente période évaluée. Cela était nécessaire car ils étaient jusqu'alors dans l'équipe MOA (Modèles et Algorithmes) qui devenait beaucoup trop grosse et trop diversifiée thématiquement. En 2013, l'équipe était fragile, n'ayant qu'un seul rang A : le président de l'UPEM. Plusieurs passages du rapport AERES de 2013 concernent des actions à mener pour la renforcer, en insistant sur les engagements pris.

Recommandations AERES 2013

[p. 6] Il faut également rester vigilant sur la nouvelle équipe créée, fragile, en particulier en veillant à des recrutements de professeurs expérimentés. En ce sens, il est recommandé de favoriser un recrutement externe plutôt qu'une promotion locale.

[p. 16] Il est important que le laboratoire encadre et soutienne cette équipe encore frêle par des recrutements de qualité de nouveaux professeurs expérimentés. La direction du LIGM et de l'ESIEE affichent le recrutement prioritaire sur les axes de l'équipe. Idéalement, il faudrait un professeur en réseau et un professeur en algorithmique temps-réel. Il est crucial de préparer ces recrutements afin de recruter des personnalités qui aideront l'équipe à porter son projet de recherche ambitieux.

C'est dans ce cadre que nous avons recruté Laurent George (MdC LISSI, UPEC) en 2014 sur un poste de professeur à l'ESIEE en algorithmique temps-réel, Rami Langar (MdC LIP6, P6) en 2016 sur un poste de professeur à l'UPEM en réseaux et Nadjib Aït Said (MdC LISSI, UPEC) en 2016 sur un poste de professeur à l'ESIEE en réseaux également. Ces recrutements ont été complétés par plusieurs recrutements maître de conférences à l'ESIEE. L'activité et la visibilité de LRT s'est considérablement développée pendant la période évaluée, voir le chapitre spécifique à l'équipe dans le rapport.

Bien que moins critique que pour l'équipe LRT, le besoin de renforcement de plusieurs thématiques s'est fait ressentir, notamment dans l'équipe MOA. Dès 2014, le laboratoire a donc décidé d'orienter les profils recherche des postes dans cet esprit, tout en restant souple pour ne pas transiger sur l'excellence scientifique des recrutements. En pratique, cela correspondait à des profils relativement ouverts, mais avec des thématiques prioritaires, sur les postes de maître de conférences.

C'est ainsi qu'Alfredo Hubard a été recruté dans l'axe "géométrie combinatoire" de MOA, Nadime Francis dans l'axe "base de données théoriques" de MOA, Matthieu Aubry dans l'axe "data sciences" d'A3SI, et Sylvain Cherrier dans l'axe "logiciels" de LRT.

Pour le traitement automatique des langues, les candidats sur les concours n'étaient pas au niveau ou préféraient une affectation dans un autre laboratoire. Comme cette activité telle qu'elle est pratiquée au laboratoire demande un constant travail de développement en plus des recherches plus fondamentales, la direction du LIGM a attribué un budget spécifique de gratifications de stages (plus de 10 k€ en 2017-2018) à cette thématique pour qu'elle continue à fonctionner au mieux.

A un peu plus grande échelle, les renforcements spécifiques au contexte du laboratoire ont été effectués quand les occasions se sont présentées. C'est le cas du recrutement de Chaohui Wang

en MdC UPEM, avec la volonté de décloisonner un peu A3SI, qui travaille sur des thématiques proches des chercheurs ENPC et ESIEE de son équipe, et qui a un bureau dans les bâtiments de ces deux écoles. Le recrutement de Vincent Jugé, qui travaille renforce à la fois les aspects "méthodes formelles" et "analyse d'algorithmes" de l'équipe MOA, tout en ayant des affinités avec l'équipe COMBI suite à ses travaux de thèse, se situe également dans cette dynamique.

Interactions au sein du Labex Bézout

Le Labex Bézout est un Labex Math-Info qui réunit trois laboratoires du site : le CERMICS (maths, ENPC), le LAMA (maths, CNRS-UPEC-UPEM) et le LIGM. Voir le chapitre 2 pour plus de détails. Le développement des interactions avec les laboratoires de mathématiques du Labex a été un des objectifs du laboratoire pendant toute la période évaluée, à commencer par le recrutement de Xavier Goaoc en tant que professeur UPEM en 2013. Comme espéré, il s'est révélé extrèmement moteur pour construire de vraies interactions, et la direction du LIGM a soutenu toutes les initiatives allant dans ce sens.

En particulier, l'axe "géométrie combinatoire et algorithmique" des équipes A3SI (image) et MOA s'est considérablement développé pour devenir une thématique visible et forte du laboratoire. Avant le recrutement de Xavier Goaoc, seul Nabil Mustafa (PR ESIEE) émargeait à ces activités. Depuis nous avons recruté Alfredo Hubard (MdC UPEM), puis Éric Colin de Verdière (DR CNRS). Surtout, cette activité se développe au-delà du LIGM avec de véritables collaborations avec plusieurs chercheurs du LAMA: cours de master commun, encadrements communs, projet ANR commun, groupe de travail commun, ... Une filière de M2 commune aux deux masters d'informatique et de mathématiques est en train d'être construite et sera ouverte dès septembre 2018.

Le laboratoire est par ailleurs impliqué dans les développements présents et futurs du Labex : son intégration dans l'I-SITE FUTURE et le projet d'EUR qui lui est lié. Philippe Loubaton est l'actuel directeur du Labex, et sera remplacé prochainement par Éric Colin de Verdière. Ces liens privilégiés avec les laboratoires de mathématiques du site ont participé au développement de l'attractivité du LIGM, plusieurs de nos nouveaux membres ayant été séduits par notre proximité avec cette discipline.

Vigilance

Les grands changements institutionnels qui ont lieu dans le paysage de l'enseignement supérieur en France, ont obligé la direction du LIGM à rester vigilante, à tout moment, afin de permettre aux chercheurs du laboratoire de travailler dans les meilleures conditions possibles et de ne pas être en exclus ou mal intégrés dans les grandes orientations du site.

Bien que le LIGM entretienne de très bonnes relations avec ses tutelles, qui sont toutes très attachées au développement de la recherche, il y a eu de nombreux projets et changements dans la période évaluée qui ont contraint la direction à "aller au front" très régulièrement pour que le laboratoire ne soit pas trop malmené par les événements. Avec plus ou moins de succès.

Par anticipation, certains de ces risques avaient été mentionnés dans la lettre de mission du directeur, suite à un dialogue avec l'INS2I (le projet de fusion entre UPEC et UPEM, et les travaux de Copernic). D'autres sont apparus après, comme le possible passage en ZRR, le contour du projet I-SITE et la création de la nouvelle université fusionnant différent établissement du campus.

Force est de constater que notre discipline – l'informatique – a du mal à se faire reconnaître en tant que telle lors de la définition des grands projets structurants : pour certains collègues, nous sommes rapidement réduits à des rôles de techniciens qui les accompagnent dans des projets où il n'y a aucune recherche en informatique. Jouer le jeu au nom de l'interdisciplinarité, ce que l'on fait volontiers de temps en temps, a ses limites et il convient d'être vigilant pour exister véritablement en tant que discipline. Est-ce de la politique scientifique? il nous semble que oui, même s'il ne s'agit pas d'orienter le laboratoire, mais de faire en sorte d'avoir pleinement sa place lors de tous les changements qui ont lieu à une plus grande échelle.

2 Présentation de l'écosystème local

2.1 Les quatre tutelles : CNRS, ENPC, ESIEE et UPEM

Le LIGM est une UMR du CNRS, rattachée principalement à l'INS2I et secondairement à l'INSMI. Le CNRS étant une instance nationale, il ne fait partie de l'écosystème local qu'indirectement

L'ENPC, l'École des Ponts ParisTech, est une prestigieuse école d'ingénieur qui développe une activité de recherche structurée en douze laboratoires. Les informaticiens de l'ENPC sont au LIGM, et sont principalement des chercheurs avec une assez faible mission d'enseignement.

L'ESIEE Paris est une école d'ingénieur reconnue en électronique et en informatique. Elle développe une recherche dans ces deux disciplines. Les informaticiens de l'ESIEE sont au LIGM, et sont des enseignants-chercheurs avec des missions similaires à celles de l'université.

L'UPEM est une université pluridisciplinaire, hors santé et droit, dont la recherche est structurée en 15 laboratoires. Les informaticiens de l'UPEM sont au LIGM, avec un statut classique d'enseignant-chercheur.

2.2 Les structures englobantes

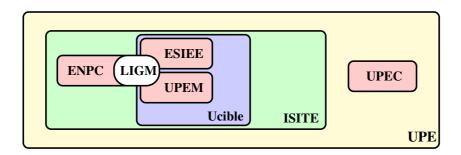


FIGURE 2.1 – Présentation imagée de la position du LIGM dans différentes structures du site.

2.2.1 Labex et fédération Bézout

Le CERMICS (ENPC) et le LAMA (CNRS, UPEC, UPEM) sont les deux laboratoires de mathématiques du site et nos partenaires au sein du Labex Bézout. Nos trois laboratoires sont rassemblés dans le cadre de la fédération CNRS Bézout.

Le Labex Bézout est un petit Labex à la frontière entre mathématiques et informatiques. Il comprend quatre axes principaux : "discrete mathematics & algorithms", "stochastic & deterministic models", "images & geometry, et "high-dimensional phenomena", avec un plus un thème transversal "smart cities". Les actions du Labex, qui a un budget annuel total d'environ 250 k€ sont principalement :

- le financement chaque année de 6 à 8 étudiants venant de l'étranger pour suivre des M2 en mathématiques et en informatique (bourse de plus d'environ 1300€ par mois);
- des demi-allocations doctorales;
- le financement de projets qui émargent à la fois en mathématiques et en informatique;
- le financement de cours de master qui émargent à la fois en mathématiques et en informatique;
- le financement de professeurs invités prestigieux.

Voir le site du Labex pour plus d'informations: http://bezout.univ-paris-est.fr/en

2.2.2 I-SITE FUTURE et l'U-Cible

FUTURE est un projet I-SITE labellisé en février 2017 qui est porté par Université Paris-Est, dont l'objectif est de produire des connaissances et porter des idées novatrices à l'échelle internationale, proposer des outils, des méthodes, des produits et services innovants pour répondre aux enjeux de la ville inclusive et durable.

En plus de l'Université Paris-Est (la COMUE), il réunit sept établissements : l'Ifsttar, l'UPEM, ESIEE Paris, l'EAVT, l'EIVP, l'IGN (au titre de l'ENSG) et l'ENPC. L'ensemble représente une force de recherche de 1 200 chercheurs et enseignants-chercheurs au sein de 34 laboratoires dont 22 en cotutelle (CNRS, Inra, Cerema, Cirad, UPEC et autres partenaires externes); il compte environ 17 000 étudiants dont 720 doctorants.

Son programme pour la recherche se décline en trois actions clés :

- Excellence et Recherche Interdisciplinaire : avec différents appels à projets ambitieux.
- Infrastructure innovante de niveau international : avec des financements spécifiquement alloués à la création de plateformes de construction numérique et de modèles et de données sur la Ville.
- Fonds pour l'Excellence : pour faciliter et environner des recrutements de haut niveau, que ce soit des chercheurs juniors, seniors, ou des doctorants et post-doctorants. Egalement accompagner les talents en recherche.

L'EIVP, l'ENSAVT, l'ENSG, ESIEE Paris, l'IFSTTAR et l'UPEM sont engagés dans la création d'un établissement qui sera une université d'un nouveau type, multi localisé sur le territoire français. Le nom n'étant pas encore fixé, cet établissement est temporairement appelé l'U-Cible. Bien qu'émanant de la partie gouvernance de l'I-SITE FUTURE, le périmètre est différent. Notamment, pour le LIGM, l'U-Cible regroupera l'ESIEE et l'UPEM, mais pas l'ENPC, alors que les trois établissements émargent à l'I-SITE FUTURE.

2.2.3 La COMUE UPE

Université Paris-Est fédère au sein d'une communauté d'universités et établissements (COMUE) 22 institutions de diverses missions et rattachements ministériels de l'est parisien : universités (UPEC et UPEM), centres hospitaliers, école vétérinaire, écoles d'ingénieurs, d'architecture, organismes de recherche, agences d'expertise et d'évaluation.

Vu du LIGM, le rôle de la COMUE s'est réduit depuis l'acceptation de l'I-SITE FUTURE, les grands changements en cours pour l'organisation de la recherche s'effectuant principalement au

sein de cette nouvelle structure. Cela n'a pas toujours été le cas, puisqu'au milieu de la période d'évaluation, se préparait plutôt une fusion de l'UPEC et de l'UPEM (qui n'a pas eu lieu), et le projet d'I-SITE avait tout un volet sur la santé et incorporait l'UPEC (avec le CHU Henri Mondor), l'école vétérinaire, ...

Il reste l'Ecole Doctorale MSTIC, qui est une instance de l'Université Paris-Est, à laquelle appartient le LIGM. Elle réunit 10 laboratoires en électronique, informatique, mathématiques, STIG, et automatique. C'est l'instance où sont données les allocations doctorale fournies par les tutelles, et où sont gérées les thèses. Tous les laboratoires du Labex Bézout émargent à l'École Doctorale MSTIC.

L'attribution des allocations doctorales s'est complexifiée de façon qui nous semble démesurée. Si on prend l'exemple de 2018, l'ENPC offre deux demi-bourses à répartir entre le CERMICS et le LIGM, l'ESIEE offre soit deux demi-bourses soit une pleine à répartir entre l'ESYCOM (laboratoire d'électronique) et le LIGM, et l'UPEM 8 bourses, dont une peut être coupée en deux demis, à répartir entre le LAMA, l'ESYCOM et le LIGM. Si on ajoute les bourses proposées par l'I-SITE sur les thèmes de la ville, le laboratoire fournit six classements à l'école doctorale, qui sont tous différents car les critères ne sont pas les mêmes à chaque fois. Et tout ça pour une quinzaine de candidats en tout.

À cela il faut ajouter, même si c'est une opportunité de plus, des classements pour les demi-allocations du Labex et pour les allocations pleines du DIM Math-Innov, qui sont gérées au niveau du Labex.

2.2.4 Entités régionales

Il y a trois entités au niveau régionale avec lesquels nous avons des liens directs.

La SATT IDF Innov, Société d'Accélération de Transfert Technologique, qui a pour objectif de valoriser les résultats, les expertises et les plateformes issus des laboratoires académiques de son territoire. Plusieurs chercheurs du LIGM ont des projets en maturation, ou des brevets déposés, accompagnés par la SATT IDF Innov.

Les Domaines d'Intérêt Majeur (DIM) de la région Île-de-France, sont des projets régionaux conséquents en soutien à la recherche. Le LIGM est membre du DIM Math Innov, le DIM de mathématiques, qui a été labellisé en 2017 et qui propose chaque année des allocations doctorales et des financements de post-doctorats. Les candidatures à ces appels passent par le Labex Bézout, et nous avons obtenu deux allocations sur le précédent DIM de mathématiques.

Le LIGM est également membre du DIM émergent RFSI, le DIM d'informatique. Émergent signifie qu'il doit faire ses preuves pour être labellisé et qu'il fonctionne a budget réduit. Comme il n'y a pas de quoi financer raisonnablement des salaires, le DIM RFSI finance des projets de type PEPS avec un intérêt régional et soutien des événements scientifiques. Nous espérons qu'il sera labellisé prochainement, pour que notre discipline soit pleinement reconnue en Île-de-France.

2.3 Implication des membres du LIGM

Les membres du laboratoire sont très impliqués dans l'écosystème local. Ils participent aux commissions, aux montages de projets et aux rôles de gouvernance des différentes structures.

Sans être exhaustif, voilà quelques un des rôles importants des membres du LIGM:

- à l'UPEM, Gilles Roussel est président de l'université, Venceslas Biri et Frédéric Toumazet sont vice-présidents (enseignement et relations internationales);
- à l'ESIEE, Dominique Perrin a été Directeur et Hugues Talbot Directeur de la Recherche;
- aux conseils centraux de l'UPEM, Dominique Revuz est élu au CA, Jean-Christophe Novelli est élu au CR, Arnaud Carayol a été élu au CR, et Etienne Duris est élu au CFVU;

- Michel Couprie a été co-directeur de l'École Doctorale MSTIC, Renaud Marlet et Cyril Nicaud y sont membres nommés;
- sur le site, Cyril Nicaud était membre du comité scientifique pour monter le projet I-SITE;
 Lors de la préparation de la fusion avec l'UPEC, Cyril Nicaud était membre de la commission recherche et Serge Midonnet de la commission gouvernance;
- Arnaud Carayol et Philippe Gambette sont membres élus du CA et du conseil académique de la COMUE UPE.

3 Produits et activés de recherche

3.1 Bilan scientifique

Les détails des activités de recherche sont spécifiées dans les chapitres dédiés à chaque équipe. Dans cette partie, nous présentons un récapitulatif rapide des principales productions et des distinctions obtenues sur la période évaluée.

3.1.1 Prix et distinctions

Les principales distinctions obtenues sont :

- Philippe Loubaton a obtenu le grand prix Emilia Valori de l'Académie des Sciences en 2018;
- Xavier Goaoc est lauréat IUF junior (2013), et Jean-Christophe Pesquet IUF senior (2016), Philippe Loubaton est membre IUF senior (2012-2017);
- Mohamed Akil est docteur honoris causa de l'Université West Bohemia en République Tchèque et Maxime Crochemore de l'Université d'Helsinki en Finlande tous deux en 2013.
- Ravi Kiran a reçu le Prix de thèse 2014 de l'Université Paris-Est et Anna Jezierska le Prix de la Chancellerie 2014 des Universités de Paris;
- Les membres du LIGM ont été récompensés par de nombreux "Best Papers Awards" et "Best Student Papers Awards" dans les conférences de référence de nos domaines, dont un "Test of time awards" à PODS 2016.

3.1.2 Partenariats industriels et valorisation

Le LIGM a une activité de valorisation importante, concentrée sur les équipes A3SI et LRT. Elles ont de nombreux partenaires industriels qui les appuient pour déposer des projets et proposent des encadrements de thèses Cifres.

Parmi les partenaires industriels récurrents, on peut citer L'Oréal, Clarins, Saint-Gobain, SA-FRAN, SAGEM Com, Heartflow (USA), General Electric, Facebook, Adobe, Orange, Thales, Nokia, ...

Il y a également plusieurs dépôts de logiciels, et des projets valorisés par la SATT IDF-Innov. Ce sont principalement les équipes LRT et MOA (dans le thème "traitement automatique des langues")

qui utilisent les partenariats avec la SATT. L'engagement total de cette dernière sur la période s'élève à 435 K€, principalement utilisés en salaires, pour financer des ingénieurs et des stagiaires.

3.1.3 Publications

Les membres du LIGM ont une activité de publication soutenue dans les journaux et conférences internationales de premiers plans dans leurs thématiques. Les habitudes de publication varient naturellement selon les thématiques, même au sein d'une même équipe. Un récapitulatif année par année est proposé dans la figure 3.1.

| LIGM | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018* | Total |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Journaux | 77 | 78 | 74 | 85 | 80 | 54 | 448 |
| Actes de conférences | 136 | 111 | 129 | 120 | 105 | 66 | 667 |
| Ouvrages, direction d'ouvrages | 13 | 12 | 5 | 5 | 7 | 5 | 47 |
| Eq. temps plein recherche | 42,5 | 43 | 44 | 45,5 | 49 | 50 | |

^(*) Seulement la première moitié de 2018 est comptabilisée.

FIGURE 3.1 – Nombre de publications par type et par année. Pour le nombre de "chercheurs temps plein", les enseignants-chercheurs sont comptés comme ayant une activité de recherche de 50%. Les émerites ne sont pas comptés.

3.1.4 Contrats

Le LIGM a porté ou participé à de nombreux projets académiques et industriels pendant la période évaluée. Les plus importants d'entre eux sont détaillés dans les activités des équipes. Notons toutefois que nous avons participé à plusieurs projets européens, notamment dans la thématique des réseaux, et porté un nombre conséquent de contrats ANR. Au total, si l'on compte également les petits contrats de type PEPS ou PHC, nous avons porté ou accompagné 55 d'entre eux pendant la période évaluée.

3.1.5 Activités éditoriales, comités de programmes, organisation de conférences

Le membres du laboratoire sont membres de nombreux comités éditoriaux de journaux de premier plan, comme IJCV, Journal of Algebra, Probability Theory and Related Fields, IEEE Acces, JONS, EJC, TCS, Advanced in Applied Mathematics, etc. Ils sont également invités dans de nombreux comités de programmes (pas moins de 91 rien que pour l'équipe MOA sur la période), pour des conférences telles STACS, SoCG, MFCS, ICALP, PODS, IEEE ICC, IEEE GLOBECOM, FPSAC, CVPR, ICCV ...

Deux conférences internationales ont été organisées sur le site : DLT 2013 et CIAA 2017. Les membres du laboratoires ont également été sollicités pour participer à l'organisation de nombreuses autres conférences.

3.1.6 Formation par la recherche

Enseignements

Tout naturellement, les membres du LIGM enseignent dans les masters avec vocation de recherche locaux liés à notre discipline, notamment dans le Master Informatique de l'UPEM. Ils animent et encadrent ces formations, participent à leur gestion et à leur renouvellement. Une filière mathématiques et informatique de M2 est en train d'être créée. Dans le cadre du Labex Bézout, nous accueillons chaque année 6 à 8 excellents étudiants venus de l'étranger, positionnés sur des thématiques entre mathématiques et informatique. Ils ont une rémunération d'environ 1300 € par mois et une partie d'entre eux, variable selon les promotions, rejoint notre M2 d'informatique.

De nombreux chercheurs du LIGM enseignent également dans des formations à l'extérieur du site. Notamment au Master Parisien de Recherche en Informatique (MPRI), avec six intervenants dont trois en tant que responsables de cours, et au Master "Mathématiques, Vision, Apprentissage" (MVA) de l'ENS Cachan, avec trois intervenants, mais aussi des Masters en santé ou en linguistique.

Au niveau doctoral, nous avons un cours récurrent de combinatoire algébrique, et nos cours de M2 accueillent régulièrement des doctorants et même des collègues. Nous essayons de les faire changer très régulièrement, pour pouvoir servir de formation plusieurs fois à un étudiant au cours de sa thèse. Nous intervenons régulièrement et ponctuellement lors de nos déplacements à l'étranger, mais aussi dans diverses écoles de recherche : Computer Science Days à Ekaterinbourg en 2014, plusieurs Écoles CIMPA (au Brésil en 2015, à Madagascar en 2016 et au Maroc en 2017), Congresso nacional de estudos linguisticos à Espírito Santo en 2017, DCCG à Barcelone en 2018,

Doctorats

Les activités doctorales sont coordonnées par l'école doctorale MSTIC, qui réunit les laboratoires de mathématiques, d'informatique et d'électronique de la COMUE, et dont l'activité est décrite dans la partie 2.2.3. Les effectifs en doctorants du laboratoire sont présentés dans la partie 1.2.3, et les animations mises en place au niveau des doctorants se trouvent dans la partie 4.1.4.

3.2 Faits marquants

Dans cette partie nous ne parlerons pas des faits marquants directement liés à des résultats scientifiques, qui seront explicités dans les chapitres relatifs à chaque équipe. Nous nous concentrons donc sur des faits plus structurants pour le LIGM en général, ou bien sur des situations qui ont eu un fort impact sur le laboratoire.

Liens avec le LAMA et développement de la géométrie combinatoire

Le développement de très forts liens scientifiques avec le LAMA est incontestablement un des grands succès de ces 5 dernières années. Cela a été accompagné par le développement de la thématique géométrie combinatoire et algorithmique, qui a été un des axes de la politique scientifique du laboratoire. Les interactions avec le LAMA sont nombreuses et maintenant bien établies. Il y a des thèses et des stagiaires co-encadrés, un projet ANR avec des membres des deux laboratoires, le groupe de travail commun est un vrai succès, il y a eu un cours de M2 de très haute qualité réalisé conjointement (isopérimétries discrètes), et nous sommes en train de monter une véritable filière mathématiques et informatique de master, accessible à la fois depuis les formations de mathématiques et d'informatique, qui rentre dans le cadre des actions proposées dans le projet d'EUR Bézout.

Évolutions institutionnelles

Comme à beaucoup d'endroits sur le territoire, les évolutions institutionnelles ont été au centre des préoccupations du laboratoire pendant toute la période évaluée.

Jusque début 2016, l'actualité était la fusion entre l'UPEC et l'UPEM, avec le projet de créer une université nouvelle et donc d'en redéfinir, notamment, l'organisation de la recherche (les deux universités ayant des modes de fonctionnement assez différents). La direction du LIGM ne trouvait que peu d'intérêts pour le laboratoire dans les changements envisagés, et son inquiétude a été relayée dans la lettre de mission au nouveau directeur, datée du 1er avril 2015. Ce projet de fusion a finalement été abandonné.

C'est ensuite le montage d'un projet I-SITE qui a monopolisé les énergies. Comme indiqué plus haut, il a été difficile de donner une place importante à l'informatique, en tant que discipline, dans le projet. Cela dit, la stratégie de tout centrer sur une seule thématique, la ville, a été payante au niveau du site puisque le projet a été accepté. Mais le LIGM n'est que marginalement concerné par cet axe de recherche.

La création de l'U-Cible est le prochain grand volet institutionnel. Il y a un enjeu important pour le LIGM, car le rapprochement de l'ESIEE et de l'UPEM peut être vraiment bénéfique pour le laboratoire. Il reste à clarifier comment va être organisée la recherche, l'IFSTTAR, notamment, fonctionnant de façon assez différente. Une autre inquiétude pour le laboratoire est la confusion très régulière, même à haut niveau de responsabilité, entre l'I-SITE et l'U-Cible, alors que les deux entités n'ont pas le même périmètre, et que de nombreux personnels de la future U-Cible ne sont que très peu concernés par les thématiques de l'I-SITE. Il ne faudrait pas que la future tutelle cède à la tentation de trop diriger les thématiques de recherche du laboratoire contre son gré.

Travaux dans le bâtiment Copernic

Des travaux de rénovation du bâtiment Copernic, où travaillent les personnels CNRS et UPEM du laboratoire, ont commencé au printemps 2017, pour une durée d'un peu plus de deux ans. Ce sont des travaux conséquents, réalisé avec un PPP de plus de 50 M€. Il devenait nécessaire de rénover ce bâtiment, notamment en raison de son très grand coût énergétique et des dégradations accumulées au fil des années.

Les travaux s'effectuent en trois phases, durant chacune desquelles est rénovée une tranche verticale. Le LIGM est directement concerné par les deux dernières phases, puisqu'il faut déplacer les personnels dont le bureau est dans la tranche concernée, mais aussi par la première phase en raison des nuisances sonores.

Au moment où sont écrites ces lignes, nous sommes en phase 2 des travaux. Une partie importante des chercheurs de l'UPEM et du CNRS sont installés dans un "open space" dans le bâtiment Rabelais pendant que les autres sont restés dans le bâtiment en travaux. Nous nous sommes accommodés au mieux à l'open space, mais ce n'est pas vraiment un environnement adapté au travail des chercheurs au quotidien, sans parler des nombreux problèmes sur place. Dans le bâtiment Copernic, il est régulièrement impossible de travailler à cause des nuisances sonores. Le laboratoire, déjà réparti sur plusieurs bâtiments est donc davantage segmenté pendant plus de deux ans. Nous ne pouvons pas accueillir de collègues en délégation CNRS. Nous pouvons difficilement inviter des chercheurs étrangers, sauf à leur proposer des conditions de travail pour le moins discutables. Bien que tout le monde fasse des efforts, les collègues ont tendance à moins venir au laboratoire, beaucoup préférant rester travailler chez eux. C'est même parfois nécessaire tant le bruit est insupportable. En phase 3, nous échangerons nos places entre les deux bâtiments avec les mêmes conséquences, notamment les nuisances sonores pour ceux qui ré-intègreront le bâtiment Copernic.

Les déménagements ont de plus ajouté une charge de travail plus que conséquente sur les services administratifs. Tout un travail d'organisation, d'anticipation, d'étiquetage, ... a été effectué par les gestionnaires à cadence rapide en plus de leurs activités courantes. Le niveau de saturation a été vite atteint, et l'accumulation des tâches liées aux travaux a engendré beaucoup stress, ainsi, inévitablement, que des retards sur les autres dossiers, malgré des journées de travail bien plus longues que la normale.

La direction du LIGM est particulièrement mécontente de la façon dont on été prises les décisions concernant le laboratoire pendant la période de travaux. Anticipant des difficultés, le directeur d'unité avait alerté le CNRS sur les dangers de traiter à la légère les conditions de travail de près de la moitié du LIGM pendant deux ans, et cela avait été ainsi signalé dans sa lettre de mission. La direction du LIGM estime ne pas avoir du tout été écoutée par l'UPEM sur ce sujet. Autant il y a eu de nombreuses consultations, nécessaires et bien organisées, sur les conditions de travail après les travaux (répartition des bureaux avec les autres personnels de l'étage, installations, ...), autant toutes les tentatives d'aborder la question de la situation pendant les travaux étaient évacuées en quelques minutes malgré notre insistance. Grâce à l'intervention de l'INS2I, le directeur d'unité a été invité à consulter les réponses des entreprises, pour constater qu'aucune d'elle ne proposait de solution de relogement du laboratoire car il n'en était pas fait mention dans le cahier des charges : il avait été décidé que l'UPEM assurerait seule le déplacement de ses laboratoires, hors PPP. Peut-être que le choix d'économiser au maximum sur nos conditions de travail était le meilleur possible, même si nous en doutons fortement. Notre source de mécontentement est que les décisions aient été prises sans prendre le temps de discuter avec nous pour savoir comment nous travaillons au jour le jour, et pour identifier quels allaient être les impacts sur le laboratoire des solutions envisagées. Notons pour finir que c'est le seul dossier sur lequel nous ne nous sommes pas sentis suffisamment considérés, ayant eu un soutien fort de 1'UPEM sur tous les autres sujets.

4 Organisation et vie de l'unité

4.1 Pilotage, animation, organisation

4.1.1 Équipe de direction

| Séverine | ITRF UPEM | Gestionnaire |
|----------|---|---|
| Teresa | IR CNRS | Valorisation logicielle, communication |
| Patrice | IE UPEM | Ingénieur système (25% LIGM) |
| Laurence | AI CNRS | Gestionnaire de juil. 2014 à sept. 2015 |
| Éric | AGT ESIEE | Ingénieur système |
| Corinne | AI CNRS | Responsable administrative, ACMO |
| Brigitte | AJTP ENPC | Gestionnaire |
| Jamal | DR CNRS | Directeur adjoint |
| Cyril | PR UPEM | Directeur |
| Nathalie | ATP CNRS | Gestionnaire depuis sept. 2015 |
| | Teresa Patrice Laurence Éric Corinne Brigitte Jamal Cyril | Teresa IR CNRS Patrice IE UPEM Laurence AI CNRS Éric AGT ESIEE Corinne AI CNRS Brigitte AJTP ENPC Jamal DR CNRS Cyril PR UPEM |

^(*) le directeur et directeur adjoint apparaissent également dans leurs équipes de recherche.

À ce jour, il y a donc quatre permanents dans l'équipe administrative, et deux dans l'équipe technique (qui partagent leur travail sur plusieurs laboratoires et composantes). La situation s'est grandement améliorée grâce à l'aide récente du CNRS : nous avions une gestionnaire de moins en 2013. Le secrétariat est maintenant opérationnel mais sans marge de manœuvre; dès qu'il y a la moindre situation inhabituelle (comme le déménagement de Copernic, voir chapitre précédent), les personnels sont beaucoup trop sollicités et on arrive vite à saturation.

Pour les services techniques, c'est également suffisant au quotidien, mais cela ne laisse aucune place pour des développements ambitieux (maintenance de serveurs par exemple) sans qu'ils soient gérés par les chercheurs eux-même.

Enfin, l'équipe de direction, essentiellement basée dans les locaux de l'UPEM, est assistée d'un correspondant ENPC, Renaud Marlet (DR) et d'un correspondant ESIEE, Michel Couprie (PR), tous deux membres de l'équipe A3SI du laboratoire.

4.1.2 Pilotage, prises de décision

Conseil de laboratoire

Le LIGM possède un conseil de laboratoire (ou conseil d'unité) de 15 membres, constitué selon les règles du CNRS, avec plus de la moitié de membres élus et le reste nommés par le directeur d'unité. Il a été reconstitué en janvier 2015 à la prise de fonction de Cyril Nicaud, et a été peu modifié depuis, avec seulement le remplacement d'un départ chez les permanents, et le remplacement en cours de la représentante des doctorants. Après les élections, les membres nommés ont été choisis pour assurer une bonne représentation des différentes équipes et des tutelles, avec aussi la volonté d'intégrer des jeunes collègues dans les instances de prises de décision.

Le conseil de laboratoire actuel est ainsi constitué :

- Membres élus: Venceslas Biri (Pr UPEM, A3SI), Claire David (MdC UPEM, MoA), Laurent George (Pr ESIEE, LRT), Samuele Giraudo (MdC UPEM, COMBI) Jean-Yves Thibon (Pr UPEM, COMBI), Stéphane Vialette (DR CNRS, MOA), Elodie Puybareau (doctorante, A3SI, en cours de remplacement) et Corinne Palescandolo (AI CNRS, équipe de direction).
- Membres nommés: Michel Couprie (Pr ESIEE, A3SI), Walid Hachem (DR CNRS, Signal), Tita Kiriacopoulou (Pr UPEM, MoA), Renaud Marlet (DR ENPC, A3SI), Jamal Najim (DR CNRS, Signal) et Abderrezak Rachedi (MdC UPEM, LRT).
- Membre de droit : Cyril Nicaud (Pr UPEM, DU).

Le conseil de laboratoire se réunit de nombreuses fois dans l'année, selon les calendriers des différents appels et selon les besoins généraux de prises de décisions, qui sont nombreux. Volontairement, les séances ne sont pas trop longues, entre une heure et une heure trente. Beaucoup de discussions ont lieu avant et après les conseils, qui sont des occasions de se voir, pas si fréquentes pour certains en raison de la répartition sur les différents établissements. Un compte rendu de chaque conseil de laboratoire est diffusé à l'ensemble du LIGM.

Les principales décisions prises par le conseil de laboratoire concernent :

- les classements des candidats aux allocations doctorales;
- les classements des demandes de professeurs invités, de délégations CNRS, de stagiaires, ...
- les classements de BQR, de SuperBQR, de PEPS, ...
- les nominations de chefs d'équipes en cas de changement.

Le conseil de laboratoire a aussi un rôle central de relai de l'information. La direction prend le temps à chaque conseil d'informer sur les évenements qui concernent le LIGM directement ou indirectement (projets de site, DIM, travaux, ...). Réciproquement, il sert de prise de conseil et de lieu de concertation pour aider la direction à prendre des décisions, ou pour lui donner des éléments pour appuyer ses positions (typiquement lors de la question du passage en ZRR).

Les profils des postes sont également discutés en conseil de laboratoire, pour répertorier les besoins. Cependant c'est le bureau qui a le pouvoir décisionnel sur les profils de recherche des postes.

Bureau du conseil de laboratoire

C'est une structure qui regroupe le directeur, le directeur adjoint et les chefs d'équipes seulement. Elle se réunit rarement et à la demande du directeur d'unité.

Son principal rôle est de définir les profils de recherche des postes d'enseignants-chercheurs et de discuter des grandes orientations de politique scientifique du laboratoire, par exemple à l'occasion de la rédaction de la demande de moyen annuelle au CNRS.

La seule autre réunion du bureau pendant la période évaluée a été pour discuter de la position du LIGM concernant les promotions locales par article 46.3.

Utilisation des ressources propres

La gestion des moyens financiers attribués au laboratoire est centralisée au niveau de la direction. La plupart des décisions sont prises directement, sur simple demande, par le directeur ou son adjoint.

C'est ainsi que sont arbitrées les demandes de missions, les demandes exceptionnelles de gratification de stages (hors celles offertes par les tutelles), les achats de livres, de mobilier, de matériel informatique, de subvention d'événements, ... Il n'y a pas de budget attribué par équipe.

Le laboratoire ne prélève pas de pourcentage sur les projets. L'INS2I nous a incité à y réfléchir, et nous avons décidé de ne pas mettre en place un tel système. La règle explicite au niveau du laboratoire est de d'abord prendre sur ses projets avant de demander au LIGM.

Le nombre de projets toujours en cours au LIGM et les dotations de ses tutelles font qu'il n'y a aucune difficulté à fonctionner de cette façon : aucune demande de mission pour présenter un article n'a été refusée pendant la période, et de nombreuses missions non liées à des publications ont été acceptées. Sauf cas urgents, les demandes de matériel informatique sont regroupées au début de l'automne (quand nous avons une bonne visibilité sur ce qu'il reste des dotations) pour faire le point avec les chefs d'équipe avant de prendre les décisions.

Pour les gratifications de stage, le laboratoire contribue jusqu'à 3 stages de M1, selon les années, car il n'y a pas de mécanisme au niveau des tutelles pour les financer. Exceptionnellement, le laboratoire finance également des stages de M2, quand c'est pertinent.

Il y a eu trois autres utilisations des ressources propres :

- le recrutement de gestionnaires en CDD pour renforcer l'équipe administrative lors de congés maternité ou maladie (6 mois en 2013, 5 mois et demi en 2017);
- une dotation en 2017-2018 de 10 K€ au thème "traitement automatique des langues" pour qu'ils puissent recruter des stagiaires et les former à Unitex et aux autres plateformes qu'ils développent, cela étant jugé nécessaire pour que cette activité puisse perdurer;
- le financement depuis 2016 des *séjours courts d'été et d'automne* (voir), qui est le seul appel à projet interne (avec 100% d'acceptation jusqu'ici).

Evolutions dans le pilotage de l'unité

Recommandation AERES 2013

Avec la taille que le laboratoire a atteinte aujourd'hui et le départ des membres fondateurs historiques, il devient indispensable de formaliser les procédures de décision et d'anticiper sur les calendriers du conseil de laboratoire.

L'anticipation sur le calendrier n'a été faite que partiellement, les conseils de laboratoires se tenant plus en réaction au calendrier des différents appels que selon un planning fixée en début d'année. Après discussion en conseil de laboratoire, nous avons conservé ce principe de fonctionnement souple, principalement par pragmatisme, la plupart des dates butoirs des différents appels n'étant connues que très tardivement.

Pour la formalisation des procédures, de nombreuses actions ont été réalisées, notamment :

- formalisation du statut de membre associé, des démarches pour son obtention et pour son renouvellement;
- formalisation des demandes d'allocations doctorales, avec notamment la création d'une fiche utilisée en interne pour faire les classements;
- formalisation de l'attribution des gratifications de stages, avec une étape de concertation avec le responsable du master, puis une prise de décision en conseil de laboratoire;
- formalisation en 2017 du statut de publiant, début d'une procédure d'identification des chercheurs en difficulté et d'interactions avec eux pour décider de l'action à mener.

4.1.3 Organisation

Responsabilités et commissions internes

Recommandation AERES 2013

Le comité d'experts encourage la nouvelle direction à mettre en place des procédures plus formelles, par exemple via une restructuration en chargés de missions, création d'une cellule transversale d'appui à la recherche et d'un séminaire commun à l'ensemble du laboratoire.

Des efforts ont été effectués pour suivre ces recommandations du mieux possible. En ce qui concerne les procédures plus formelles, voir la section précédente pour le détail. Le fait de formaliser les demandes et les statuts a permis non seulement plus de transparence, mais aussi aux collègues de mieux cerner les attendus, par exemple pour les candidats à des allocations doctorales. Tout en adoptant une procédure légère, le bilan est très positif de notre point de vue.

Pour la structuration, nous ne l'avons fait que lorsque cela était nécessaire. Les chercheurs du laboratoire étant très sollicités et très impliqués dans différentes tâches administratives, il ne nous a pas été possible, ni souhaitable, d'ajouter des missions sauf quand c'était indispensable. Concrètement, le laboratoire a une responsable hygiène et sécurité (Corinne Palescandolo, AI CNRS, ACMO), une responsable communication (Teresa Gomez-Diaz, IR CNRS), un responsable bibliographie-HAL (Philippe Gambette, MdC UPEM), une responsable référencement et valorisation logicielle (Teresa Gomez-Diaz, IR CNRS) et un responsable formations (Takuya Nakamura, IE CNRS). À cela nous avons ajouté :

- une commission pour la gestion du suivi doctoral, constituée de Mohamed Akil (PR ESIEE),
 Éric Laporte (PR UPEM) et Arnaud Carayol (CR CNRS);
- une commission travaux et bureaux, constituée de Corinne Palescandolo (AI CNRS) et Carine Pivoteau (MdC UPEM).

Référencement et valorisation logicielle

La direction du laboratoire a donc confié à Teresa Gomez-Diaz la mission d'étudier les différentes possibilités pour remédier à la disparition de PLUME ¹ et proposer des alternatives à la gestion des logiciels du LIGM qui se basait sur cette plateforme. Étant donné la situation en France, nous avons placé cette mission dans un contexte européen. En effet, la prise de conscience internationale sur l'importance de la valorisation des données de la recherche et les questions juridiques (droits associés, licences) motivée par les évolutions des politiques de science ouverte a fait apparaître des nombreux projets (parfois en compétition) et ce paysage semblait plus propice pour traiter les questions sur les logiciels.

Après une étude des projets existants (principalement OpenAIRE, EUDAT, EGI, RDA...), Teresa Gomez-Diaz a mené le montage d'un projet européen (mars 2016, EINFRA-22) : SOL2020 qui a été bien évalué mais pas retenu en financement, et puis elle a participé a plusieurs propositions pour trouver des financements. Actuellement le projet FG-SOL mené par France Grilles avec la participation des laboratoires IdGC, CC-IN2P3, IPHC, CREATIS et LIGM, implémente des prototypes des services proposées en SOL2020 en France, en vue des évolutions et des collaborations dans un contexte plus large [C61].

Par ailleurs, le projet PRESOFT (Preservation for REsearch SOFTware) : Pérennisation du logiciel : Étude de l'implémentation de plans de gestion de logiciel dans les unités de recherche, porté par Geneviève Romier (CC-IN2P3) a été accepté pour financement par le IN2P3 et centre ses objectifs dans l'accompagnement des chercheurs et des unités pour mieux gérer leurs logiciels. Teresa Gomez-Diaz et Geneviève Romier ont proposé un modèle pour la préparation des plans

^{1.} https://projet-plume.org/LIGM

de gestion des logiciels de la recherche en mai 2018, modèle qui se finalise avec la réalisation de plusieurs plans de gestion au LIGM. Il s'agit maintenant de systématiser le recours à ses plans de gestion, ou au moins au référencement dans le laboratoire.

Accompagnement des carrières

L'accompagnement de carrière est réalisé par la direction et les chefs d'équipe. En plus, bien évidemment, de tous les conseils dispensés au quotidien par les collègues.

La direction du laboratoire reste vigilante sur les opportunités qui se manifestent, sur les stagnations de carrières, sur les absences de prise de risque, ... ceci de façon la plus individualisée possible. Cela est fait en coordination avec les chefs d'équipe, et en sollicitant les collègues directement (pour passer une habilitation, déposer un projet, demander une délégation, ...). Comme les dotations financières sont gérées de façon centralisée, la direction du laboratoire fait également attention à inciter les collègues qui ne font pas assez de demandes à en faire davantage.

La direction et la responsable administrative accompagne au mieux les personnels, en les aidant à faire leurs rapports d'activités, en les préparant pour les concours, en se renseignant sur les modalités de promotions, ... Il y a une frustration bien compréhensible des personnels devant la stagnation de leurs carrières, les possibilités de promotion étant vraiment réduites globalement.

Comme dans beaucoup d'autre laboratoires, cette mission d'accompagnement des carrières des chercheurs et enseignants-chercheurs est totalement intégrée comme étant primordiale pour la plupart des rang A du LIGM.

Concernant le retour en activité des quelques non-publiants du laboratoire, plusieurs discussions personnalisées ont été effectuées au début du mandat de Cyril Nicaud, sans avancées notables constatées.

En 2017, il a donc été décidé de formaliser davantage la procédure en commençant par formaliser l'appellation "non-publiant". Les règles ont été définies avec l'aide de l'INS2I, puis ont été communiquées pour avis aux autres tutelles. Nous avons ensuite informé tout le laboratoire en mai 2017, pendant que le conseil de laboratoire a identifié les collègues qui n'atteignaient pas les minima pour être considérés comme publiants. Chaque chef d'équipe concerné a ensuite fait un point individuel avec eux, pour faire un bilan de leur situation et de leur motivation. Différentes collaborations en interne ont alors été proposées pour guider la reprise d'activité.

Un an après en 2018, cela commence à porter ses fruits pour certains, mais évidemment pas pour tous. Nous avons décidé de reparler de la pertinence de rester dans le laboratoire pour ceux qui ne sont pas en reprise d'activité à la fin 2018, après le rendu de ce rapport, pour ne pas corréler les deux événements.

4.1.4 Animation

Assemblées générales

Ce n'était pas une habitude au LIGM, mais depuis 2015 la nouvelle direction a organisé chaque année, à la rentrée, une assemblée générale du laboratoire. Il s'agit principalement de présenter les nouveaux arrivants, et de faire le point sur la situation et sur les grandes orientations du laboratoire. Notamment, une grande partie des discussions ont porté sur les changements institutionnels (fusion avec l'UPEC, passage ou non en ZRR, projet I-SITE, projet EUR, création de l'U-Cible, ...).

Nous avons également fait une AG spécifique pour discuter de la fusion avec l'UPEC, qui n'a finalement pas eu lieu et pour discuter des travaux dans Copernic (voir les faits marquants).

Enfin, chaque année nous nous réunissons pour la galette des rois en janvier et le barbecue de juillet.

Séminaires et groupe de travail

Nous avons essayé de suivre la recommandation de l'AERES et d'organiser un séminaire pour tout le laboratoire (voir plus haut). Il s'agissait d'inviter tous les deux mois un collègue prestigieux pour faire un exposé grand public. Cependant devant le peu de collègues présents dans l'auditoire, nous n'avons pas continué ce séminaire et n'avons pas, à l'heure actuelle, de solution satisfaisante pour ce type d'animation à l'échelle de tout le laboratoire.

Chaque équipe a donc son séminaire ou groupe de travail, le plus souvent hebdomadaire, sauf pour l'équipe Signal (voir dans la partie du rapport spécifique à cette équipe). L'organisation de ces événements varie fortement selon les équipes, mais ils sont tous très actifs et régulièrement suivis. Il y a également un groupe de travail régulier, transverse, entre mathématiques et informatique, organisé avec le LAMA dans le cadre du Labex Bézout.

Animation doctorale

Recommandation AERES 2013

Enfin, il faut reprendre la main sur le suivi des doctorants. Il repose essentiellement sur chaque équipe ou directement sur l'École Doctorale. Mettre en place une dynamique au niveau du laboratoire permettrait d'uniformiser les pratiques et de créer un véritable sentiment d'appartenance commun.

Le laboratoire a créé un commission de suivi des doctorants. Cette commission est chargée de créer des comités individuels pour chaque doctorant, comprenant notamment un membre extérieur à l'établissement et un membre d'une autre équipe. Cela permet d'une part de vérifier que le doctorat se déroule correctement, mais aussi d'apporter de nouvelles idées générales (voyager davantage par exemple) au doctorant. Enfin, la participation d'un membre du LIGM extérieur aux thématiques de la thèse développe indirectement une meilleure connaissance des activités de recherches effectuées dans le laboratoire.

A3SI organise également un séminaire des doctorants de l'équipe qui leur permet de mieux se connaître, ce qui est très profitable pour une équipe répartie sur trois bâtiments. Des discussions sont en cours pour faire de même dans l'équipe LRT, qui souffre aussi de la séparation de l'équipe.

Enfin, la direction du laboratoire a essayé de créer un comité d'animation doctorale, géré par les doctorants, muni d'un budget propre, pour organiser des actions afin qu'ils se connaissent mieux et développent un meilleur sentiment d'appartenance au même laboratoire. Malheureusement, malgré plusieurs sollicitations, il n'y a jamais eu de volontaires pour cette animation.

4.2 Parité, intégrité, protection et sécurité

4.2.1 Protection et sécurité

Corinne Palescandolo est responsable hygiène et sécurité du laboratoire et s'occupe également de tout ce qui est prévention. Elle est assisté de Séverine Giboz et Nathalie Rousseau pour certaines missions, notamment les évacuations du bâtiment Copernic.

Pour les missions, le laboratoire s'appuie sur les fonctionnaires sécurité défense des différentes tutelles, notamment du CNRS. Un travail de sensibilisation constant est réalisé au niveau de l'équipe administrative et de la direction pour que les collègues s'occupe suffisamment en avance des risques liés à leurs déplacements.

Pour la protection informatique, le laboratoire s'appuie sur les services informatiques des différentes tutelles. Il est régulièrement rappelé aux chercheurs qu'ils doivent crypter leur données et éviter d'utiliser des logiciels mis à disposition par des entreprises privées pour manipuler des données relevant de leur travail (email professionnels par exemple), avec un succès mitigé.

Dans le cadre de sa mission ACMO, Corinne Palescandolo conseille le directeur d'unité sur tout ce qui concerne l'hygiène et la sécurité, les situations personnelles difficiles, les risques psychologiques, ... Un cahier est mis à disposition pour signaler d'éventuels problèmes, qui sont parfois juste signalés oralement à Corinne Palescandolo ou au directeur.

Le climat de confiance générale qu'il y a au sein du laboratoire, ainsi que la vigilance et la qualité d'écoute de Corinne Palescandolo, nous on permis de repérer rapidement et de traiter au mieux les quelques difficultés qui ont été rencontrées ces dernières années. Ceci en coordination avec les organismes employeurs.

4.2.2 Intégrité

Nous sommes fermement convaincus que le meilleur moyen de diffuser les règles déontologique, une fois clairement formulées, reste les interactions au quotidien entre les chercheurs. Le directeur d'unité, tout comme la plupart des membres plus seniors du laboratoire, sont souvent sollicités sur des points précis de déontologie ou de bonnes pratiques.

Pour le cadrage et les principaux guides sur ces thèmes, le LIGM s'appuie sur les documents produits par le CNRS. Certaines communautés scientifiques sont déjà organisées au niveau international avec, par exemple, des détections de plagiats, mais nous ne pensons vraiment pas qu'il soit souhaitable, ni utile, de mettre en place ce genre d'instrument au niveau d'un laboratoire. Aucun problème de ce type ne s'est manifesté.

4.2.3 Parité

Il y a peu de femmes au LIGM, et globalement dans la discipline. Cela se voit également sur le très faible nombre de candidatures féminines sur les postes de chercheurs et d'enseignants-chercheurs.

Globalement, il y a 18% de femmes au LIGM, avec une répartition disparate selon les équipes : 11% dans A3SI, 0% dans COMBI, 20% dans LRT, 24% dans MOA et 67% dans l'équipe de direction (hors directeur et directeur adjoint). Le plus significatif est probablement au niveau des fonctions, puisque qu'il n'y a qu'une chercheuse (soit 5% des chercheurs) au laboratoire, alors qu'il y a 21% de femmes parmi les enseignants-chercheurs.

De plus l'effet "plafond de verre" est très visible, avec seulement deux femmes rang A dans le laboratoire. Même si Marie-Pierre Béal a assuré la direction du LIGM jusque fin 2014, les responsabilités de recherche (chefs d'équipe, etc.) restent presqu'exclusivement masculine de ce fait.

5 Analyse SWOT

5.1 Points forces

- Une qualité scientifique internationalement reconnue, dans toutes les équipes du laboratoire : publications dans les meilleurs journaux et conférences, participation à de nombreux comités éditoriaux et programme de conférences, ...
- Une attractivité en hausse, avec de plus en plus d'excellents candidats sur les offres de postes, et une internationalisation des recrutements. Il y a eu quatre affectations de chercheurs CNRS au laboratoire ces trois dernières années.
- Une collaboration importante avec le LAMA, qui continue à se développer, et qui est riche de possibilités. Cela a également amélioré notre attractivité dans les thématiques proches des mathématiques.
- Une forte implication locale et nationale, qui se traduit par un laboratoire très bien ancré dans son environnement. Des responsabilités à la présidence de l'UPEM, à la direction de l'ESIEE, à l'INS2I, aux CoNRS, aux CNUs, ...
- Des tutelles très favorables à la recherche qui accompagnent au mieux le développement du laboratoire bien qu'ayant des façons de fonctionner très variées.
- Un spectre thématique large, avec des recherches les plus amonts jusqu'aux plus appliquées. Un climat de confiance général dans le laboratoire permet à des cultures scientifiques différentes de cohabiter en bonne intelligence, même lors des arbitrages délicats.

5.2 Points à améliorer

- Les locaux du laboratoire sont répartis sur trois bâtiments, ce qui malgré des efforts pour améliorer la cohésion (voir les parties sur les équipes A3SI et LRT) reste un handicap sérieux pour le LIGM.
- Les fonctionnements variés des tutelles et le peu de visibilité dans les ouvertures ou republication de postes rendent la politique scientifique difficile. Pour effectuer des repositionnements thématiques il faudrait avoir une visibilité sur les postes à plus que quelques mois.
- Il y a beaucoup trop de responsabilités à assurer pour les maîtres de conférences en raison

- notamment d'un déficit de rang A, beaucoup d'entre eux étant accaparés par des hautes responsabilités ou noyés dans la préparation des continuelles restructurations académiques.
- On peut également ajouter, dans le même ordre d'idée, une gestion difficile et chronophage des ressources (allocations doctorales, etc.) en raison de la multiplication de guichets.
- Une grande partie des thèmes du laboratoire ont difficilement accès à des étudiants du site suffisamment préparés pour faire un doctorat. Ils doivent aller enseigner dans d'autres Masters pour recruter des doctorants. Il y a un décalage entre les spécialités les plus théoriques du laboratoire et les formations dispensées, dont l'objectif premier, par ailleurs indiscutable, est de former les 95% d'étudiants qui vont aller travailler dans le secteur privé. L'efficacité des actions en cours pour améliorer la situation est difficile à évaluer, il faudra développer l'attractivité des nouveaux parcours sur le long terme.

5.3 Risques liés au contexte

- Bien qu'ayant eu une politique active de renforcement des équipes, certains équilibres restent fragiles et nécessitent une grande vigilance. En particulier, de nombreux départs dans les prochaines années risquent de fortement déstabiliser l'équipe A3SI.
- Une majeure partie du laboratoire ne se reconnaît pas dans les thématique de l'I-SITE FUTURE, et il y a une tentation locale des tutelles ou d'UPE d'infléchir les activités de recherche vers les thèmes de la ville. Notamment il ne faudrait pas imposer un axe thématique fort sur les allocations doctorales gérées par l'École Doctorale MSTIC.
- La création de l'U-Cible, avec une redéfinition du fonctionnement de la recherche pour les tutelles employant le plus de membres du laboratoire est une menace certaine. La confusion fréquente entre l'U-Cible et l'I-SITE même à haut niveau de responsabilités augmente d'autant plus notre inquiétude.

5.4 Possibilités liées au contexte

- Les départs prévus dans A3SI, s'ils sont bien remplacés, ouvrent des opportunités pour repositionner l'activité en y intégrant davantage d'apprentissage et de science des données (voir projet scientifique).
- L'activité d'une partie du laboratoire est naturellement en adéquation avec les thèmes de l'I-SITE et peut profiter d'un effet de levier important pour se développer.
- Le développement d'un véritable parcours de recherche mathématiques et informatique, si on arrive à le rendre attractif, ouvre des perspectives pour former des étudiants plus en adéquation avec une importante partie des recherches effectuées au laboratoire.

6 Projet à cinq ans

Continuer le travail de consolidation

Le renforcement des thématiques isolées et la pérennisation des axes forts du laboratoire restera une priorité. Dans un contexte de plus en plus compétitif, avec des restructurations de la recherche au niveau national qui peuvent tout changer en peu de temps, il faut d'une part pouvoir encaisser les éventuels départs en mutation, et d'autre part être suffisamment attractif pour toujours pouvoir recruter des chercheurs de tout premier plan. Cela ne peut pas se faire durablement sans avoir atteint une certaine masse critique, et c'est donc une direction dans laquelle nous souhaitons continuer tout au long des cinq prochaines années.

S'intégrer dans les projets locaux tout en conservant son identité

C'est un des grands défis des années qui viennent. Comme cela a été évoqué plus haut, l'I-SITE FUTURE et la création de la nouvelle université est à la fois une grande opportunité et une menace. Trouver sa juste place ne sera pas facile, peser sur les décisions est certainement possible, mais il y aura fort à faire de la part de la nouvelle direction pour que tout se passe au mieux.

Développer les sciences des données

L'utilisation des techniques modernes d'apprentissage a pris de l'ampleur au laboratoire, notamment dans l'équipe A3SI. C'est une direction naturelle d'accentuer ces développements, notamment en profitant des nombreux postes laissés vacants dans l'équipe A3SI, s'ils sont bien remis aux concours. Avoir plusieurs postes en peu de temps est une opportunité qui permet d'être attractif sur un thème où les excellents candidats sont très sollicités. Il faudra bien préparer les recrutements pour créer une dynamique cohérente. L'arrivée d'enseignants-chercheurs dans ces domaines serait également un avantage pour nos formations de master, qu'il devient nécessaire de renforcer sur ces sujets.

Renforcer les liens avec le CERMICS et le LAMA

Le travail effectué avec les laboratoires de mathématiques du site, catalysé par le Labex Bézout, est une de nos forces. Scientifiquement, cela a apporté des collaborations d'excellente qualité, et cela a significativement augmenté l'attractivité du laboratoire. Nos collègues mathématiciens, de par leur façon d'appréhender le travail de recherche, sont de plus des alliés naturels pour nous aider à ce que nous nous retrouvions dans les nouveaux environnements qui sont en train de se dessiner. Même si le projet EUR qui va être déposé à nouveau n'est pas retenu, il contient de nombreuses idées que l'on peut mettre en application sans financement.

7 Annexes laboratoire

Ce chapitre comporte les annexes demandées pour le laboratoire :

- la lettre de mission;
- les équipements et plateformes;
- l'organigramme;
- sélection des produits et des activités de recherche.











Monsieur Cyril NICAUD Directeur du LIGM UMR 8049 Cité Descartes, Bâtiment Copernic 5, bd Descartes Champs sur Marne 77454 MARNE-LA-VALLEE CEDEX 2

Réf. INS2I-D-2015-30

Paris, le 1^{er} avril 2015

Cher Collègue,

Vous avez accepté de prendre en janvier 2015 la direction du LIGM, UMR 8049, sous la cotutelle de l'Université Paris-Est Marne-La-Vallée, du CNRS, de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées et de l'ESIEE. Ces quatre tutelles sont conscientes des efforts que réclame la fonction de directeur d'unité ainsi que du sens collectif qu'elle exige. Nous souhaitons, par ce courrier, vous encourager dans votre tâche et vous accompagner en ce début de mandat, en précisant les points qui nous semblent importants dans le cas de votre unité de recherche

Le LIGM jouit d'une excellente reconnaissance scientifique au niveau régional, national et international sur ses thématiques historiques mais il convient de veiller à maintenir et renforcer la cohérence, l'identité et la dynamique scientifique de l'unité pour asseoir son rayonnement et son attractivité. L'ensemble des forces de l'unité doit être mis au service de cette ambition.

Sur le *plan scientifique*, il est essentiel de poursuivre la construction d'une identité commune en dépit de la dispersion géographique et de l'isolement de certaines équipes. Il s'agit de développer une politique scientifique ambitieuse en favorisant l'émergence de nouveaux projets, en incitant les membres à s'impliquer dans les projets nationaux et européens ainsi qu'en renforçant l'attractivité et le rayonnement de l'unité au plan national et international.

Il s'agit aussi de garantir la *gestion administrative, financière et technique* de l'unité en poursuivant l'effort de réorganisation des moyens administratifs et techniques qui a été entamé, en cherchant à minimiser l'impact de la dispersion de l'unité sur 3 sites différents. Il faudra également être attentif aux risques liés à une éventuelle diminution du volume de contrats.

Comme souligné dans le dernier rapport de l'AERES, des procédures rigoureuses de *gouvernance* doivent être instaurées pour que le fonctionnement de l'unité ne dépende pas exclusivement de la bonne entente qui règne actuellement en son sein.

Deux éléments de contexte vont en outre demander une attention particulière :

- La restauration prochaine du bâtiment Copernic va imposer de reloger une partie importante du LIGM pendant une période assez longue (plus d'une année) : il faudra s'assurer avec les tutelles que les conditions de travail pendant cette période ne nuisent pas au fonctionnement de l'unité et à sa production scientifique.
- Dans le contexte nouveau de la Comue UPE, il convient par ailleurs de chercher les meilleures synergies et d'anticiper l'impact que peut avoir l'éventuelle fusion des Universités Paris-Est Marne La Vallée et Créteil sur le programme scientifique et le mode de fonctionnement du LIGM. Toute réorganisation importante doit être conduite en concertation avec les tutelles de l'unité et au bénéfice de la dynamique scientifique globale.

En prenant la direction de l'unité, vous avez accepté la charge de coordonner, en liaison constante avec ses membres, l'évolution scientifique du LIGM et vous prenez la responsabilité administrative de son personnel ainsi que de l'exécution de son budget. Ce sont là des tâches lourdes dont nous connaissons la difficulté. Vos cotutelles seront à vos côtés pour cette mission et elles restent à votre disposition pour répondre à vos éventuelles questions. Nous vous invitons notamment à suivre avec attention toutes les offres de formation qui vous seront adressées dans le cadre du parcours de formation des directeurs et directrices d'unité mis en place par le CNRS.

En conclusion, nous souhaitons vous remercier d'avoir accepté de prendre la direction du LIGM. Nous sommes convaincus que vous saurez créer une nouvelle dynamique scientifique en vous appuyant sur les forces vives de l'unité et que vous pourrez ainsi assurer son rayonnement.

Nous vous prions de croire, cher Collègue, à l'assurance de notre considération la meilleure,

Damien LAMBERTON

Vice-Président Recherche

Université Paris-Est Marne La Vallée

Jean MAIRESSE

Directeur Adjoint Scientifique

CENTRE NATIONAL
de la
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
3, rue Michel-Ange
75794 PARIS cedex 16

CNRS / INS2I

Françoise Preteux

Directrice de la recherche

Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

Tarik Bourouina

Directeur de la recherche

ESIEE

7.1 Annexe 2 : matériel et plateformes

Postes de travail

Chaque membre du laboratoire dispose d'un ordinateur fixe, sauf ceux qui n'en ont pas l'utilité. Ces ordinateurs sont pour la plupart des Dell sous Linux, et de puissances variables selon leur ancienneté (et selon les besoins). Ils sont renouvelés relativement régulièrement.

Le laboratoire propose des ordinateurs portables à tous ses membres permanents, en leur demandant toutefois de les commander prioritairement sur leurs contrats, quand ils en ont. Ces ordinateurs sont presque tous des Dell sous Linux ou des Apple Macintosh sous macOs.

Le LIGM ne peut pas acheter un ordinateur portable pour chaque doctorant, nous avons donc mis en place un système de prêt en achetant 4 machines et en commençant à collecter les anciens ordinateurs quand ils sont remplacés.

Equipements spécifiques

Les équipes du laboratoires disposent aussi de plusieurs équipements spécifiques. Parmi ceux-là les plus notables sont les suivants :

- un Blade center 18 lames, 180 cœurs, 8 To disque, 568 Go RAM;
- 2 serveurs de calcul Dell, 16 coeurs x 3.3GHz, 198Go RAM;
- 1 serveur Dell PowerEdge T110 II, 4 cœurs x 3.3GHz, 16 Go RAM;
- 2 serveurs de calculs Dell Intel Xeon V4 16 coeurs, 256 Go RAM;
- 11 machines dédiées au deep learning, avec (quasiment) 4 GPU par machine;
- une salle de réalité virtuelle à l'ESIEE;
- un scanner laser Faro Focus 3D.

Laboratoire d'informatique Gaspard-Monge (UMR 8049) Organigramme

Équipe administrative

Responsable : Corinne Palescandolo Gestion CNRS et UPEM : Nathalie Rousseau

Gestion UPEM : Séverine Giboz Gestion ENPC : Brigitte Mondou

Logistique

Patrice Hérault, Éric Llorens

Correspondants

- Assistante prévention :

Corinne Palescandolo

- Bibliographie : Antoine Meyer
- Bibliothèque : Takuya Nakamura
- Communication : Teresa Gomez-Diaz
- Formation : Takuya Nakamura
- HAL: Philippe Gambette
- Logiciels : Teresa Gomez-Diaz
- Projets H2020 : Teresa Gomez-Diaz
- Séminaire :

Anthony Labarre Johan Thapper

- Web: Philippe Gambette

Directeur : Cyril Nicaud

Directeur adjoint : Jamal Najim

Responsable administrative: Corinne Palescandolo

Équipes de recherche

Algorithmes, Architectures, Analyse et Synthèse d'Images

- Responsable : Michel Couprie

- Responsable adjoint : Renaud Marlet

- Technicien : Éric Llorens

Combinatoire algébrique et calcul symbolique

- Responsable : Jean-Yves Thibon

Modèles et Algorithmes

- Responsable : Stéphane Vialette
- Responsable adjoint : Arnaud Carayol
- Gestion ressources linguistiques : Takuya Nakamura

Logiciels, Réseaux et Temps Réel

- Responsable : Laurent George
- Responsable adjoint : Rami Langar

Signal et communications

- Responsable : Jamal Najim

7.2 Annexe 4 : sélection des produits et des activités de recherche

Dans toute cette partie, qui présente l'annexe 4 du laboratoire, nous avons veillé à effectuer une sélection dans chacune des rubriques, pour ne présenter que nos contributions les plus notables et les plus pertinentes. De nombreux autres produits et activités de la recherche, jugés plus secondaires, ne sont donc pas listés ci-dessous. Pour ne pas être trop redondants avec les annexes des équipes, nous nous sommes abstenus de faire une sélection générale quand elle n'avait que peu de sens (par exemple, pour les professeurs invités) et renvoyons aux détails sont donnés dans l'annexe de chaque équipe.

7.2.1 Production de connaissances, rayonnement et attractivité scientifique

Remarque : nous avons choisi de sélectionner 20% globalement sur toutes les publications du laboratoire, en nous concentrant sur les articles de journaux et de conférences, et non 20% par type de publication.

7.2.1.1 Journaux / Revues

Articles scientifiques (448 au total)

- [J1] Yasmina Abdeddaïm, Younès Chandarli, Robert I. Davis, and Damien Masson. Response time analysis for fixed priority real-time systems with energy-harvesting. *Real-Time Systems*, 52(2):125–160, 2016.
- [J2] Mika Amit, <u>Maxime Crochemore</u>, Gad Landau, and Dina Sokol. Locating maximal approximate runs in a string. *Theoretical Computer Science*, 700:45–62, 2017.
- [J3] Ignacio Araya and **Bertrand Neveu**. Ismear: a variable selection strategy for interval branch and bound solvers. *Journal of Global Optimization*, 71(3):483–500, 2017.
- [J4] Ignacio Araya, Gilles Trombettoni, <u>Bertrand Neveu</u>, and Gilles Chabert. Upper bounding in inner regions for global optimization under inequality constraints. *Journal of Global Optimization*, 60(2):145–164, 2014.
- [J5] Golnaz Badkobeh and Maxime Crochemore. Computing maximal-exponent factors in an overlap-free word. *J. Comput. Syst. Sci.*, 82(3):477–487, 2016.
- [J6] Nejmeddine Bahri, Imen Werda, Thierry Grandpierre, Mohamed Ali Ben Ayed, Nouri Masmoudi, and Mohamed Akil. Optimizations for real-time implementation of H264/AVC video encoder on DSP processor. International Review on Computers and Software (IRECOS), 8(9):2025–2035, 2013.
- [J7] Jan Bartovsky, Petr Dokládal, **Eva Dokladalova**, Michel Bilodeau, and **Mohamed Akil**. Real-time implementation of morphological filters with polygonal structuring elements. *Journal of Real-Time Image Processing*, 10(1):175–187, 2015.
- [J8] Jan Bartovsky, Petr Dokládal, Matthieu Faessel, <u>Eva Dokladalova</u>, and Michel Bilodeau. Morphological co-processing unit for embedded devices. *Journal of Real-Time Image Processing*, pages pp. 1–12, 2015.
- [J9] Frédérique Bassino, Armando Martino, <u>Cyril Nicaud</u>, Enric Ventura, and Pascal Weil. Statistical properties of subgroups of free groups. *Random Structures and Algorithms*, 42:349–373, 2013.
- [J10] Marie-Pierre Béal and Dominique Perrin. A quadratic algorithm for road coloring. *Discrete Applied Mathematics*, 169(-):15–29, 2014.
- [J11] <u>Walid Behiri</u>, Sana Belmokhtar-Berraf, and <u>Chengbin Chu</u>. Urban freight transport using passenger rail network: Scientific issues and quantitative analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 115:227 245, 2018.

- [J12] <u>Jean-François Bercher</u>. On multidimensional generalized Cramér-Rao inequalities, uncertainty relations and characterizations of generalized *q*-Gaussian distributions. *Journal of Physics A : Mathematical and Theoretical*, 46(9):095303.1–095303.18, 2013.
- [J13] <u>Jean-François Bercher</u>. On generalized Cramér-Rao inequalities, and an extension of the Shannon-Fisher-Gauss setting. In *New Perspectives on Stochastic Modeling and Data Analysis*, pages 19–35. ISAST, 2014.
- [J14] Valérie Berthé, Clelia De Felice, <u>Francesco Dolce</u>, Julien Leroy, <u>Dominique Perrin</u>, Christophe Reutenauer, and Giuseppina Rindone. Acyclic, connected and tree sets. *Monatshefte für Mathematik*, page 521–550, 2015.
- [J15] Valérie Berthé, Vincent Delecroix, <u>Francesco Dolce</u>, <u>Dominique Perrin</u>, Christophe Reutenauer, and Giuseppina Rindone. Return words of linear involutions and fundamental groups. *Ergodic Theory and Dynamical Systems*, 37:693–715, 2017.
- [J16] <u>Gilles Bertrand</u> and <u>Michel Couprie</u>. Isthmus based parallel and symmetric 3d thinning algorithms. *Graphical Models*, 80:1–15, 2015.
- [J17] Pascal Bianchi, <u>Walid Hachem</u>, and Adil Salim. A constant step Forward-Backward algorithm involving random maximal monotone operators. *Journal of Convex Analysis*, 2018.
- [J18] **Philippe Biane**. Orthogonal polynomials on the unit circle, q-Gamma weights, and discrete Painlevé equations. *Moscow mathematical journal*, 14(1):1–27, 2014.
- [J19] <u>Philippe Biane</u> and Guillaume Chapuy. Laplacian matrices and spanning trees of tree graphs. *Annales de la Faculté des Sciences de Toulouse. Mathématiques.*, 26:235 261, 2017.
- [J20] Olivier Bouillot. On Hurwitz multizeta functions. *Advances in Applied Mathematics*, 71:68 124, 2015.
- [J21] Alexandre Boulch, Martin De La Gorce, and Renaud Marlet. Piecewise-planar 3d reconstruction with edge and corner regularization. *Computer Graphics Forum*, 33(5):55–64, 2014.
- [J22] <u>Alexandre Boulch</u>, Simon Houllier, <u>Renaud Marlet</u>, and Olivier Tournaire. Semantizing complex 3d scenes using constrained attribute grammars. *Computer Graphics Forum*, 32(5):33–42, 2013.
- [J23] <u>Alexandre Boulch</u> and <u>Renaud Marlet</u>. Deep learning for robust normal estimation in unstructured point clouds. *Computer Graphics Forum*, 35(5):281 290, 2016.
- [J24] Nicolas Boutry, Thierry Géraud, and Laurent Najman. A tutorial on well-composedness. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 60(3):443–478, 2018.
- [J25] <u>Stéphane Breuils</u>, <u>Vincent Nozick</u>, and Laurent Fuchs. A geometric algebra implementation using binary tree. *Advances in Applied Clifford Algebras*, 1:1–19, 2017.
- [J26] Karel Břinda, Valentina Boeva, and <u>Gregory Kucherov</u>. Rnf: a general framework to evaluate ngs read mappers. *Bioinformatics*, 32(1):136–139, 2016.
- [J27] <u>Laurent Bulteau</u>, Guillaume Fertin, and Christian Komusiewicz. (prefix) reversal distance for (signed) strings with few blocks or small alphabets. *Journal of Discrete Algorithms*, 37:44–55, 2016.
- [J28] <u>Laurent Bulteau</u>, Guillaume Fertin, and Eric Tannier. Genome rearrangements with indels in intergenes restrict the scenario space. *BMC Bioinformatics*, 17:426–433, 2016.
- [J29] Norbert Bus, Shashwat Garg, Nabil Mustafa, and Saurabh Ray. Limits of local search: Quality and efficiency. Discrete and Computational Geometry, 2017.
- [J30] Norbert Bus, Nabil Mustafa, and Venceslas Biri. Global illumination using well-separated pair decomposition. *Computer Graphics Forum*, 34(8):88 103, 2015.

- [J31] Norbert Bus, Nabil Mustafa, and Venceslas Biri. IlluminationCut. Computer Graphics Forum, 34(2):561 573, 2015.
- [J32] Rosa Cetro, Marc M. Barbier, Philippe P. Breucker, Hilde Eggermont, Philippe Gambette, Tita Kyriacopoulou, Xavier Le Roux, Claude Martineau, and Nicolas N. Turenne. Vers une approche semi-automatique pour la définition de motifs d'argumentation utilisés dans les résumés de projets scientifiques du domaine de la biodiversité. Revue des Nouvelles Technologies de l'Information, RNTI-SHS-2:47–80, 2014.
- [J33] **Sylvain Cherrier** and Yacine Ghamri-Doudane. Fault-recovery and coherence in internet of things choreographies. *International Journal of Information Technologies and Systems Approach*, 10(2), 2017.
- [J34] Sylvain Cherrier, Ismail Salhi, Yacine Ghamri-Doudane, Stéphane Lohier, and Philippe Valembois. BeC3: Behaviour Crowd Centric Composition for IoT applications. Springer Mobile Networks and Applications (MONET) Journal, 19(1):18–32, 2014.
- [J35] <u>Giovanni Chierchia</u>, Mireille El Gheche, Giuseppe Scarpa, and Luisa Verdoliva. Multitemporal sar image despeckling based on block-matching and collaborative filtering. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(10):5467 5480, 2017.
- [J36] Giovanni Chierchia, Nelly Pustelnik, <u>Jean-Christophe Pesquet</u>, and Béatrice Pesquet-Popescu. Epigraphical splitting for solving constrained convex optimization problems with proximal tools. *Signal, Image and Video Processing*, 9(8):1737–1749, 2015.
- [J37] Giovanni Chierchia, Nelly Pustelnik, Béatrice Pesquet-Popescu, and Jean-Christophe Pesquet. A non-local structure tensor based approach for multicomponent image recovery problems. *IEEE Transactions on Image Processing*, 23(12):5531–5544, 2014.
- [J38] Michel Chilowicz, Étienne Duris, and Gilles Roussel. Viewing functions as token sequences to highlight similarities in source code. *Science of Computer Programming*, 78(10):1871–1891, 2013.
- [J39] Emilie Chouzenoux, Anna Jezierska, Jean-Christophe Pesquet, and Hugues Talbot. A Convex Approach for Image Restoration with Exact Poisson-Gaussian Likelihood. SIAM Journal on Imaging Sciences, 8(4):2662–2682, 2015.
- [J40] <u>Emilie Chouzenoux</u> and <u>Jean-Christophe Pesquet</u>. A Stochastic Majorize-Minimize Subspace Algorithm for Online Penalized Least Squares Estimation. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 65(18):4770 4783, 2017.
- [J41] <u>Emilie Chouzenoux</u>, <u>Jean-Christophe Pesquet</u>, and <u>Audrey Repetti</u>. Variable metric forward-backward algorithm for minimizing the sum of a differentiable function and a convex function. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 162(1):107–132, 2014.
- [J42] <u>Éric Colin de Verdière</u>, Grégory Ginot, and <u>Xavier Goaoc</u>. Helly numbers of acyclic families. *Advances in Mathematics*, 253:163–193, 2014.
- [J43] Éric Colin de Verdière, Alfredo Hubard, and Arnaud de Mesmay. Discrete systolic inequalities and decompositions of triangulated surfaces. *Discrete and Computational Geometry*, 53(3):587–620, 2015.
- [J44] <u>Michel Couprie</u> and <u>Gilles Bertrand</u>. Asymmetric parallel 3d thinning scheme and algorithms based on isthmuses. *Pattern Recognition Letters*, 76:22–31, 2016.
- [J45] <u>Jean Cousty</u>, <u>Gilles Bertrand</u>, <u>Michel Couprie</u>, and <u>Laurent Najman</u>. Collapses and watersheds in pseudomanifolds of arbitrary dimension. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 50(3):261–285, 2014.
- [J46] **Jean Cousty**, **Laurent Najman**, **Yukiko Kenmochi**, and Silvio Guimarães. Hierarchical segmentations with graphs: quasi-flat zones, minimum spanning trees, and saliency maps. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 2017.

- [J47] <u>Maxime Crochemore</u>, Roberto Grossi, Juha Kärkkäinen, and Gad M. Landau. Computing the burrows-wheeler transform in place and in small space. *J. Discrete Algorithms*, 32:44–52, 2015.
- [J48] Maxime Crochemore and Robert Mercas. On the density of lyndon roots in factors. *Theor. Comput. Sci.*, 656:234–240, 2016.
- [J49] Wojciech Czerwiński, <u>Claire David</u>, Filip Murlak, and Pawel Parys. Reasoning about integrity constraints for tree-structured data. *Theory of Computing Systems*, 62(4):941–976, 2018.
- [J50] Boutheina Dab, Ilhem Fajjari, and <u>Nadjib Aitsaadi</u>. Online-batch joint routing and channel allocation for hybrid data center networks. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 14(4):831 846, 2017.
- [J51] Laurence Danlos, Quentin Pradet, Lucie Barque, <u>Takuya Nakamura</u>, and <u>Mathieu</u> Constant. Un verbenet du français. *Traitement Automatique des Langues*, 57(1):25, 2016.
- [J52] Robert Davis, Alan Burns, Sanjoy K. Baruah, Thomas Rothvoß, <u>Laurent George</u>, and Oliver Gettings. Exact comparison of fixed priority and EDF scheduling based on speedup factors for both pre-emptive and non-pre-emptive paradigms. *Real-Time Systems*, 51(5):566 601, 2015.
- [J53] Alemayehu Desta, Laurent George, Pierre Courbin, and Vincent Sciandra. Smoothing of renewable energy generation using Gaussian-based method with power constraints. *Energy Procedia*, 134:171 180, 2017.
- [J54] Olivier Devillers, Marc Glisse, <u>Xavier Goaoc</u>, and Rémy Thomasse. Smoothed complexity of convex hulls by witnesses and collectors. *Journal of Computational Geometry*, 7(2):101–144, 2016.
- [J55] <u>Clément Farabet</u>, Camille Couprie, <u>Laurent Najman</u>, and Yann Lecun. Learning hierarchical features for scene labeling. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 35(8):1915 1929, 2013.
- [J56] Aniello Fiengo, Giovanni Chierchia, Marco Cagnazzo, and Béatrice Pesquet-Popescu. Rate allocation in predictive video coding using a convex optimization framework. *IEEE Transactions on Image Processing*, 26(1):479 489, 2017.
- [J57] Loïc Foissy, <u>Jean-Christophe Novelli</u>, and <u>Jean-Yves Thibon</u>. Polynomial realizations of some combinatorial Hopf algebras. *Journal of Noncommutative Geometry*, 8(1):141–162, 2014.
- [J58] <u>Raghudeep Gadde</u>, Varun Jampani, <u>Renaud Marlet</u>, and Peter Gehler. Efficient 2d and 3d facade segmentation using auto-context. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 40(5):1273–1280, 2018.
- [J59] <u>Raghudeep Gadde</u>, <u>Renaud Marlet</u>, and <u>Nikos Paragios</u>. Learning grammars for architecture-specific facade parsing. *International Journal of Computer Vision*, 117(3):290–316, 2015.
- [J60] Philippe Gambette, Leo Van Iersel, Mark Jones, Manuel Lafond, Fabio Pardi, and Celine Scornavacca. Rearrangement moves on rooted phylogenetic networks. *PLoS Computational Biology*, 13(8):e1005611.1–21, 2017.
- [J61] **Philippe Gambette**, Leo Van Iersel, Steven Kelk, Fabio Pardi, and Celine Scornavacca. Do branch lengths help to locate a tree in a phylogenetic network? *Bulletin of Mathematical Biology*, 78(9):1773–1795, 2016.
- [J62] Mireille El Gheche, <u>Giovanni Chierchia</u>, and <u>Jean-Christophe Pesquet</u>. Proximity operators of discrete information divergences. *IEEE Transactions on Information Theory*, 64(2):1092–1104, 2018.

- [J63] <u>Samuele Giraudo</u>. Operads from posets and Koszul duality. *European Journal of Combinatorics*, 56C:1–32, 2016.
- [J64] <u>Samuele Giraudo</u>. Pluriassociative algebras II: The polydendriform operad and related operads. *Advances in Applied Mathematics*, 77:43–85, 2016.
- [J65] Simona Grusea and <u>Anthony Labarre</u>. The distribution of cycles in breakpoint graphs of signed permutations. *Discrete Applied Mathematics*, 161(10-11):1448–1466, 2013.
- [J66] Jörg H. Kappes, Bjoern Andres, Fred A. Hamprecht, Christoph Schnörr, Sebastian Nowozin, Dhruv Batra, Sungwoong Kim, Bernhard X. Kausler, Thorben Kröger, Jan Lellmann, <u>Nikos</u> <u>Komodakis</u>, Bogdan Savchynskyy, and Carsten Rother. A comparative study of modern inference techniques for structured discrete energy minimization problems. *International Journal of Computer Vision*, 2015.
- [J67] <u>Walid Hachem</u>, Adrien Hardy, and <u>Jamal Najim</u>. Large Complex Correlated Wishart Matrices: Fluctuations and Asymptotic Independence at the Edges. *Annals of Probability*, 44(3):2264–2348, 2016.
- [J68] <u>Matthieu Josuat-Vergès</u>. Refined Enumeration of Noncrossing Chains and Hook Formulas. *Annals of Combinatorics*, 19(3):443–460, 2015.
- [J69] <u>Matthieu Josuat-Vergès</u>, Frederic Menous, <u>Jean-Christophe Novelli</u>, and <u>Jean-Yves</u>
 <u>Thibon</u>. Free cumulants, Schröder trees, and operads. *Advances in Applied Mathematics*, 88:92 119, 2017.
- [J70] <u>Nikos Komodakis</u> and <u>Jean-Christophe Pesquet</u>. Playing with Duality: An overview of recent primal-dual approaches for solving large-scale optimization problems. *IEEE Signal Processing Magazine*, 2015.
- [J71] Nikos Komodakis, Bo Xiang, and Nikos Paragios. A framework for efficient structured max-margin learning of high-order mrf models. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2014.
- [J72] <u>Gregory Kucherov</u> and Yakov Nekrich. Full-fledged real-time indexing for constant size alphabets. *Algorithmica*, 79(2):387–400, 2017.
- [J73] <u>Gregory Kucherov</u>, <u>Kamil Salikhov</u>, and Dekel Tsur. Approximate string matching using a bidirectional index. *Theoretical Computer Science*, 638:145–158, 2016.
- [J74] <u>Tita Kyriacopoulou</u> and Claude Martineau. Extraction de "segments complexes": enrichissement des dictionnaires. *Études de linguistique appliquée : revue de didactologie des langues-cultures*, octobre-décembre 2015(180):407–416, 2015.
- [J75] **Anthony Labarre**. Lower bounding edit distances between permutations. *Siam Journal on Discrete Mathematics*, 27(3):1410–1428, 2013.
- [J76] <u>Anthony Labarre</u> and Sicco Verwer. Merging partially labelled trees: hardness and a declarative programming solution. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, 11(2):389–397, 2014.
- [J77] Loic Landrieu and <u>Guillaume Obozinski</u>. Cut Pursuit: fast algorithms to learn piecewise constant functions on general weighted graphs. *SIAM Journal of Imaging Sciences*, Vol. 10(No. 4):pp. 1724–1766, 2017.
- [J78] François Laroussinie, <u>Antoine Meyer</u>, and Eudes Petonnet. Counting ctl. *Logical Methods in Computer Science*, 9(1):3.1–3.34, 2013. 34 pages.
- [J79] <u>Alain Lascoux</u>. Polynomial representations of the Hecke algebra of the symmetric group. *International Journal of Algebra and Computation*, 23(4):803–818, 2013.
- [J80] Xiaoting Li and Laurent George. Deterministic delay analysis of AVB switched ethernet networks using an extended trajectory approach. *Real-Time Systems*, 53(1):121 186, 2017.

- [J81] <u>Philippe Loubaton</u>. On the almost sure location of the singular values of certain Gaussian block-Hankel large random matrices. *Journal of Theoretical Probability*, 29(4):1339–1443, 2016.
- [J82] Mohammed Yazid Lyazidi, Nadjib Aitsaadi, and Rami Langar. A dynamic resource allocation framework in LTE downlink for cloud-radio access network. *Computer Networks*, 140:101–111, 2018.
- [J83] Odyssée Merveille, Hugues Talbot, Laurent Najman, and Nicolas Passat. Curvilinear structure analysis by ranking the orientation responses of path operators. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 40(2):304–317, 2018.
- [J84] Paul Morel, Ryan Thomas Flynn, Edgar Gelover, Guillaume Blin, Stéphane Vialette, Xiadong Wu, and Dongxu Wang. Mspt: An open-source motion simulator for proton therapy. *Biomedical Physics & Engineering Express*, 1(3):12 pp., 2015.
- [J85] <u>Jamal Najim</u> and Jianfeng Yao. Gaussian fluctuations for linear spectral statistics of large random covariance matrices. *The Annals of Applied Probability : an official journal of the institute of mathematical statistics*, 26(3):1837–1887, 2016.
- [J86] <u>Laurent Najman</u>. Extending the powerwatershed framework thanks to γ -convergence. SIAM Journal on Imaging Sciences, 10(4):2275–2292, 2017.
- [J87] <u>Laurent Najman</u> and <u>Jean Cousty</u>. A graph-based mathematical morphology reader. *Pattern Recognition Letters*, 47:3–17, 2014.
- [J88] <u>Laurent Najman</u> and Pascal Romon. *Modern Approaches to Discrete Curvature*, volume 2184 of *Lecture Note in Mathematics*. 2017.
- [J89] <u>Takuya Nakamura</u>. On the possible origin of lexicon-grammar tables: speculations from an unpublished manuscript of zellig harris. In *Perspectives harrissiennes*. Cellule de recherche en linguistique, 2016.
- [J90] Alexis Amid Neme and **Eric Laporte**. Pattern-and-root inflectional morphology: the arabic broken plural. *Language Sciences*, 40:221–250, 2013.
- [J91] **Bertrand Neveu**, Gilles Trombettoni, and Ignacio Araya. Adaptive constructive interval disjunction: algorithms and experiments. *Constraints*, 20(7):452–467, 2015.
- [J92] **Bertrand Neveu**, Gilles Trombettoni, and Ignacio Araya. Node selection strategies in interval branch and bound algorithms. *Journal of Global Optimization*, 64(2):289–304, 2016.
- [J93] Phuc Ngo, Yukiko Kenmochi, Nicolas Passat, and Hugues Talbot. Combinatorial structure of rigid transformations in 2d digital images. Computer Vision and Image Understanding, 117(4):393–408, 2013.
- [J94] Phuc Ngo, Yukiko Kenmochi, Nicolas Passat, and Hugues Talbot. Topology-preserving conditions for 2d digital images under rigid transformations. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 49(2):418–433, 2014.
- [J95] Phuc Ngo, Nicolas Passat, Yukiko Kenmochi, and Hugues Talbot. Topology-preserving rigid transformation of 2d digital images. *IEEE Transactions on Image Processing*, 23(2):885–897, 2014.
- [J96] <u>Jean-Christophe Novelli</u>, Frédéric Patras, and <u>Jean-Yves Thibon</u>. Natural endomorphisms of quasi-shuffle Hopf algebras. *Bulletin de la société mathématique de France*, 141:107–130, 2013.
- [J97] <u>Ermis Papastefanakis</u>, Xiaoting Li, and <u>Laurent George</u>. A mixed criticality approach for the security of critical flows in a network-on-chip. *ACM SIGBED Review*, 13(4):67 72, 2016.

- [J98] **Benjamin Perret**. Inf-structuring functions: A unifying theory of connections and connected operators. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 51(1):171–194, 2015.
- [J99] **Benjamin Perret** and Christophe Collet. Connected image processing with multivariate attributes: an unsupervised markovian classification approach. *Computer Vision and Image Understanding*, 133:1–14, 2015.
- [J100] Benjamin Perret, Jean Cousty, Silvio J.F. Guimarães, and Deise S Maia. Evaluation of hierarchical watersheds. *IEEE Transactions on Image Processing*, 27(4):1676–1688, 2018.
- [J101] <u>Benjamin Perret</u>, <u>Jean Cousty</u>, Olena Tankyevych, <u>Hugues Talbot</u>, and Nicolas Passat. Directed connected operators: Asymmetric hierarchies for image filtering and segmentation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 37(6):1162–1176, 2015.
- [J102] <u>Dominique Perrin</u> and Christophe Reutenauer. Hall sets, Lazard sets and comma-free codes. *Discrete Mathematics*, 341(1):232–243, 2018.
- [J103] Guillaume Phavorin, Pascal Richard, Joël Goossens, Claire Maiza, <u>Laurent George</u>, and Thomas Chapeaux. Online and offline scheduling with cache-related preemption delays. *Real-Time Systems*, pages 1–38, 2017.
- [J104] <u>Kacper Pluta</u>, Tristan Roussillon, David Cœurjolly, Pascal Romon, <u>Yukiko Kenmochi</u>, and Victor Ostromoukhov. Characterization of bijective digitized rotations on the hexagonal grid. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 2018.
- [J105] Manar Qamhieh, Laurent George, and Serge Midonnet. Stretching algorithm for global scheduling of real-time DAG tasks. *Real-Time Systems*, 2018.
- [J106] Manar Qamhieh and Serge Midonnet. Simulation-based evaluations of DAG scheduling in hard real-time multiprocessor systems. ACM SIGAPP applied computing review: a publication of the Special Interest Group on Applied Computing, 14(4):12, 2014.
- [J107] <u>Abderrezak Rachedi</u>, <u>Hakim Badis</u>, and Abderrahim Benslimane. How MIMO cross-layer design enables QoS while detecting non-cooperative nodes in wireless multi-hop networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 46:395–406, 2014.
- [J108] <u>Kamil Salikhov</u>, Gustavo Sacomoto, and <u>Gregory Kucherov</u>. Using cascading bloom filters to improve the memory usage for de brujin graphs. *Algorithms for Molecular Biology*, 9(1):2, 2014.
- [J109] Mahmoud Soua, **Rostom Kachouri**, and **Mohamed Akil**. Gpu parallel implementation of the new hybrid binarization based on kmeans method (hbk). *Journal of Real-Time Image Processing*, 2014.
- [J110] Oussama Soualah, **Nadjib Aitsaadi**, and Ilhem Fajjari. A novel reactive survivable virtual network embedding scheme based on game theory. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 14(3):569 585, 2017.
- [J111] **Johan Thapper** and Stanislav Živný. The Power of Sherali–Adams Relaxations for General-Valued CSPs. *SIAM Journal on Computing*, 46(4):1241 1279, 2017.
- [J112] **Johan Thapper** and Stanislav Živný. The Limits of SDP Relaxations for General-Valued CSPs. *ACM Transactions on Computation Theory*, 10(3):1–22, 2018.
- [J113] Pascal Vallet, Xavier Mestre, and <u>Philippe Loubaton</u>. Performance Analysis of an Improved MUSIC DoA Estimator. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 63(23):6407 6422, 2015.
- [J114] René Van Bevern, Robert Bredereck, <u>Laurent Bulteau</u>, Jiehua Chen, Vincent Froese, Rolf Niedermeier, and Gerhard J. Woeginger. Partitioning perfect graphs into stars. *Journal of Graph Theory*, 85(2):297–335, 2017.

- [J115] Chaohui Wang, Nikos Komodakis, and Nikos Paragios. Markov random field modeling, inference & learning in computer vision & image understanding: A survey. *Computer Vision and Image Understanding*, 117(11):1610–1627, 2013.
- [J116] Yongchao Xu, Edwin Carlinet, Thierry Géraud, and Laurent Najman. Hierarchical segmentation using tree-based shape spaces. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 39(3):457–469, 2017.
- [J117] Yongchao Xu, Thierry Géraud, and Laurent Najman. Connected filtering on tree-based shape-spaces. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 38(6):1126 1140, 2016.
- [J118] Yongchao Xu, Pascal Monasse, Thierry Géraud, and Laurent Najman. Tree-based morse regions: A topological approach to local feature detection. *IEEE Transactions on Image Processing*, 23(12):5612–5625, 2014.
- [J119] <u>Abdellatif Zaidi</u>, Pablo Piantanida, and Shlomo Shamai. Capacity Region of Cooperative Multiple Access Channel with States. *IEEE Transactions on Information Theory*, 59(10):6153–6174, 2013.
- [J120] <u>Abdellatif Zaidi</u> and Shlomo Shamai. On Cooperative Multiple Access Channels With Delayed CSI at Transmitters. *IEEE Transactions on Information Theory*, 60(10):6204–6230, 2014.
- [J121] <u>Abdellatif Zaidi</u>, Shlomo Shamai, Pablo Piantanida, and Luc Vandendorpe. Bounds on the Capacity of the Relay Channel with Noncausal State at Source. *IEEE Transactions on Information Theory*, 59(5):2639–2672, 2013.

Articles de synthèse / revues bibliographiques (12 au total)

Aucun sélectionné.

7.2.1.2 Ouvrages

Direction et coordination d'ouvrages / édition scientifique (4 au total)

Aucun sélectionné.

Chapitres d'ouvrages (36 au total)

Aucun sélectionné.

7.2.1.3 Colloques / congrès, séminaires de recherche Éditions d'actes de colloques / congrès (13 au total)

Aucun sélectionné.

Articles publiés dans des actes de colloques / congrès (667 au total)

- [C1] Yasmina Abdeddaïm, Younès Chandarli, Robert I. Davis, and Damien Masson. Schedulability analysis for fixed priority real-time systems with energy-harvesting. In *International Conference on Real-Time Networks and Systems (RTNS 2014)*, pages 311–320, 2014.
- [C2] Yasmina Abdeddaïm, Younès Chandarli, and Damien Masson. The optimality of PF-Pasap algorithm for fixed-priority energy-harvesting real-time systems. In *Euromicro Conference on Real-Time Systems (ECRTS 2013)*, pages 47–56, 2013.
- [C3] <u>Yasmina Abdeddaïm</u> and Maxim Dorin. Probabilistic schedulability analysis for fixed priority mixed criticality real-time systems. In *Design, Automation and Test in Europe* (*DATE 2017*), pages 596–601, 2017.
- [C4] Nicolas Auger, Cyril Nicaud, and Carine Pivoteau. Good predictions are worth a few comparisons. In *Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science (STACS 2016)*, pages 1–14, 2016.

- [C5] Muhammad Ali Awan, <u>Damien Masson</u>, and Eduardo Tovar. Energy efficient mapping of mixed criticality applications on unrelated heterogeneous multicore platforms. In *IEEE International Symposium on Industrial Embedded Systems (SIES 2016)*, pages 63–72, 2016.
- [C6] Zohaib Hassan Awan, <u>Abdellatif Zaidi</u>, and Aydin Sezgin. Achievable secure degrees of freedom of miso broadcast channel with alternating csit. In *IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT 2014)*, pages 31–35. IEEE, 2014.
- [C7] <u>Hakim Badis</u> and <u>Abderrezak Rachedi</u>. Performance evaluation of MIMO-based MAC/-PHY cross-layer design in multi-hop ad hoc networks. In *IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob 2015)*, pages 542–548, 2015.
- [C8] <u>Hakim Badis</u> and <u>Abderrezak Rachedi</u>. Markov chain-based performance analysis of mimo-aware media access control protocol. In *IEEE International Conference on Communications (ICC 2017)*, pages 1061–1066, 2017.
- [C9] Christine Barats, Anne Dister, **Philippe Gambette**, Jean-Marc Leblanc, and Marie Peres. Appeler à signer une pétition en ligne: caractéristiques linguistiques des appels. In *International Conference on the Statistical Analysis of Textual Data (JADT 2018)*, pages 1–6, 2018.
- [C10] Marie-Pierre Béal and Pavel Heller. Generalized dyck shifts. In *International Computer Science Symposium in Russia (CSR 2017)*, pages 99–111, 2017.
- [C11] Matthias Bentert, Josef Malík, and <u>Mathias Weller</u>. Tree containment with soft polytomies. In *Scandinavian Workshop on Algorithm Theory (SWAT 2018)*, pages 1–14, 2018.
- [C12] <u>Jean-François Bercher</u>. On some interrelations of generalized q-entropies and a generalized Fisher information, including a Cramér-Rao inequality. In *International Conference on Applied Stochastic Models and Data Analysis (ASMDA 2013)*, 2013.
- [C13] <u>Jean-François Bercher</u>. Some results on a χ-divergence, an extended Fisher information and generalized Cramér-Rao inequalities. In *International Conference on Geometric Science of Information (GSI 2013)*, pages 487–494. 2013.
- [C14] <u>Jean-François Bercher</u>, Bénédicte Duriez, Nicole Boggetto, and Marie-Noelle Prioleau. Dynamique et synchronisme de réplication de l'ADN dans des cellules vivantes Analyse de marqueurs fluorescents. In *Colloque GRETSI*, 2015.
- [C15] <u>Jean-François Bercher</u> and Steeve Zozor. Properties and Inequalities for ϕ -entropies Derived from Inverse MaxEnt Problems. In *Entropy 2018 : From Physics to Information Sciences and Geometry*, 2018.
- [C16] <u>Gilles Bertrand</u>. Completions and simple homotopy. In *Discrete Geometry for Computer Imagery (DGCI 2014)*, pages 63–74, 2014.
- [C17] Philippe Biane and Matthieu Josuat-Vergès. Minimal factorizations of a cycle: a multivariate generating function. In Formal Power Series and Algebraic Combinatorics (FPSAC 2015), 2016.
- [C18] <u>Nicolas Borie</u>. Effective Invariant Theory of Permutation Groups using Representation Theory. In *International Conference on Algebraic Informatics (CAI 2015)*, 2015.
- [C19] <u>Nicolas Borie</u>. Three-dimensional Catalan numbers and product-coproduct prographs. In *Formal Power Series and Algebraic Combinatorics (FPSAC 2017)*, 2017.
- [C20] Amine Bourki, Martin de La Gorce, Renaud Marlet, and Nikos Komodakis. Patchwork Stereo: Scalable, Structure-Aware 3D Reconstruction in Man-Made Environments. In *IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV 2017)*, pages 292–301, 2017.

- [C21] Boris Bukh, Xavier Goaoc, Alfredo Hubard, and Matthew Trager. Consistent sets of lines with no colorful incidence. In *International Symposium on Computational Geometry* (SoCG 2018), pages 1–20, 2018.
- [C22] <u>Laurent Bulteau</u>, Guillaume Fertin, <u>Anthony Labarre</u>, Romeo Rizzi, and Irena Rusu. Decomposing cubic graphs into connected subgraphs of size three. In *International Computing and Combinatorics Conference (COCOON 2016)*, 2016.
- [C23] Norbert Bus, Nabil Mustafa, and Venceslas Biri. IlluminationCut. In *Eurographics (EG 2015)*, pages 561–574, 2015.
- [C24] Sara Cadoni, Emilie Chouzenoux, Jean-Christophe Pesquet, and Caroline Chaux. A block parallel majorize-minimize memory gradient algorithm. In *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2016)*, pages 3194–3198, 2016.
- [C25] Marie Candito and <u>Mathieu Constant</u>. Strategies for contiguous multiword expression analysis and dependency parsing. In *Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL 2014)*, pages 1–11, 2014.
- [C26] <u>Arnaud Carayol</u> and Stefan Göller. On long words avoiding zimin patterns. In *Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science (STACS 2017)*, pages 1–13, 2017.
- [C27] <u>Arnaud Carayol</u>, Christof Löding, and Olivier Serre. Automata on infinite trees with equality and disequality constraints between siblings. In *Annual IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS 2016)*, pages 227–236, 2016.
- [C28] <u>Arnaud Carayol</u> and Olivier Serre. How good is a strategy in a game with nature? In *Annual IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS 2015)*, page 12, 2015.
- [C29] <u>Didier Caucal</u> and <u>Chloé Rispal</u>. Recognizability for automata. In *Developments in Language Theory (DLT 2018)*, 2018.
- [C30] Sylvain Cherrier, Yacine Ghamri-Doudane, Stephane Lohier, and Gilles Roussel. SALT: a Simple Application Logic description using Transducers for Internet of Things. In IEEE International Conference on Communications (ICC 2013), pages 3006–3011, 2013.
- [C31] <u>Sylvain Cherrier</u>, Yacine Ghamri-Doudane, <u>Stéphane Lohier</u>, and <u>Gilles Roussel</u>. Fault-recovery and coherence in Internet of Things choreographies. In *IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT 2014)*, pages 532–537, 2014.
- [C32] <u>Antoine Chevreuil</u> and <u>Philippe Loubaton</u>. On the detection of low rank matrices in the high-dimensional regime. In *European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2018)*, 2018.
- [C33] Antoine Chevreuil and Philippe Loubaton. On the non-detectability of spiked large random tensors. In *IEEE Statistical Signal Processing Workshop (SSP 2018)*, 2018.
- [C34] Giovanni Chierchia, Davide Cozzolino, Giovanni Poggi, and Luisa Verdoliva. SAR image despeckling through convolutional neural networks. In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2017)*, pages 5438–5441, 2017.
- [C35] Giovanni Chierchia, Nelly Pustelnik, and Jean-Christophe Pesquet. Random primal-dual proximal iterations for sparse multiclass SVM. In *IEEE International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP 2016)*, pages 1–6, 2016.
- [C36] <u>Takwa Chihaoui</u>, <u>Rostom Kachouri</u>, Hejer Jlassi, <u>Mohamed Akil</u>, and Kamel Hamrouni. Human identification system based on the detection of optical Disc Ring in retinal images. In *International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications (IPTA 2015)*, pages 263–267, 2015.

- [C37] Vincent Cohen-Addad, Éric Colin de Verdière, and Arnaud de Mesmay. A near-linear approximation scheme for multicuts of embedded graphs with a fixed number of terminals. In Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA 2018), pages 1439–1458, 2018.
- [C38] Éric Colin de Verdière and Salman Parsa. Deciding contractibility of a non-simple curve on the boundary of a 3-manifold. In *Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms* (SODA 2017), pages 2691–2704, 2017.
- [C39] <u>Carlo Comin</u>, <u>Anthony Labarre</u>, Romeo Rizzi, and <u>Stéphane Vialette</u>. Sorting with forbidden intermediates. In *International Conference on Algorithms for Computational Biology (AlCoB 2016*), pages 133–144, 2016.
- [C40] Marie-Caroline Corbineau, Emilie Chouzenoux, and Jean-Christophe Pesquet. PIPA: A New Proximal Interior Point Algorithm for Large Scale Convex Optimization. In IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2018), 2018
- [C41] Salvatore Costanzo, Ilhem Fajjari, Nadjib Aitsaadi, and Rami Langar. DEMO: SDN-based Network Slicing in C-RAN. In *IEEE Annual Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2018)*, pages 1–2, 2018.
- [C42] Salvatore Costanzo, Ilhem Fajjari, <u>Nadjib Aitsaadi</u>, and <u>Rami Langar</u>. Dynamic network slicing for 5G IoT and eMBB services: A new design with prototype and implementation results. In *Cloudification of the Internet of Things (CIoT 2018)*, 2018.
- [C43] Salvatore Costanzo, Ilhem Fajjari, <u>Nadjib Aitsaadi</u>, and <u>Rami Langar</u>. A network slicing prototype for a flexible cloud radio access network. In *IEEE Annual Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2018)*, pages 1–4, 2018.
- [C44] Olivier Curé, Hubert Naacke, Tendry Randriamalala, and Bernd Amann. Litemat: A scalable, cost-efficient inference encoding scheme for large rdf graphs. In *IEEE International Conference on Big Data (Big Data 2015)*, pages 1823–1830, 2015.
- [C45] <u>Claire David</u>, <u>Nadime Francis</u>, and Filip Murlak. Consistency of injective tree patterns. In *Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science (FSTTCS 2014)*, pages 279–290, 2014.
- [C46] Alemayehu Desta, Hakim Badis, and Laurent George. Demand response scheduling in production lines constrained by available power. In *International Workshop on Integrating Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grid (ICT4SG 2018)*, 2018.
- [C47] Alemayehu Desta, Hakim Badis, Laurent George, and Pierre Courbin. An efficient production scheduling based on queuing theory in systems with synchronous part transfer during a demand response event. In *IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm 2017)*, pages 546–552, 2017.
- [C48] Philippe Duchon and <u>Cyril Nicaud</u>. On the biased partial word collector problem. In *Latin American Symposium on Theoretical Informatics (LATIN 2018)*, pages 413–426, 2018.
- [C49] Philippe Duchon, <u>Cyril Nicaud</u>, and <u>Carine Pivoteau</u>. Gapped pattern statistics. In *Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching (CPM 2017)*, pages 1–12, 2017.
- [C50] Viacheslav Dudar, Giovanni Chierchia, Emilie Chouzenoux, Jean-Christophe Pesquet, and Vladimir Semenov. A two-stage subspace trust region approach for deep neural network training. In European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2017), pages 291–295, 2017.

- [C51] Ferran Espuny, <u>Pascal Monasse</u>, and Lionel Moisan. A New A Contrario Approach for the Robust Determination of the Fundamental Matrix. In *Pacific-Rim Symposium on Image* and Video Technology (PSIVT 2013), pages 181–192, 2013.
- [C52] Guillaume Fertin, Irena Rusu, and <u>Stéphane Vialette</u>. Obtaining a triangular matrix by independent row-column permutations. In *International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2015)*, pages 165–175, 2015.
- [C53] Aniello Fiengo, <u>Giovanni Chierchia</u>, Marco Cagnazzo, and Béatrice Pesquet-Popescu. Convex optimization for frame-level rate allocation in MV-HEVC. In *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2016)*, pages 2157–2161, 2016.
- [C54] Nadime Francis, Alastair Green, Paolo Guagliardo, Leonid Libkin, Tobias Lindaaker, Victor Marsault, Stefan Plantikow, Mats Rydberg, Petra Selmer, and Andrés Taylor. Cypher: An evolving query language for property graphs. In *International Conference on Management of Data (SIGMOD 2018)*, pages 1433–1445, 2018.
- [C55] Huan Fu, Mingming Gong, <u>Chaohui Wang</u>, Kayhan Batmanghelich, and Dacheng Tao. Deep ordinal regression network for monocular depth estimation. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2018)*, 2018.
- [C56] Huan Fu, <u>Chaohui Wang</u>, Dacheng Tao, and Michael J Black. Occlusion boundary detection via deep exploration of context. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2016)*, pages 241 250, 2016.
- [C57] Philippe Gambette, Andreas D.M. Gunawan, Anthony Labarre, Stéphane Vialette, and Louxin Zhang. Locating a tree in a phylogenetic network in quadratic time. In Annual International Conference on Research in Computational Molecular Biology (RECOMB 2015), pages 96–107, 2015.
- [C58] Spyros Gidaris and Nikos Komodakis. Object detection via a multi-region & semantic segmentation-aware CNN model. In *IEEE International Conference on Computer Vision* (*ICCV 2015*), pages 1134–1142. IEEE Computer Society, 2015.
- [C59] <u>Samuele Giraudo</u> and <u>Stéphane Vialette</u>. Unshuffling permutations. In *Latin American Symposium on Theoretical Informatics (LATIN 2016)*, pages 509–521, 2016.
- [C60] Xavier Goaoc, Pavel Paták, Zuzana Patáková, Martin Tancer, and Uli Wagner. Shellability is np-complete. In *International Symposium on Computational Geometry (SoCG 2018)*, pages 1–15, 2018.
- [C61] <u>Teresa Gomez-Diaz</u>, Vincent Legoll, Jérôme Pansanel, Sorina Camarasu-Pop, Genevieve Romier, and Pascal Wassong. FG-SOL: un nouveau service pour la préservation et la réutilisation des logiciels de la recherche. In *JRES 2017*, JRES 2017, page https://www.jres.org/fr/presentation?id=119, Nantes, France, November 2017. RENATER.
- [C62] Pierre Gouédard and <u>Philippe Loubaton</u>. On the behaviour of the estimated fourth-order cumulants matrix of a high-dimensional gaussian white noise. In *International Conference on Latent Variable Analysis and Signal Separation (LVA/ICA 2017)*, 2017.
- [C63] <u>Thibault Groueix</u>, Matthew Fisher, Vladimir G. Kim, Bryan Russell, and <u>Mathieu Aubry</u>. AtlasNet: A Papier-Mâché Approach to Learning 3D Surface Generation. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2018)*, 2018.
- [C64] <u>Sonja Hiltunen</u> and <u>Philippe Loubaton</u>. Asymptotic analysis of a GLR test for detection with large sensor arrays: New results. In *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2017)*, pages 4506 4510, 2017.

- [C65] Shell Xu Hu and Guillaume Obozinski. SDCA-Powered Inexact Dual Augmented Lagrangian Method for Fast CRF Learning. In *International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS 2018)*, 2018.
- [C66] Thibault Julliand, Vincent Nozick, and Hugues Talbot. Automatic image splicing detection based on noise density analysis in raw images. In *International Conference of Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems (ACIVS 2016)*, pages 126 134, 2016.
- [C67] Rostom Kachouri and Mohamed Akil. Hardware design to accelerate PNG encoder for binary mask compression on FPGA. In SPIE 9400, Real-Time Image and Video Processing, 2015.
- [C68] Rostom Kachouri, Christian Medina Armas, and Mohamed Akil. Gamma correction acceleration for real-time text extraction from complex colored images. In *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2015)*, 2015.
- [C69] Rostom Kachouri, Mahmoud Soua, and Mohamed Akil. Unsupervised image segmentation based on local pixel clustering and low-level region merging. In *IEEE International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP 2016)*, pages 177–182, 2016.
- [C70] Mateusz Koziński, Raghudeep Gadde, Sergey Zagoruyko, Guillaume Obozinski, and Renaud Marlet. A mrf shape prior for facade parsing with occlusions. In Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2015), pages 2820–2828, 2015.
- [C71] Mateusz Kozinski and Renaud Marlet. Image parsing with graph grammars and markov random fields applied to facade analysis. In *IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV 2014)*, pages 729–736, 2014.
- [C72] Cvetana Krstev, Anđelka Zečević, Duško Vitas, and <u>Tita Kyriacopoulou</u>. Nerosetta for the named entity multi-lingual space. In *Language & Technology Conference (LTC 2013)*, pages 327–340, 2013.
- [C73] <u>Gregory Kucherov</u> and Dekel Tsur. Improved filters for the approximate suffix-prefix overlap problem. In *International Symposium on String Processing and Information Retrieval (SPIRE 2014)*, pages 139–148, 2014.
- [C74] Maxime Legendre, Saïd Moussaoui, <u>Emilie Chouzenoux</u>, and Jérôme Idier. Primaldual interior-point optimization based on majorization-minimization for edge-preserving spectral unmixing. In *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2014)*, pages 4161–4165, 2014.
- [C75] Xiaoting Li, Olivier Cros, and Laurent George. The Trajectory approach for AFDX FIFO networks revisited and corrected. In IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications (RTCSA 2014), pages 1–10. IEEE, 2014.
- [C76] Zhe Liu, Pascal Monasse, and Renaud Marlet. Match selection and refinement for highly accurate two-view structure from motion. In European Conference on Computer Vision (ECCV 2014), pages 818–833, 2014.
- [C77] Mohammed Yazid Lyazidi, **Nadjib Aitsaadi**, and **Rami Langar**. Resource allocation and admission control in ofdma-based cloud-ran. In *IEEE Global Communications Conference* (*GLOBECOM 2016*), pages 1–6, 2016.
- [C78] Mohammed Yazid Lyazidi, Lorenza Giupponi, Josep Mangues-Bafalluy, **Nadjib Aitsaadi**, and **Rami Langar**. A novel optimization framework for c-ran bbu selection based on resiliency and price. In *IEEE 86th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall 2017)*, pages 1–6, 2017.

- [C79] Yosra Marnissi, Emilie Chouzenoux, Jean-Christophe Pesquet, and Amel Benazza-Benyahia. An auxiliary variable method for langevin based MCMC algorithms. In *IEEE Statistical Signal Processing Workshop (SSP 2016)*, pages 1–5, 2016.
- [C80] <u>Francisco Massa</u>, <u>Renaud Marlet</u>, and <u>Mathieu Aubry</u>. Crafting a multi-task CNN for viewpoint estimation. In *British Machine Vision Conference (BMVC 2016)*, 2016.
- [C81] Salma Matoussi, Ilhem Fajjari, Salvatore Costanzo, N. Aitsaadi, and <u>Rami Langar</u>. A User Centric Virtual Network Function Orchestration for Agile 5G Cloud-RAN. In *IEEE International Conference on Communications (ICC 2018)*, 2018.
- [C82] Pierre Moulon, Pascal Monasse, and Renaud Marlet. Global fusion of relative motions for robust, accurate and scalable structure from motion. In *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV 2013)*, pages 3248–3255, 2013.
- [C83] Pierre Moulon, Pascal Monasse, Romuald Perrot, and Renaud Marlet. OpenMVG: Open Multiple View Geometry. In Workshop on Reproducible Research in Pattern Recognition (RRPR 2016), pages 60–74, 2016.
- [C84] <u>Bertrand Neveu</u>, <u>Martin De La Gorce</u>, and Gilles Trombettoni. Improving a constraint programming approach for parameter estimation. In *IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI 2015)*, pages 852–859, 2015.
- [C85] <u>Bertrand Neveu</u>, <u>Martin De La Gorce</u>, and Gilles Trombettoni. An interval branch and bound algorithm for parameter estimation. In *XIII Global Optimization Workshop (GOW 2016)*, 2016.
- [C86] <u>Cyril Nicaud</u>. Fast synchronization of random automata. In *Approximation, Randomization, and Combinatorial Optimization. Algorithms and Techniques (APPROX/RANDOM 2016*), pages 1–12, 2016.
- [C87] Ermis Papastefanakis, Xiaoting Li, and Laurent George. Deterministic scheduling in Networks-on-Chip using the Trajectory approach. In *IEEE 18th International Symposium on Real-Time Distributed Computing (ISORC 2015)*, pages 60–65, 2015.
- [C88] <u>Gia-Thuy Pham</u> and <u>Philippe Loubaton</u>. Optimization of the loading factor of regularized estimated spatial-temporal wiener filters in large system case. In *IEEE Statistical Signal Processing Workshop*, (SSP 2016), pages 1–5, 2016.
- [C89] Jerome Pilliet, <u>Rémi Forax</u>, and <u>Gilles Roussel</u>. DualStack: improvement of invokedynamic implementation on Android. In *International Workshop on Java Technologies for Real-time and Embedded Systems (JTRES 2015)*, pages 1–8, 2015.
- [C90] <u>Kacper Pluta</u>, Guillaume Moroz, <u>Yukiko Kenmochi</u>, and Pascal Romon. Quadric Arrangement in Classifying Rigid Motions of a 3D Digital Image. In *International Workshop on Computer Algebra in Scientific Computing (CASC 2016)*, pages 426 443, 2016.
- [C91] <u>Kacper Pluta</u>, Pascal Romon, <u>Yukiko Kenmochi</u>, and Nicolas Passat. Bijectivity certification of 3D digitized rotations. In *Computational Topology in Image Context (CTIC 2016)*, volume 9667, pages 30–41, 2016.
- [C92] Manar Qamhieh and Serge Midonnet. Schedulability analysis for directed acyclic graphs on multiprocessor systems at a subtask level. In *International Conference on Reliable Software Technologies (ADA-Europe 2014)*, pages 119–133. ADA-Europe, 2014.
- [C93] <u>Abderrezak Rachedi</u> and <u>Hakim Badis</u>. BadZak: An hybrid architecture based on virtual backbone and software defined network for Internet of vehicles. In *IEEE International Conference on Communications (ICC 2018)*, pages 1–7, 2018.
- [C94] Xiangnan Ren, Olivier Curé, Hubert Naacke, Jérémy Lhez, and Ke Li. Strider r: Massive and distributed rdf graph stream reasoning. In *IEEE International Conference on Big Data* (Big Data 2017), pages 1–10, 2017.

- [C95] Audrey Repetti, Emilie Chouzenoux, and Jean-Christophe Pesquet. A nonconvex regularized approach for phase retrieval. In *IEEE International Conference on Image Processing* (ICIP 2014), pages 1753–1757, 2014.
- [C96] Audrey Repetti, Emilie Chouzenoux, and Jean-Christophe Pesquet. A random block-coordinate primal-dual proximal algorithm with application to 3d mesh denoising. In *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2015)*, pages 3561–3565, 2015.
- [C97] Emile Richard, <u>Guillaume Obozinski</u>, and Jean-Philippe Vert. Tight convex relaxations for sparse matrix factorization. In *Neural Information Processing Systems (NIPS 2014)*, Advances in Neural Information Processing Systems 27, pages 3284–3292, 2014.
- [C98] Romeo Rizzi and <u>Stéphane Vialette</u>. On recognizing words that are squares for the shuffle product. In *International Computer Science Symposium in Russia (CSR 2013)*, pages 235–245, 2013.
- [C99] <u>Gilles Roussel</u>, <u>Rémi Forax</u>, and Jerome Pilliet. Android 292: implementing invokedynamic in Android. In *International Workshop on Java Technologies for Real-time and Embedded Systems (JTRES 2014*), pages 76–86, 2014.
- [C100] <u>Victoria Rudakova</u> and <u>Pascal Monasse</u>. Camera matrix calibration using circular control points and separate correction of the geometric distortion field. In *Computer and Robot Vision (CRV 2014)*, page 8 p., 2014.
- [C101] Yohann Salaün, Renaud Marlet, and Pascal Monasse. Line-based Robust SfM with Little Image Overlap. In International Conference on 3D Vision (3DV 2017), pages 195–204, 2017.
- [C102] Luca Santinelli, Zhishan Guo, and Laurent George. Fault-aware sensitivity analysis for probabilistic real-time systems. In *IEEE Defect and Fault Tolerance in VLSI and Nanotechnology Systems Symposium (DFT 2016)*, pages 69–74, 2016.
- [C103] Martin Simonovsky and Nikos Komodakis. Dynamic edge-conditioned filters in convolutional neural networks on graphs. In 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2017), pages 29–38, 2017.
- [C104] Mahmoud Soua, Rostom Kachouri, and Mohamed Akil. A new hybrid binarization method based on Kmeans. In *International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP 2014)*, pages 118–123, 2014.
- [C105] Marina Vinyes and Guillaume Obozinski. Fast column generation for atomic norm regularization. In *International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS)*, pages 547–556, 2017.
- [C106] Chaoyue Wang, <u>Chaohui Wang</u>, Chang Xu, and Dacheng Tao. Tag disentangled generative adversarial networks for object image re-rendering. In *International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 2017)*, pages 2901–2907, 2017.
- [C107] <u>Mathias Weller</u>. Linear-time tree containment in phylogenetic networks. In *RECOMB Comparative Genomics Satellite Conference (RECOMB-CG 2018)*, 2018.
- [C108] <u>Sergey Zagoruyko</u> and <u>Nikos Komodakis</u>. Learning to compare image patches via convolutional neural networks. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (CVPR 2015), pages 4353–4361, 2015.
- [C109] <u>Sergey Zagoruyko</u> and <u>Nikos Komodakis</u>. Wide residual networks. In *British Machine Vision Conference (BMVC 2016)*, 2016.
- [C110] <u>Abdellatif Zaidi</u>. Achievable regions for interference channels with generalized and intermittent feedback. In *IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT 2014)*, pages 1026–1030, 2014.

- [C111] <u>Abdellatif Zaidi</u>. On Two Terminal Interactive Source Coding for Function Computation with Remote Sources . In *IEEE Information Theory Workshop (ITW 2015)*, 2015.
- [C112] <u>Abdellatif Zaidi</u>, Zohaib Hassan Awan, Shlomo Shamai, and Luc Vandendorpe. Secure degrees of freedom of mimo x-channels with output feedback and delayed csit. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 8(11):1760–1774, 2013.
- [C113] <u>Abdellatif Zaidi</u> and Shlomo Shamai. On Cooperative Multiple Access Channels with Delayed CSI. In *IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT 2013)*, pages 982–986, 2013.
- [C114] <u>Abdellatif Zaidi</u> and Shlomo Shamai. Asymmetric cooperative multiple access channels with delayed csi. In *IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT 2014)*, pages 1186–1190. IEEE, 2014.
- [C115] Alessandro Zanni, Se-Young Yu, Stefano Secci, <u>Rami Langar</u>, Paolo Bellavista, and Daniel Fernandes Macedo. Automated offloading of android applications for computation/energy-usage optimizations. In *IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS 2017)*, 2017.

7.2.1.4 Organisation de colloques / congrès (81 au total)

Les membres du laboratoire on participé à l'organisation de nombreux colloques, congrès, groupes de travail. Nous mettons en avant ici ceux qui se sont déroulés sur le site :

- Developments in Language Theory ¹ (DLT), UPE, juin 2013;
- International Conference on Implementation and Application of Automata² (CIAA), juin 2017;
- Congrès joints Reconnaissance des Formes, Image, Apprentissage et Perception (RFIAP) et Conférence Française de Photogrammétrie et Télédétection (CFPT), Champs-sur-Marne 2018, avec près de 230 participants.

Les principaux autres organisations sont détaillées dans les annexes des équipes.

7.2.1.5 Produits et outils informatiques Logiciels (50 au total)

Parmi les logiciels les plus importants développés au laboratoire, on peut citer les réalisations suivantes.

- OpenMVG (Open Multiple-View Geometry): bibliothèque de calibration et de reconstruction 3D à partir d'images (voir encadré plus haut), développée initialement dans la thèse CIFRE de Pierre Moulon et qui est aujourd'hui une réference dans le domaine [AC23]; 50 kLOC, 4 contributeurs internes (P. Moulon, P. Monasse, R. Marlet, Y. Salaün), plus de 60 contributeurs externes, 8 utilisateurs internes dans l'équipe A3SI et quelques milliers d'utilisateurs externes dont 800 "fork" (copies pour modification et intégration dans un autre projet), 1800 "star" (personnes qui apprécient le logiciel), et 250 "watch" (personnes qui se sont abonnées pour être averties des évolutions), https://github.com/openMVG/openMVG.
- Participation au développement de la plateforme JAVA: Rémi Forax, membre de l'équipe LRT, est très actif dans la communauté mondiale de la plateforme Java. Il a notamment contribué à l'implémentation des lambdas (JSR 335) et travaille sur les types dynamiques (JSR 292).
- Site web BeC3 (http://bec3.com) pour le déploiement de code pour machine virtuelle
 D-Lite (écrit en java/angularjs) (8100 lignes). + machine virtuelle D-LITe (une version en java (2600 lignes), une en python (4900 lignes), une version pour smartphones (1500 lignes)).
- Unitex/GramLab³ est une suite logicielle libre, multiplateforme, multilingue, fondée sur

^{1.} https://dlt2013.sciencesconf.org/

^{2.} http://ciaa17.univ-mlv.fr/

^{3.} http://unitexgramlab.org/fr

- des dictionnaires et des grammaires pour l'analyse de corpus. (LGPL). Le développement logiciel d'Unitex/GramLab est actuellement coordonné par Cristian Martinez.
- The Proximity Operator Repository: site web mis en ligne en novembre 2017 (http://proximity-operator.net/). Ce site, à visée participative, se propose de fournir les opérateurs proximaux (et leurs codes Matlab/Python/Julia associés) d'une quantité importante de fonctions, afin d'aider les utilisateurs dans leur mise en oeuvre pratique des algorithmes d'optimisation proximaux.

Bases de données (5 au total)

L'activité du laboratoire est assez éloigné de la constitution de bases de données, même si ponctuellement cela a pu être le cas. On peut toutefois citer **Corpus Biolographes** ⁴ et **UnLoc** ⁵ comme exemples de ce qui a pu être réalisé.

Outils d'aide à la décision (1 au total)

Ce n'est vraiment pas au cœur des activités du laboratoire.

Outils présentés dans le cadre de compétitions de solveurs (2 au total)

Une bonne partie des publications de l'équipe A3SI, qui cherchent à résoudre des problèmes de traitement d'images, de vision artificielle, d'apprentissage et d'optimisation reposent sur la développement de prototypes qui sont évalués sur des benchmarks, généralement publics, dans le cadre en quelque sorte de compétitions permanentes. Mais nous n'avons que quelques apparitions dans des compétitions proprement dites.

7.2.1.6 Développements instrumentaux et méthodologiques Prototypes et démonstrateurs

L'activité de certaines de nos équipes (principalement A3SI et LRT) se prête bien à cet exercice, mais ce n'est fait que de façon assez ponctuelle.

Plateformes et observatoires

Sans objet.

7.2.1.7 Autres produits propres à une discipline Créations artistiques théorisées

Sans objet.

Mises en scènes

Sans objet.

Films

Sans objet.

7.2.1.8 Activités éditoriales

Participation à des comités éditoriaux (journaux scientifiques, revues, collections, etc.) (50 au total)

Une sélection de notre activité éditoriale est proposée ci-dessous.

- CVIU (Computer Vision and Image Understanding): N. Komodakis & L. Najman
- IPOL (Image Processing On Line): P. Monasse
- IJCV (International Journal of Computer Vision): N. Komodakis
- JMIV (Journal of Mathematical Imaging and Vision): H. Talbot
- JRTIP (Journal of Real-Time Image Processing): M. Akil

^{4.} http://corpus.biolographes.eu

^{5.} https://github.com/VLoing/UnLoc

- PRL (Pattern Recognition Letters): M. Couprie (
- SPL (Signal Processing Letter): L. Najman (2017-), H. Talbot
- Journal of Algebra: J.-Y. Thibon
- Annales de l'Institut Henri Poicaré Serie D : J.-Y. Thibon
- Probability Theory and Related Fields: Ph. Biane
- Journal of Functional Analysis: Ph. Biane
- JONS (Journal of Network and Systems Management): R. Langar
- IEEE Access : A. Rachedi
- IJCS (International Journal of Communication Systems): A. Rachedi
- EJC (European Journal of Combinatorics) : E. Colin de Verdière (directeur exécutif)
- TCS (Theoretical Computer Science): D. Perrin
- Advances in Applied Mathematics : D. Perrin

Direction de collections et de séries

Aucune sélectionnée.

7.2.1.9 Activités d'évaluation

Évaluation d'articles et d'ouvrages scientifiques (relecture d'articles / reviewing)

Les membres du laboratoire sont très régulièrement sollicités pour évaluer des articles dans les conférences et les journaux de leur domaine.

Évaluation de projets de recherche

Les membres du laboratoire réalisent régulièrement des évaluations pour l'ANRT, et pour l'ANR et ses homologues à l'étranger.

Évaluation de laboratoires (type Hcéres)

- M.-P. Béal a été membre du comité de visite AERES pour l'examen du laboratoire LIP à Lyon en tant que représentante du CNU en 2014.
- M.-P. Béal a été membre du comité de visite HCERES pour l'examen du laboratoire GREYC à Caen en tant que représentante du CNU en 2015.
- H.Talbot a été sollicité en 2017 pour une expertise INRIA pour le thème "Imagerie Médicale".
- Ph. Biane a fait partie du comité HCERES de l'Institut de Mathématiques de Jussieu en 2013.
- L. George a participé au comité d'évaluation AERES de l'ONERA, en décembre 2014.
- Ph. Loubaton a été membre du comité d'évaluation HCERES du GIPSA-LAB en 2014 et du LABSTICC en 2016.

Responsabilités au sein d'instances d'évaluation

Une sélection de telles responsabilités prises par les membres du laboratoire est proposée cidessous.

- Ph. Biane a été président du CoNRS 41 du CNRS de 2012 à 2016.
- N. Aitsaadi est membre du Comité de Pilotage (COPIL) Groupe Télécoms Systematic, depuis Janvier 2018.
- V. Biri évalue des projets FUI dans le cadre du pôle de compétitivité Cap digital.
- G. Obozinski est membre d'un comité d'évaluation de l'ANR en 2018.
- C. Nicaud a été membre d'un comité d'évaluation de l'ANR en 2013 (SIMI2).
- Ph. Loubaton a été membre de la section 07 du CoNRS de 2012 à 2016.

7.2.1.10 Contrats de recherche financés par des institutions publiques ou caritatives

Le laboratoire a de nombreux contrats. Ci-dessous ne sont présentés que les principaux d'entre eux.

Contrats européens (ERC, H2020, etc.) et internationaux (NSF, JSPS, etc.) (6 au total)

- CELTIC SAN, "Survivable Ad Hoc Network for 4G and beyond". Porteur: CASSIDIAN, France. Durée: 36 mois (Dec. 2012 Nov. 2015). Budget LIGM: 318 K€.
- ITEA2 (appel 6) SITAC, "Social Internet of Things for Apps by and for the Crowd". Porteur: Gemalto, France. Durée: 36 mois (Dec. 2012 Nov. 2015). Aide globale: 15 ME, Budget LIGM: 493 K€.
- ITEA2 (appel 6) CarCode, "Software platform for traffic-service ICT ecosystems and business opportunities". Porteur: Easy Innova, Espagne. Durée: 36 mois (Dec. 2012 Nov. 2015). Budget LIGM: 451 K€.
- ITEA2 (appel 5) WoO, "Web of Objects", Porteur : Thales, France. Durée 36 mois (Dec. 2011 Nov. 2014). Aide globale : 12 ME, Budget LIGM : 370 K€.
- projet européen H2020 ITN SUNDIAL (721463) : Survey Network for Deep Imaging Analysis and Learning (2017-2021), porté par l'Université de Groningen (montant total 3,6 M€ dont 263 k€ pour le LIGM).
- projet européen FP7 ICT ROBO-SPECT (611145): Robotic system with intelligent vision and control for tunnel structural inspection and evaluation (2013-2016), porté par Institute of Communication and Computer Systems (ICCS) à Athènes (montant total de 3,3 M€ dont 386 k€ pour le LIGM)

Contrats nationaux (ANR, PHRC, FUI, INCA, etc.) (55 au total)

- FUI (appel 23) SCORPION, "SliCing Optimisé des Réseaux 5G pour l'Internet des Objets : Applications aux usages Energie", Porteur : NOKIA Bell-Labs, France. Durée : 24 mois (Sept. 2017 - Aout 2019). Aide globale : 912 K€, Budget LIGM : 150 K€. Responsable LIGM : R. Langar.
- FUI (appel 22) CEOS, "Reliable and secure system of inspections of pieces of works using mini-drones", Porteur: Thales Communications & Security, France. Durée: 36 mois (Mai 2017 Avril 2020). Aide globale: 1950 K€, Budget LIGM: 270 K€. Responsable LIGM: L. George.
- FUI (appel 20) PODIUM, "PlatefOrme pour Déchargement sécurIsé dans le cloUd Mobile",
 Porteur : Thales Communications & Security, France. Durée : 36 mois (Fév. 2016 Janvier 2019). Aide globale : 1532 K€, Budget LIP6/LIGM : 267 K€. Responsable LIP6/LIGM : R. Langar.
- FUI (appel 20) ELASTIC networks, "Plateforme de test C-RAN pour les réseaux mobiles nouvelle génération", Porteur : ERCOM, France. Durée : 30 mois (Oct. 2015 Mars 2018). Aide globale : 1307 K€, Budget LIP6/LIGM : 247 K€. Responsable LIP6/LIGM : R. Langar.
- ANR JCJC EnHerit : Enhancing Heritage Image Databases (2018-2022), porté par M. Aubry (290 k€)
- ANR JCJC SAGA : Structural geometric approximation for algorithms (2014-2018), porté par N. Mustafa (183 k€).
- ANR Semapolis : Semantic visual analysis and 3D reconstruction of urban environments (2013-2017), porté par R. Marlet (186 k€).
- ANR CARMA (2012-2017), porté par J.-Y. Thibon (179 K€).
- ANR Presage (méthodes PRobabilistes pour l'Éfficacité des Structures et Algorithmes GEométriques) (2011-2015) portée par X. Goaoc (400K€ total).
- ANR JCJC AMIS (2011-2014), portée par A. Carayol (110K€).
- ANR JCJC BIRDS (2011-2015), portée par G. Blin (porteur) (160K€).
- ANR MDCO DIONISOS(2012-2016), portée par Ph. Loubaton (190 K€pour le LIGM).
- ANR Blanc HIDITSA (2017-2021), portée par Ph. Loubation (150 K€pour le LIGM).
- ANR JCJC MajIC (2018-202), portée par E. Chouzenoux (190k€pour le LIGM).
- CNRS Mastodons TABASCO (2016-2018) porté par E. Chouzenoux (35k€pour le LIGM).

Contrats avec les collectivités territoriales (4 au total)

Aucun sélectionné

Contrats financés dans le cadre du PIA (11 au total)

- Projet SATT-Innov II-de-France: BadZAk Geographic data dissemination and transportation in vehicular networks with hybrid wireless access. Durée: 12 mois (Mars 2018 - Mars 2019).
 Responsable LIGM: A. Rachedi/H. Badis. Budget LIGM: 150 K€.
- Projet SATT-Innov II-de-France: BeC3 Behaviour Crowd Centric Composition. Durée: 9 mois (Octobre 2016 Juin 2017). Responsable LIGM: S. Cherrier. Budget LIGM: 100 K€.
- Projet collaboratif I-Site FUTURE WESTERN: Wireless sEnsor networks for the STructural hEalth monitoring of urban infRastructures in the coNtext of water damage. Partenaires: ESYCOM, COSYS/LEOST, LIGM, Ifsttar. Durée: 36 mois (Juin 2018 Juillet 2020). Responsable LIGM: L. George.
- Le LIGM a bénéficié de trois demi-allocations doctorales par le Labex Bézout.

Contrats financés par des associations caritatives et des fondations (ARC, FMR, FRM, etc.) Sans objet.

7.2.1.11 Post-doctorants et chercheurs seniors accueillis Post-doctorants (17 au total)

Voir la liste dans chaque équipe.

Chercheurs seniors accueillis (21 au total)

Voir la liste dans chaque équipe.

7.2.1.12 Indices de reconnaissance

Prix (19 au total)

Philippe Loubaton a obtenu le grand prix Emilia Valori de l'Académie des Sciences en 2018.

Les membres du LIGM ont eu de nombreux prix de type "best papers awards", dont Claire David qui a obtenu le *test of time award* à PODS 2016 pour l'article PODS2006 : *Two-Variable Logic on Data Tree and XML Reasoning* écrit en collaboration avec Mikolaj Bojanczyk, Anca Muscholl, Thomas Schwentick et Luc Segoufin.

L'équipe A3SI a obtenu un prix de thèse de l'Université Paris-Est (2015) par R. Kiran, et un prix de thèse AFRIF (2016) par O. Merveille.

Distinctions (4 au total)

Maxime Crochemore, Docteur Honoris causa à l'Université de Helsinki et Mohammed Akil de l'Université West Bohemia, tous les deux en 2013.

Appartenance à l'IUF

- Philippe Loubaton a été membre senior de l'IUF de 2012 à 2017.
- Jean-Christophe Pesquet est membre de l'IUF senior depuis 2016.
- Xavier Goaoc est membre de l'IUF junior depuis 2014.

Responsabilités dans des sociétés savantes

Des membres de LRT et de Signal font partie de comités techniques IEEE.

Invitations à des colloques / congrès à l'étranger (47 au total)

- *Philippe Biane* Probability and Representation Theory, ICLS, 2014.
- Cyril Nicaud, International Symposium on Mathematical Foundations of Computer Science (MFCS), 2014.
- Guillaume Obozinski REDIUM Workshop on Methodological Advances in Statistics related to Big Data, 2015.

- *Maxime Crochemore*, Combinatorial Pattern Matching (CPM), 2015.
- Gregory Kucherov, Combinatorial Pattern Matching (CPM), 2016.
- Laurent Najman, International Conference on Advances in Pattern Recognition (ICAPR), 2017.

Séjours dans des laboratoires étrangers

Voir la liste dans chaque équipe.

7.2.2 Intéraction avec l'environnement

7.2.2.1 Brevets, licences et déclarations d'invention

Brevets déposés

— FR 17-53142 : M. Aubry, P.-A. Langlois, J. Brabet-Adonajlo, Processus automatisé de reconnaissance d'un objet, 2017 (aussi United Kingdom Patent Application No. 1615349.6)

Brevets acceptés

- FR1761613 : A. Rachedi, H. Badis, « Procédé et ensemble permettant à des terminaux utilisateurs finaux d'échanger par l'intermédiaire d'un réseau multi-sauts sans fil de proximité de communication à architecture dynamique » 2017
- US Patent No. 9,519,837 : X. Mei, Ch. Wang, Z. Hong, D. Prokhorov and D. Tao, Tracking using multilevel representations, 2016
- US Patent No. 9,613,273 : Z. Hong, X. Mei, Z. Chen, Ch. Wang, D. Prokhorov and D. Tao, Apparatus and method for object tracking, 2017

Brevets licenciés

Sans objet.

Déclaration d'invention

Sans objet.

7.2.2.2 Interactions avec les acteurs socio-économiques

Contrats de R&D avec des industriels (8 au total)

Nos principaux contrats (montant > 25 k€) avec des industriels ou EPIC sont les suivants :

- CSTB, 2015-2018, 108 k€
- Facebook, 2016-2019, 60 k€
- Heartflow Inc (USA), 2015-2018, 278 k€
- L'Oréal, 2013-2015, 124 k€
- RTE, 2016-2019, 120 k€
- SAGEM Com, 2013-2016, 400 k€

Bourses Cifre (16 au total)

Voir la liste dans chaque équipe.

Créations de laboratoires communs avec une / des entreprise(s)

Sans objet.

Création de réseaux ou d'unités mixtes technologiques

Sans objet.

Créations d'entreprises, de start-up

Sans objet.

7.2.2.3 Activités d'expertise scientifique

Activités de consultant

Quelques membres du laboratoire ont eu l'occasion de travailler comme consultant.

Participation à des instances d'expertise (type Anses) ou de normalisation

Sans objet.

Expertise juridique

Sans objet.

Rapports d'expertises techniques, produits des instances de normalisation

Abdellatif Zaidi a participé à l'instance 3GPP "3rd Generation Partnership Project" qui est un organisme organisant la coopération entre organismes de standardisation de télécommunications dont l'Union Internationale des Télécommunications.

7.2.2.4 Produits destinés au grand public

Émissions radio, TV, presse écrite

Sans objet.

Produits de vulgarisation : articles, interviews, éditions, vidéos, etc. (6 au total)

- « Last Project », méthode d'enseignement qui mêle piratage et pédagogie, dans VousNousIls l'e-mag de l'éducation.
- Le Monde, 27/03/2013 Nos petites madeleines, Sandrine Blanchard ⁷

Produits de médiation scientifique

Xavier Goaoc est membre du comité éditorial de la rubrique *Objet du mois* du site *Images des mathématiques*.

Débats science et société

Sans objet.

7.2.3 Implication dans la formation par la recherche

7.2.3.1 Produits des activités pédagogiques et didactiques Ouvrages (4 au total)

- Laurent Najman et Hugues Talbot, "Mathematical morphology: from theory to applications", John Wiley & Sons 2013.
- Laurent Najman et Pascal Romon, "Modern Approaches to Discrete Curvature." Springer International Publishing 2017.
- Stephane Lohier, Dominique Présent, "Réseaux et Transmissions". Dunod, 2016.

E-learning, moocs, cours multimedia, etc.

Le projet *Premier Langage*, porté par Dominique Revuz, vise à développer un dispositif d'amélioration des pratiques pédagogiques à destination des enseignants et des apprenants en programmation. Ce projet a bénéficié à travers le programme IDEA d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme Investissements d'avenir (référence ANR-11-IDFI-0022) en complément d'un apport de l'UPEM. Cette aide a permis pendant les années 2016-2018 de développer le serveur d'exercices aléatoires PL. Nous sommes aujourd'hui dans une nouvelle phase de développement et de diffusion et ceci dans le cadre du projet sur initiative *WIMS-évolution* qui

 $[\]mathbf{6.\ http://www.vousnousils.fr/2016/10/24/last-project-piratage-pedagogie-594828}$

^{7.} http://www.lemonde.fr/idees/article/2013/03/27/nos-petites-madeleines_3148785_3232.html

a été retenu en Juin 2018, ce projet soutiendra le développement de la plateforme sur les deux prochaines années 2019-2020.

7.2.3.2 Productions scientifiques (articles, ouvrages, etc.) issues des thèses (388 au total)

Nous renvoyons aux annexes de chaque équipe pour voir leur sélections des articles produits pendant les doctorats.

7.2.3.3 Efficacité de l'accompagnement des étudiants et qualité de leur encadrement (financement, durée des thèses, taux d'abandon)

Les financements sont d'origines variées (allocation doctorales des tutelles, thèses CIFRE, financements sur projets, ...). La durée moyenne des thèses soutenues dans le laboratoire est de 43 mois.

Il y a eu 6 abandons de thèses, pour des raisons très variées, pendant la période évaluée.

7.2.3.4 Suivi des doctorants en liaison avec les écoles doctorales et attention portée à l'insertion professionnelle des docteurs

Le suivi des doctorants est institutionnalisé au niveau de l'école doctorale, où sont organisés des comités de suivi individuels. Chaque directeur de thèse suit l'insertion professionnelle des docteurs, même s'il n'y a aucune difficulté dans le domaine pour trouver un emploi. Les doctorants du laboratoire trouvent en général soit une position académique, dans l'enseignement supérieur ou un emploi dans le secteur privé.

7.2.3.5 Labellisation nationale ou internationale des formations (Erasmus mundus p. ex.) Sans objet.

7.2.3.6 Accompagnement des séminaires de doctorants par des chercheurs; degré de participation des doctorants à la vie de l'entité de recherche

Les doctorants sont régulièrement invités à présenter leurs travaux liés aux articles acceptés dans des conférences ou journaux internationaux. Les nouveau doctorants sont invités à présenter leur thématique de recherche après avoir réalisé un premier état de l'art. Cela se manifeste différemment selon les équipes, qui sont plus ou moins bien organisées sur ce sujet. L'équipe A3SI organise très régulièrement des ateliers de doctorants, et l'équipe Combi fait participer pleinement leurs étudiants à leur groupe de travail du vendredi matin.

7.2.3.7 Mobilisation des chercheurs dans le montage de formation de niveau master

Xavier Goaoc, responsable du Master Mention Informatique de l'IGM, a initié une évolution du parcours type *Informatique Fondamentale* (effective dès la rentrée 2018-2019) vers un parcours type entièrement mutualisé commun aux masters mention Informatique et mention Mathématiques et Applications. Les cours seront assurés conjointement avec nos collègues mathématiciens et s'adresseront à des étudiants en mathématiques et en informatique.

A. Rachedi a monté la spécialité SSIO du Master d'Informatique de l'UPEM, de nombreux membres de l'équipe LRT y enseignent et participent au renouvellement des cours chaque année.

N. Ait-Saadi a monté la nouvelle filière Cyber-sécurité du cycle ingénieur d'ESIEE Paris (niveau M1 et M2) en 2018, pour une ouverture de la filière en septembre 2018.

Les équipes

| Algorithmes, architectures, analyse et synthèse d'images | | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Présentation de l'équipe | | | | | | | |
| Produits et activités de recherche Analyse SWOT | | | | | | | |
| Projet scientifique à cinq ans Organisation de la vie de l'équipe | | | | | | | |
| Recommandation de l'AERES en 2013 | | | | | | | |
| Annexe : sélection des produits et des activités de recherche | | | | | | | |
| Combinatoire Algébrique et Calcul Symbolique | | | | | | | |
| Présentation de l'équipe Produits et activités de recherche | | | | | | | |
| Analyse SWOT | | | | | | | |
| Projet scientifique à cinq ans Organisation de la vie de l'équipe | | | | | | | |
| Recommandation de l'AERES en 2013 | | | | | | | |
| Annexe : sélection des produits et des activités de recherche | | | | | | | |
| Logiciels, Réseaux, Temps Réel | | | | | | | |
| Présentation de l'équipe Produits et activités de recherche | | | | | | | |
| Analyse SWOT | | | | | | | |
| Projet scientifique à cinq ans Organisation de la vie d'équipe | | | | | | | |
| Recommandation de l'AERES en 2013 | | | | | | | |
| Annexe : sélection des produits et des activités de recherche | | | | | | | |
| Modèles et Algorithmes | | | | | | | |
| Présentation de l'équipe Produits et activités de recherche | | | | | | | |
| Analyse SWOT | | | | | | | |
| Projet scientifique à cinq ans Organisation de la vie de l'équipe | | | | | | | |
| Recommandations de l'AERES en 2013 | | | | | | | |
| Annexe : sélection des produits et des activités de recherche | | | | | | | |
| Signal et communication | | | | | | | |
| Présentation de l'équipe Produits et activités de recherche de l'équipe | | | | | | | |
| | | | | | | | |

12.3

12.4

12.5

12.6

Analyse SWOT

Projet scientifique à 5 ans

Recommandations de l'AERES en 2013

Annexe : sélection des produits et des activités de recherche

8 Algorithmes, architectures, analyse et synthèse d'images

8.1 Présentation de l'équipe

8.1.1 Introduction

L'équipe Algorithmes, Architectures, Analyse et Synthèse d'Images (A3SI) compte actuellement 27 membres permanents. Elle regroupe des chercheurs et enseignants-chercheurs du CNRS, de l'ENPC, de l'ESIEE et de l'UPEM. Elle est répartie principalement sur deux sites voisins du campus Descartes, à l'ESIEE (bâtiment Perrault) et à l'ENPC (bâtiment Coriolis), quelques enseignants-chercheurs de l'UPEM (bâtiment Copernic, où ont lieu leurs cours et où se trouve le reste du laboratoire) ayant un second bureau à l'ESIEE ou à l'ENPC.

Trois membres du LIGM : Sana Berraf, Chengbin Chu et Abderrahim Sahli, arrivés récemment et travaillant dans le domaine de la recherche opérationnelle, ont été intégrés provisoirement à l'équipe A3SI en 2018 à défaut d'une meilleure affectation. Presque tous leurs travaux sur la période ayant été produits hors du LIGM, il n'en sera pas fait mention dans ce chapitre consacré à A3SI.

L'équipe A3SI travaille essentiellement dans le domaine de l'image, et en étudie de nombreux aspects, comme la vision par ordinateur, la segmentation, les architectures spécialisées, la synthèse d'image, la reconstruction 3D. Elle utilise et développe des champs scientifiques en lien avec ses objectifs, en particulier la morphologie mathématique, la géométrie discrète, la géométrie algorithmique, l'optimisation, la combinatoire et l'apprentissage statistique. Elle contribue à l'enrichissement de ces domaines par l'introduction de nouveaux concepts, opérateurs, algorithmes, et débouchés applicatifs.

Fruit de travaux le plus souvent collaboratifs, l'équipe A3SI a une production scientifique importante, en quantité (plus de 3 publications par an par chercheur, grand nombre de logiciels) comme en qualité (nombreuses publications de rang A, logiciels largement utilisés). Cela s'assortit d'une reconnaissance nationale et internationale en termes de collaborations, invitations et participations à des comités scientifiques. L'équipe a également une forte activité contractuelle, tant institutionnelle que privée. Enfin, elle contribue largement à la formation d'ingénieurs et à la formation par la recherche (taux d'encadrement doctoral élevé).

8.1.2 Effectifs

En termes d'effectifs, A3SI est l'une des deux grandes équipes du LIGM. Elle accueille un grand nombre de doctorants, le plus souvent avec des financements pleins ou partiels sur contrats. Pour plus de lisibilité, nous avons choisi de distinguer les doctorants en cours des docteurs ayant soutenu.

Effectifs permanents

La majorité des membres permanents de l'équipe sont chercheurs ou enseignants-chercheurs de l'ESIEE ou de l'ENPC. L'équipe compte également quelques chercheurs et enseignants-chercheurs de l'UPEM et du CNRS.

| AKIL | Mohamed | PR ESIEE | émérite depuis juillet 2017 |
|-------------------|------------|-----------|--------------------------------------|
| AUBRY | Mathieu | CR ENPC | recruté en 2014 |
| BERRAF | Sana | MdC ESIEE | a rejoint le LIGM en 2017 |
| BERTRAND | Gilles | PR ESIEE | émérite depuis juillet 2018 |
| BIRI | Venceslas | PR UPEM | vice-président enseignement UPEM |
| BUZER | Lilian | MdC ESIEE | |
| CHIERCHIA | Giovanni | MdC ESIEE | recruté en 2015 |
| CHU | Chengbin | PR ESIEE | recruté en 2017 |
| COUPRIE | Michel | PR ESIEE | co-responsable équipe A3SI |
| COUSTY | Jean | MdC ESIEE | HDR en septembre 2018 |
| DE LA GORCE | Martin | CR ENPC | CDD 3 ans de 2013 à 2016 |
| DOKLADALOVA | Eva | MdC ESIEE | |
| GRANDPIERRE | Thierry | MdC ESIEE | |
| JEANSOULIN | Robert | DR CNRS | émérite |
| KACHOURI | Rostom | MdC ESIEE | |
| KENMOCHI | Yukiko | CR CNRS | HDR soumise |
| KOMODAKIS | Nikos | CR ENPC | HDR en 2013, à 20% depuis sept. 2015 |
| MARLET | Renaud | DR ENPC | co-responsable équipe A3SI |
| MONASSE | Pascal | CR ENPC | HDR en 2013 |
| MUSTAFA | Nabil | PR ESIEE | HDR en 2013 |
| NAJMAN | Laurent | PR ESIEE | |
| NEVEU | Bertrand | DR ENPC | |
| NOZICK | Vincent | MdC UPEM | |
| OBOZINSKI | Guillaume | CR ENPC | |
| PARAGIOS | Nikos | DR ENPC | à 50% jusqu'à sept. 2013 |
| PERRET | Benjamin | MdC ESIEE | |
| SAHLI | Abderrahim | MdC ESIEE | recruté en 2017 |
| SERRA | Jean | PR ENSMP | émérite, a quitté le LIGM en 2017 |
| TALBOT | Hugues | PR ESIEE | en disponibilité depuis mai 2018 |
| WANG | Chaohui | MdC UPEM | recruté en 2014 |
| | | | |

Docteurs - thèses soutenues

| Nom | Prénom | Directeur(s) | Dates | Titre |
|-------|------------|--------------|---------------|---|
| BAHRI | Nejmeddine | M. AKIL | 2011- 2015 | Étude et conception d'un encodeur vidéo H264/AVC de résolution HD sur une plateforme multicœur. |

| BEHIRI | Walid | M. AKIL | 2015- 2017 | Une méthodologie pour modéliser et optimiser la mutualisation du transport ferroviaire urbain de marchandises et de passagers. |
|---------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|--|
| BOULC'H | Alexandre | R. MARLET | 2011- 2014 | Reconstruction automatique de maquettes numériques 3D. |
| BOURKI | Amine | R. MARLET | 2012- 2017 | Vers une modélisation urbaine 3D extensible intégrant des a priori de structure géométrique. |
| BOUTRY | Nicolas | L. NAJMAN | 2014- 2016 | Une étude du bien-composé en dimension n . |
| BUS | Norbert | V. BIRI | 2012- 2015 | L'utilisation des structures géométriques pour synthèse d'image et optimisation. |
| CARLINET | Edwin | J. SERRA | 2012- 2015 | Un arbre des formes pour les images multivariées. |
| CONEJO | Bruno | P. MONASSE | 2013- 2017 | Technique d'optimisation pour l'appariement d'images en télédétection. |
| ELLOUMI | Yaroub | M. AKIL | 2009- 2013 | Parallélisme des nids de boucles pour l'optimisation du temps d'exécution et de la taille du code. |
| FARABET | Clément | L. NAJMAN | 2010- 2013 | Analyse Sémantique des Images en Temps-Réel avec des Réseaux Convolutifs. |
| FEKI | Oussama | M. AKIL | 2009- 2015 | Contribution à l'implantation optimisée de l'estimateur de mouvement de la norme H.264 sur Plates-Formes Multi Composants par extension de la méthode AAA. |
| GADDE | Raghu Deep | R. MARLET, N. PARAGIOS | 2012- 2017 | Segmentation sémantique d'images for- tement structurées et faiblement structu- rées. |
| GROSSIORD | Eloïse | L. NAJMAN | 2013- 2017 | Approches hiérarchiques pour l'analyse d'images multivaluées. Application à la segmentation des images TEP/TDM. |
| ISAVUDEEN | Ali | M. AKIL | 2014- 2017 | Architecture Dynamiquement Auto- adaptable pour Systèmes de Vision Embarquée Multi-capteurs. |
| JULLIAND | Thibault | H. TALBOT | 2014- 2018 | Détection automatique du splicing dans les images digitales par exploitation du bruit. |
| KANJ | Ali | H. TALBOT | 2013- 2017 | Dé-flicker et Correction colorimétrique temps-réel pour les vidéos haute vitesse. |
| KHOSHNOUDIRAD | Daniel | H. TALBOT | 2016 (fin de thèse) | Aspects combinatoires des motifs li- néaires en géométrie discrète. |
| KHOUAJA | Ibtissem | M. AKIL | 2012- 2017 | Imagerie cérébrale : Traitement et modé- lisation embarquée. |
| KIRAN | Bangalore Ravi | J. SERRA | 2011- 2014 | L'optimisation par trellis énergétique. |

| KOZINSKI | Mateusz | R. MARLET | 2011- 2015 | Segmentation d'images de façade avec à priori sur la forme. | |
|-----------|-------------------|---------------------------|---------------|---|--|
| LIU | Zhe | R. MARLET, P. MONASSE | 2011- 2015 | Sélection et raffinement de mises en cor- respondance robustes pour l'estimation de pose précise de caméras. | |
| MASSA | Francisco | R. MARLET, M. AUBRY | 2012- 2017 | Mise en relation d'images et de modèles 3D avec des réseaux de neurones convolutifs. | |
| MATAS | Petr | M. AKIL | 2007- 2014 | Construction d'Arbre des Composantes Connexes pour les Systèmes Embarqués. | |
| MELKI | Imen | L. NAJMAN | 2010- 2015 | Vers un système automatisé pour la dé tection et la quantification des lésions co ronaires dans des angiographies CT car diaques. | |
| MERVEILLE | Odyssée | H. TALBOT | 2013- 2016 | RORPO: Une méthode morphologique pour l'analyse des structures curvilignes; Application au filtrage et à la segmenta- tion de vaisseaux sanguins. | |
| MOULON | Pierre | R. MARLET, P. MONASSE | 2010- 2014 | Positionnement robuste et précis de réseaux d'images. | |
| NGO | Hoai Diem Phuc | M. COUPRIE | 2010- 2013 | Transformations rigides sur les images numériques 2D Analyse combinatoire et topologique. | |
| NOËL | Laurent | V. BIRI | 2012- 2015 | Analyse de formes pour l'illumination globale. | |
| OK | David | R. MARLET | 2009- 2013 | Mise en correspondance robuste et dé- tection de modèles visuels appliquées à l'analyse de façades. | |
| PAGET | Mathias | P. MONASSE, JPh. TAREL | 2014- 2017 | Optimisation discrète et indices de sta- bilité appliqués à la stéréoscopie en contexte routier. | |
| PLUTA | Kaçper | Y. KENMO- CHI | 2014- 2017 | Déplacements sur des espaces discrets. | |
| POSTOLSKI | Michal | M. COUPRIE | 2009- 2013 | Topologie discrète et algorithmes géo- métriques pour l'analyse quantitative de l'arbre bronchique humain. | |
| PUYBAREAU | Elodie | L. NAJMAN | 2013- 2016 | Analyse du mouvement pour applications médicales et bio-médicales. | |
| ROBIC | Julie | M. COUPRIE | 2015- 2018 | Caractérisation automatique du vieillissement de la peau par microscopie confocale in-vivo | |
| RUDAKOVA | Victoria | P. MONASSE | 2010- 2014 | Vers l'étalonnage interne de caméra à haute précision. | |
| SALAÜN | Yohann | R. MARLET, P. MONASSE | 2015- 2017 | Reconstruction 3D de scènes d'intérieurs à partir de photographies. | |
| SOUA | Mahmoud | M. AKIL | 2012- 2016 | Extraction hybride et description structu- relle de caractères pour une reconnais- sance efficace de texte dans les docu- ments hétérogènes scannés. | |

| XU | Yongchao | L. NAJMAN | 2010- | Espaces de formes basés sur des arbres |
|----|----------|-----------|-------|--|
| | _ | | 2013 | pour applications en traitement d'images |
| | | | | et vision par ordinateur. |

Doctorants - thèses en cours

| Nom | Prénom | Directeur(s) | Début | Titre |
|-----------------------|--------------|---|-------|--|
| BACCHUWAR | Ketan | L. NAJMAN | 2014 | Traitement d'images pour l'analyse sémantique des interventions coronariennes en cardiologie |
| BEN NA- CEUR | Mostefa | M. AKIL | 2018 | Apprentissage en profondeur d'un réseau de neu- rones pour la segmentation et la classification en Imagerie Médicale |
| BRAHAM | Yosra | M. AKIL | 2013 | Optimisation des coûts des traitements en imagerie médicale et accélération de la reconstruction 3D |
| BREUILS | Stéphane | V. BIRI, V. NOZICK | 2015 | Structures algorithmiques pour les opérateurs d'algèbre géométrique |
| BRIAND | Thibaud | P. MONASSE, J-M. MOREL | 2014 | Synthèse d'image parfaite |
| CAYLLAHUA- CAHUINA | Edward | M. COUPRIE, J. COUSTY, Y. KENMOCHI | 2016 | Morphologie mathématique pour l'annotation de videos |
| CHIHAOUI | Takwa | M. AKIL, R. KACHOURI | 2015 | Authentification des personnes en se basant sur la rétine comme caractéristique biométrique |
| FERNANDEZ- JULIA | Laura | P. MONASSE, M. PIERROT- DESEILLIGNY | 2014 | Reconstruction 3D précise à partir de photographies |
| GENEST | Diane | H. TALBOT 2016 | | Imagerie du modèle alevin de poisson. Application à la toxicologie du developpement |
| GIDARIS | Spyridon | N. KOMODAKIS | 2014 | Scalable Holistic Models for Semantic Image Parsing |
| GROUEIX | Thibault | R. MARLET, 2016 M. AUBRY | | Utilisation d'images synthétiques photoréalistes pour l'apprentissage profond |
| HU | Xu | N. KOMODAKIS, G. OBOZINSKI | 2014 | Sémantisation de grand maillages urbains 3D |
| JAQUET | Clara | H. TALBOT, L. NAJMAN | 2015 | Simulation de perfusion du myocarde à partir d'image tomographique scanner |
| JARTOUX | Bruno | N. MUSTAFA | 2015 | Algorithmes d'approximation pour les pro- blèmes géométriques d'optimisation combina- toire |
| LACROIX | Timothee | R. MARLET, G. OBOZINSKI | 2016 | Méthodes par extraction de représentations sé- mantiques pour l'apprentissage et l'inférence dans les bases de connaissances |
| LANGLOIS | Pierre-Alain | R. MARLET, A. BOULCH | 2017 | Approche conjointe géométrique et sémantique pour la reconstruction de maquettes numériques de bâtiments |

| LEMPEREUR | Sylvain | H. TALBOT | 2017 | Analyse quantitative de la morphologie de poissons aux stades larvaire et juvénile |
|------------------------|-----------------|-------------------------------|------|--|
| NGUYEN | Thanh | L. NAJMAN, H. TALBOT | 2018 | Détection et étude morphologique des sources extra-galactiques par analyse variationnelle |
| OTINIANO- RODRÍGUEZ | Karla Catherine | J. COUSTY, B. PERRET | 2016 | Morphologie mathématique pour la reconnaissance d'actions humaines |
| POILPRE | Marie-Charlotte | H. TALBOT | 2017 | Méthode de comparaison faciale morphologique, adaptée aux expertises judiciaires, basée sur la modélisation 3D |
| QIU | Xuchong | R. MARLET, C. WANG | 2016 | Robotique mobile pour la construction numérique |
| RODRIGUEZ- SALAS | Rosemberg | L. GEORGE, E. DOKLADALOVA | 2017 | Nouveau moteur de calcul embarqué pour Intelligence Artificielle |
| SANTANA- MAIA | Deise | L. NAJMAN, J. COUSTY | 2016 | Apprentissage de hiérarchies de segmentations |
| SBAI | Othman | R. MARLET, M. AUBRY | 2018 | Créativité artificielle à l'aide de réseaux génératifs |
| SHEN | Xi | R. MARLET, M. AUBRY | 2017 | Apprentissage faiblement supervisé |
| | | | | pour reconnaissance d'image |
| SIMONOVSKY | Martin | N. KOMODAKIS | 2015 | Méthodes d'apprentissage en profondeur pour la perception visuelle et la compréhension de scène |
| SINGH | Praveer | N. KOMODAKIS | 2015 | Apprentissage de données massives pour la comprehension des scènes basées vision |
| VINYES | Marina | N. KOMODAKIS, G. OBOZINSKI | 2013 | Modèles et algorithmes efficaces pour les grands problèmes d'apprentissage matriciels |
| ZAGORUYKO | Sergey | N. KOMODAKIS | 2014 | Grande échelle structurée prédiction pour la compréhension de scène |

Une thèse a été abandonnée pendant la période, celle de Nadine Dommanget en 2013 (V. Biri) lors de sa 3ème année.

ATER et Postdocs

Kaçper Pluta a bénéficié d'un poste d'ATER en 2017-2018. Nous avons de plus accueilli plusieurs post-doctorants : Alessandro Benfenati (2016-2018), Gabriele Facciolo (2014-2015), Maxime Maria (2016-2018), Alberto Pimentel (2015-2016), Zhongwei Tang (2013-2014), Wenbin Zou (2014-2015).

8.1.3 Interactions locales et nationales

Au niveau local, l'équipe A3SI entretient des relations scientifiques privilégiées avec l'équipe "Signal et communications" du LIGM, qui se manifestent par plusieurs co-encadrements de thèse, la participation à des projets en commun, et des publications communes, en particulier avec Jean-Christophe Pesquet (Signal et communications) et Hugues Talbot, Laurent Najman, Nikos Komodakis (A3SI), plusieurs co-encadrements de thèse, et la participation à des projets en commun. Par ailleurs, Yukiko Kenmochi a développé des liens avec le Laboratoire d'Analyse et de Mathématiques Appliquées (LAMA-UPEM), en particulier via le co-encadrement d'une thèse et d'un post-doc. Nabil Mustafa a également collaboré avec Xavier Goaoc (équipe "Modèles et Algorithmes", LIGM) et Frédéric Meunier (CERMICS-ENPC).

Au niveau national, l'équipe a développé un riche réseau de collaborations académiques et industrielles. Parmi celles-ci, on peut citer principalement l'ENS Ulm, l'ENS Cachan/Paris-Saclay, l'ENSTA, l'EPITA, l'INRIA, le CSTB, l'IGN, l'IFSTTAR, l'ONERA, LSIIT, l'IRIF, LIRIS, LJK,

LORIA, LIMOS, ISIT, LAMA (Chambéry), LIRMM, I3M et du côté industriel national L'Oréal, Clarins, Saint-Gobain, SAFRAN, SAGEM Com.

En terme de responsabilités, les membres de l'équipe sont également impliqués localement. En particulier, Gilles Bertrand a été responsable du département informatique de l'ESIEE (2002-2017), Michel Couprie a été directeur adjoint de l'école doctorale MSTIC (2009-2018), Hugues Talbot a été directeur de la recherche de l'ESIEE (2015-2017), Venceslas Biri est vice-président enseignement de l'UPEM depuis 2016.

Au niveau national, Guillaume Obozinski est membre d'un comité d'évaluation de l'ANR en 2018.

8.1.4 Rayonnement international

À l'international, l'équipe a plusieurs partenaires académiques privilégiés comme les universités de Lodz, Tokyo, New York (NYU), Berkeley, Campinas, Belo Horizonte, Hiroshima, Bangalore, le NII (Japon), avec parfois des projets qui financent des échanges réguliers. L'équipe entretient également des partenariats industriels donnant lieu à des contrats de recherche et des thèses, avec notamment Heartflow (USA), General Electric, Facebook et Adobe.

Les membres de l'équipe sont régulièrement invités à faire des présentations dans des congrès (ex. Laurent Najman à ICAPR 2017) et à faire partie de comités de programme de conférences majeures (ex. Guillaume Obozinski area chair de NIPS 2013, '14, '16 et '18). Certains également sont membres de comités éditoriaux de revues phares du domaine (ex. Nikos Komodakis pour la revue IJCV). Une sélection de telles participations est donnée en annexe. En outre, Mohamed Akil a reçu le titre de docteur honoris causa de l'Université West Bohemia en République Tchèque.

8.1.5 Formation par la recherche

Les membres de l'équipe interviennent dans des formations de Master et des filières d'ingénieurs suceptibles d'amener des étudiants à poursuivre des travaux de thèse sur nos thématiques de recherche. Citons en particulier le master "Science de l'image" de l'UPEM, le master "Mathématiques Vision et Apprentissage" de l'ENS Cachan (maintenant ENS Paris-Saclay), le master IMA de Télécom ParisTech, les filières informatiques de l'ENPC et de l'ESIEE, l'IMAC, la filière image de l'ISBS, le post-Master PSL-ITI, ainsi qu'un cours d'introduction à la vision artificielle à l'ENS IIIm

Nous intervenons également dans des écoles thématiques, écoles d'été et cours invités (ex. Guillaume Obozinski à l'université de Louvain-la-Neuve et à l'Université Cadi Ayyada).

8.2 Produits et activités de recherche

8.2.1 Bilan scientifique

Nos travaux s'organisent autour de cinq thématiques principales, qui sont :

- Architectures dédiées pour l'imagerie;
- Géométrie et topologie discrètes, géométrie algorithmique;
- Morphologie mathématique, filtrage et analyse d'images;
- Optimisation, apprentissage et traitement d'images;
- Vision artificielle.

Ce découpage thématique n'est pas cloisonnant parmi les chercheurs, un chercheur pouvant contribuer à plusieurs thématiques. Dans la suite de cette section, nous décrivons de manière synthétique, pour chacune d'elles, les principaux résultats que nous avons obtenus durant la période de l'évaluation.

8.2.1.1 Architectures dédiées pour l'imagerie

Que ce soit pour satisfaire à des contraintes temps-réel, de faible consommation ou de réduction drastique des temps de calcul, pour des applications aussi diverses que les systèmes de vision portables, la reconnaissane optique de caractères ou l'imagerie médicale, il est parfois indispensable de faire appel à des architectures spécialisées. Notre équipe a développé une expertise dans la conception de telles architectures et de l'algorithmique adaptée à celles-ci.

Algorithmes et architectures pour systèmes de vision embarquée (E. Dokladalova, M. Akil).

Ce thème est lié aux systèmes de vision portables ou mobiles ou la demande applicative est extrêmement forte et qui implique des nouveaux défis scientifiques : traitement temps-réel des flux vidéo en résolution dépassant HD, complexité croissante algorithmique, augmentation du nombre des capteurs au sein d'un même système et nécéssité du support des fonctions variées au sein du même système. Il est ainsi très important de disposer d'algorithmes à complexité réduite pour les opérateurs de base, en particulier pour ceux de la morphologie mathématique qui sont très utilisés en vision et propices à divers types d'optimisation.

D'une part, nous avons finalisé un nouvel algorithme "Peak elimination" à complexité linaire pour calcul parallèle des ouvertures/fermetures et granulométries morphologiques en temps constant par rapport à la taille et le nombre d'opérateurs du filtre [AJ4]. Nous avons développé un coprocesseur morphologique, accélérateur matériel programmable, spécialisé dans les traitements avec des éléments structurants de grandes tailles, qui fournit des performances inégalées [AJ5].

D'autre part, nous avons conçu l'architecture P2P : Programmable Pipeline Image Processor, un nouveau processeur systolique, programmable, basse consommation pour le traitement de flot de pixel, en collaboration avec Université de Mons. Nous avons également proposé une nouvelle approche de la conception d'un superviseur scalable pour une architecture auto-adaptable et consciente pour système de vision multi-capteur, intégrant à la fois la programmabilité et la reconfigurabilité dynamique.

Implémentation et optimisation d'applications temps-réel (T. Grandpierre, R. Kachouri, M. Akil).

La méthodologie AAA (Adéquation Algorithme Architecture) consiste à étudier simultanément les aspects algorithmiques et architecturaux en prenant en compte leurs interactions, en vue d'effectuer une implantation optimisée de l'algorithme sur les plans matériel et logiciel. Depuis de nombreuses années, notre équipe contribue au développement, avec l'INRIA, du logiciel SynDEx qui supporte cette méthodologie.

Dans un premier temps, nous avons étendu les modèles formels AAA pour supporter la modélisation, l'optimisation et la génération de code sur des architectures mixtes composées à la fois de composants programmables (CPU) et reconfigurables (FPGA, Field Programmable Gate Array). Les résultats ont été implémentés dans un prototype logiciel appelé SynDEx-Mix.

Un second travail s'est focalisé sur les optimisations algorithmiques et architecturales pour l'implémentation d'un encodeur vidéo haute définition. Il s'agissait de transformer les algorithmes pour faire apparaître plus de parallélisme dit "potentiel" afin de pouvoir utiliser efficacement le parallélisme dit "disponible" offert par l'architecture DSP (Digital Signal Processor) choisie. La prise en compte de la hiérarchie mémoire à également été étudiée lors de cette thèse afin de minimiser ou masquer les temps d'accès dans le cas de données volumineuses qui ne pouvaient résider en mémoire interne. Ces travaux ont permis d'enrichir et valider les modèles de la méthodologie [AD2] devenues ainsi plus générique.

Dans le contexte d'AAA, nous avons également étudié et réalisé l'implantion sous contrainte temporelle d'un certain nombre d'algorithmes de traitement d'images et notamment des algorithmes de Reconnaissance Optique de Caractère (ROC). Pour satisfaire des contraintes d'exécution temps-réel, nous avons mené une étude de la méthode de correction gamma proposée par Sumathi et

al. pour l'extraction de texte à partir de scène d'images, ainsi qu'une optimisation algorithmique permettant son accélération [AC16]. Nous avons de plus développé des algorithmes parallèles de ROC en vue d'une implantation sur GPU [AD47] et FPGA [AC15].

Appications au domaine médical (M. Akil).

Dans le cadre d'une collaboration avec des experts médicaux, nous avons proposé une méthode pour la détection précoce des crises d'épilepsie intégrant une localisation de ses origines focales, tout en utilisant un nombre minimal d'électrodes EEG crâniennes. Cette méthode a bénéficié de nouvelles techniques d'optimisation des implantations sur des architectures parallèles et/ou dédiées (FPGA), ainsi que des stratégies de parallélisation sur des architectures multicores à mémoire partagée : parallélisation de nids de boucles , extension de la méthodologie AAA, et segmentation d'images par la ligne de partage des eaux basée sur des opérateurs topologiques.

Nous avons proposé et développé des méthodes et algorithmes associés pour l'aide au diagnostic de pathologies oculaires. Nous avons proposé, validé et implémenté un chaîne de traitements algorithmiques basée sur la Transformée de Radon, assurant un taux de détection de la tête du nerf optique de 96% et 100%, et un temps d'exécution de 2s et 1,3s respectivement sur les bases de données STARE et DRIVE. Cette application a été implantée sur un smartphone, munie d'une lentille D.EYE.

8.2.1.2 Géométrie et topologie discrètes, géométrie algorithmique

Sur la période évaluée, nos travaux dans ces domaines se sont focalisés autour de trois thèmes : les notions topologiques dans des espaces discrets, l'étude des déplacements dans des grilles régulières, et les problèmes NP-difficiles à données géométriques.

Topologie dans des espaces discrets (G. Bertrand, M. Couprie).

En 2007, G. Bertrand introduisait le cadre des noyaux critiques qui est à ce jour le cadre le plus général et le plus puissant pour l'étude et la conception d'algorithmes parallèles d'amincissement homotopique, en dimension quelconque. L'exploitation de ce cadre, débutée sur la période d'évaluation précédente, s'est poursuivie depuis 2013 avec en particulier la proposition de nombreux algorithmes originaux et très efficaces d'amincissement 2D et 3D. Nous avons pu montrer la supériorité de ces derniers sur les algorithmes comparables proposés dans la littérature (voir par exemple [AJ19, AJ7]).

Dans [AC1], nous proposons une extension de l'homotopie simple en considérant des *paires homotopiques*. Une paire homotopique est un couple d'objets (X,Y) tels que $X \subseteq Y$ et (X,Y) peut être transformé en couple trivial par des déformations homotopiques simples qui gardent X dans Y. Ces objets sont donc liés par une relation d'homotopie relative. Cette notion est formalisée par le biais de *completions*, qui sont des propriétés inductives exprimées de manière déclarative. Dans un travail précédent, G. Bertrand a introduit grâce aux complétions la notion de *dyade* qui permet de définir et manipuler des objets qui sont liés par une relation d'homologie relative. Le principal résultat de notre travail est un théorème qui montre qu'un sous-ensemble des cinq complétions définissant les dyades permet une caractérisation complète des paires homotopiques. Ce cadre basé sur les complétions permet donc, d'une manière compacte et naturelle, d'exprimer un lien fort entre des notions relatives à l'homotopie et l'homologie. De tels liens sont très difficiles à obtenir dans le cadre classique.

Complétions. Intuitivement, une *complétion* est une propriété $\langle P \rangle$ qui permet de définir inductivement des familles d'ensembles.

Par exemple, considérons la propriété suivante $\langle P \rangle$ où \mathcal{K} est une collection de complexes simpliciaux : Si $S, T \in \mathcal{K}$, alors $S \cup T \in \mathcal{K}$ lorsque $S \cap T \neq \{\emptyset\}$. $\langle P \rangle$

La notation $\langle \mathbb{C}, P \rangle$ désigne la plus petite famille \mathscr{K} qui contient la collection de cellules \mathbb{C} et qui satisfait la propriété $\langle P \rangle$. Puisque tout complexe dans \mathbb{C} est connexe, on peut vérifier que $\langle \mathbb{C}, P \rangle$ correspond précisément à la famille de tous les complexes connexes.

Le couple $\langle \mathbb{C}, P \rangle$ peut être vu comme un "système de règles de ré-écriture" où, à partir de \mathbb{C} , il est possible de générer tous les complexes connexes en utilisant la complétion (ou règle) $\langle P \rangle$.

Dans la suite, si $\langle P1 \rangle$,..., $\langle Pk \rangle$ sont des completions, la notation $\langle \mathbb{X}, P1, ..., Pk \rangle$ désigne la plus petite famille qui contient \mathbb{X} et qui satisfait chacune des propriétés $\langle P1 \rangle$,..., $\langle Pk \rangle$.

Dyades. Intuitivement, une *dyade* est un couple de complexes (X,Y), avec $X \subseteq Y$, tel que les cycles de X sont "bien placés par rapport à ceux de Y". Autrement dit, X et Y sont liés par une certaine relation d'homologie relative.



Le couple (Q,S) n'est pas une dyade, (R,S) est une dyade. Si (R,S) et $(S \cap T,T)$ sont des dyades alors, par $\langle \ddot{\Upsilon} 1 \rangle$, $(S,S \cup T)$ est une dyade et, par $\langle \ddot{\Upsilon} \rangle$, $(R,S \cup T)$ est aussi une dyade.

Nous posons $\ddot{\mathbb{S}}=\{(X,Y)\mid X,Y\in\mathbb{S},X\subseteq Y\}$, où \mathbb{S} désigne l'ensemble des complexes simpliciaux, et $\ddot{\mathbb{C}}=\{(A,B)\in\ddot{\mathbb{S}}\mid A,B\in\mathbb{C}\}$. Nous notons $\ddot{\mathcal{K}}$ pour une sous-famille arbitraire de $\ddot{\mathbb{S}}$.

Nous définissons cinq complétions sur $\ddot{\mathbb{S}}$. Pour tout $S,T\in\mathbb{S}$, pour tout $(X,Y),(Y,Z),(X,Z)\in\ddot{\mathbb{S}}$.

- Si $(S \cap T, T) \in \mathcal{K}$, alors $(S, S \cup T) \in \mathcal{K}$.
- Si $(S, S \cup T) \in \mathcal{H}$, alors $(S \cap T, T) \in \mathcal{H}$. $\langle \ddot{Y} 2 \rangle$
- Si $(X,Y) \in \mathcal{H}$ et $(Y,Z) \in \mathcal{H}$, alors $(X,Z) \in \mathcal{H}$.
- Si $(X,Y) \in \mathcal{K}$ et $(X,Z) \in \mathcal{K}$, alors $(Y,Z) \in \mathcal{K}$.
- Si $(X,Z) \in \mathcal{K}$ et $(Y,Z) \in \mathcal{K}$, alors $(X,Y) \in \mathcal{K}$.

Nous posons $\ddot{\mathbb{X}} = \langle \ddot{\mathbb{C}}; \ddot{Y}1, \ddot{Y}2, \ddot{T}, \ddot{U}, \ddot{L} \rangle$. Chaque élément de $\ddot{\mathbb{X}}$ est une **dyade**.

Paires homotopiques. Dans la figure, nous voyons qu'il est possible de déformer continûment R en S, cette déformation gardant R dans S. D'où l'idée d'introduire les notions suivantes afin de faire un lien entre les dyades (qui sont liées à l'homologie) et l'homotopie simple (basée sur le collapse).

Si $X, Y \in \mathbb{S}$, nous écrivons $X \stackrel{E}{\longmapsto} Y$, lorsque X est un collapse élémentaire de Y. Nous définissons quatre complétions sur \mathbb{S} . Pour tout (R, S), (R, T), (S, T) in \mathbb{S} ,

- Si $(R,S) \in \mathcal{K}$ et $S \stackrel{E}{\longmapsto} T$, alors $(R,T) \in \mathcal{K}$. $\langle \ddot{\mathbf{H}} 1 \rangle$
- Si $(R,T) \in \ddot{\mathcal{K}}$ et $S \stackrel{E}{\longmapsto} T$, alors $(R,S) \in \ddot{\mathcal{K}}$. $\langle \ddot{\mathbf{H}} 2 \rangle$
- Si $(R,T) \in \mathring{\mathcal{K}}$ et $R \stackrel{E}{\longmapsto} S$, alors $(S,T) \in \mathring{\mathcal{K}}$. $\langle \ddot{\mathbf{H}} 3 \rangle$
- Si $(S,T) \in \mathcal{K}$ et $R \stackrel{E}{\longmapsto} S$, alors $(R,T) \in \mathcal{K}$. $\langle \ddot{\mathbf{H}} 4 \rangle$

Nous posons $\ddot{\mathbb{I}} = \{(X,X) \mid X \in \mathbb{S}\}$ et $\ddot{\mathbb{H}} = \langle \ddot{\mathbb{I}}; \ddot{H}1, \ddot{H}2, \ddot{H}3, \ddot{H}4 \rangle$. Chaque élément de $\ddot{\mathbb{H}}$ est une paire homotopique.

Théorème [AC1]. Nous avons : $\ddot{\mathbb{H}} = \langle \ddot{\mathbb{C}}; \ddot{Y}1, \ddot{T}, \ddot{\mathbb{U}}, \ddot{\mathbb{L}} \rangle$.

Étude des déplacements dans les grilles régulières (Y. Kenmochi).

Nous étudions les déplacements, qui sont parmi les transformations les plus fondamentales en traitement d'images numériques. Bien que les déplacements soient bijectifs et isométriques dans \mathbb{R}^n , ces propriétés sont perdues lors de la digitalisation dans le domaine discret, par exemple \mathbb{Z}^n . Pour étudier ces défauts, nous étendons un modèle combinatoire du comportement local des déplacements dans le domaine discret. Afin de construire ce modèle combinatoire les transformations peuvent être classées en fonction de leur effet sur un patch d'image numérique. Cette classification peut être décrite par des méthodes de géométrie algorithmique [AJ37] et [AC26]. Cela nous permet d'étudier les déplacements bijectifs dans \mathbb{Z}^2 , et de proposer des algorithmes qui permettent de vérifier si un déplacement donné, restreint à un sous-ensemble fini fixé de \mathbb{Z}^2 , est bijectif. Il y a une autre approche arithmétique qui peut certifier la bijectivité (globale) de rotations rationnelles digitalisées en 3D [AC27] et également traiter d'autres pavages réguliers [AJ44]. Ainsi que la bijectivité, l'invariance géométrique et topologique est souvent perdue dans le domaine discret. Afin d'éviter ces problèmes, nous visons donc à développer un cadre purement discret pour les déplacements, en nous appuyant sur des concepts de géométrie discrète et de topologie discrète [AD37, AJ38]. En particulier, la classe des images qui préservent leurs propriétés topologiques (et géométriques) lors de déplacements a été identifiée.

Problèmes NP-difficiles à données géométriques (N. Mustafa).

Ces travaux portent sur plusieurs domaines, avec le même thème commun : la clé pour éviter la **NP**-difficulté inhérente aux problèmes combinatoires est de prendre en compte la *structure géométrique* des données qui existe dans de nombreuses applications. Des motifs et structures géométriques peuvent être trouvés et exploités en synthése d'images, où la simplification de nuages de points massifs est une composante clé des applications graphiques en temps réel [AC3] et [AJ14]; en statistiques, où un début d'étude statistique de données multivariées porte sur l'analyse exploratoire de données, l'identification des valeurs aberrantes, la classification et l'estimation de densité multivariée.

Nous avons aussi travaillé sur des algorithmes pour d'autres problèmes d'optimisation combinatoire géométrique. Un problème ouvert : trouver un algorithme d'approximation pour le *hitting-set* a été résolu [AJ13]; cet article a montré l'utilisation de techniques de recherche locale pour des problèmes géometriques combinatoires, dont les bonnes proprietés ont démontrées, via les graphes de localité, une idée qui a été utilisée par plusieurs articles ultérieurs. D'autres résultats sur des problèmes similaires ont récemment été obtenus. Nous avons aussi obtenu des algorithmes d'approximation pour le calcul de *maximum independent sets* dans les graphes d'intersection géométriques dans \mathbb{R}^2 . D'autres articles incluent le premier algorithme d'approximation pour le "group TSP problem".

Algèbres géométriques (V. Nozick).

Dans le cadre de la thèse de Stéphane Breuils sur les algèbres géométriques, nous avons implanté un générateur de bibliothèques C++ d'algèbres géométriques basé sur une nouvelle formulation récursive des produits usuels [AJ12]. Les bibliothèques générées sont très performantes, notamment en grandes dimensions (nous sommes les seuls à pouvoir les gérer). De ce fait, nous avons été les premiers à pouvoir proposer une algèbre géométrique permettant de construire des surfaces et courbes quadriques par produit extérieur de points de contrôle.

Applications en synthèse d'image (V. Biri).

Nous avons travaillé sur des sujets inter-disciplinaires mêlant la synthèse d'images, la géométrie algorithmique et la géométrie discrète. Ces sujets ont en commun une problématique centrale dans le cadre de l'illumination dite "globale" d'une scène virtuelle qui est le calcul de l'éclairage indirect, où les rayons lumineux font plusieurs rebonds avant de toucher une surface visible.

Le premier sujet a permis d'exploiter la topologie du vide d'une scène virtuelle (squelette robuste de ce vide, issu des travaux de M. Couprie et J. Chaussard) ou de portails entre zones convexes, pour améliorer l'efficacité des lancers de rayons ainsi que des techniques à base de Virtual Point Light (VPL).

Le second sujet, en collaboration avec N. Mustapha, a permis d'améliorer les techniques VPL en exploitant une structure issue de la géométrie algorithmique, les Well Separated Pairs [AJ15].

8.2.1.3 Morphologie mathématique, filtrage et analyse d'images

Nous contribuons au développement de la morphologie mathématique en proposant de nouveaux concepts, méthodes et algorithmes, afin de progresser dans la résolution de problèmes difficiles d'analyse d'image.

Les méthodes proposées ont été utilisées dans des applications en imagerie médicale et biologique, en particulier pour l'amélioration des procédures coronariennes en cardiologie. La participation à des concours a permis de démontrer la pertinence des approches proposées. Ce thème est le sujet de nombreuses collaborations industrielles, avec General Electric Healthcare, L'Oréal, Clarins, Saint Gobain, Heartflow (USA) . . .

Développement de la morphologie mathématique (L. Najman, H. Talbot).

Nous nous intéressons à l'exploration des propriétés de la morphologie mathématique quand l'espace sous-jacent est discret (graphe, complexe simpliciaux, etc.). Cette étude mène à de nombreux résultats, en particulier pour l'application de cette théorie au traitement de données générales. Une première illustration est la conception de filtres dédiés aux objets fins, comme les vaisseaux, reposant sur des chemins discrets [AD35]. Plus généralement, une des principales directions de recherche est de faire le lien entre les opérateurs morphologiques et ceux issus de théories plus classiques. Par exemple, on peut remarquer que la morphologie mathématique et la théorie de classification hiérarchique reposent toutes les deux sur les treillis algébriques de Birkhoff. On trouvera une étude formelle de ces liens dans [AJ21]. En particulier, les algorithmes efficaces pour les opérateurs connexes reposent sur une structure d'arbre. Nous avons proposé d'aller une étape plus loin, en appliquant des opérateurs connexes sur n'importe quel représentation hiérarchique d'une image. L'application des opérateurs connexes sur ces espaces arborescents permet de proposer de nouveaux opérateurs connexes [AJ46, AD49, AJ46, AJ47] qui ont des résultats à l'état de l'art pour plusieurs applications. L'étude de la convergence des minimiseurs de fonctionnelles, connu sous le nom de Gamma-convergence, permet de relier la morphologie mathématique et les approches d'optimisations sur des graphes [AJ32], permettant par exemple de proposer de nouveaux opérateurs de classification spectrale, plus rapides que ceux existants et tout aussi efficaces. Une revue de la plupart de ces résultats à été publié dans [AJ33].

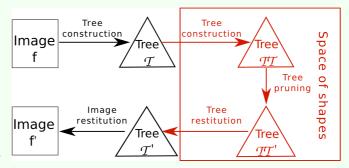
De manière similaire à ce qui peut être fait en homologie persistente, les filtrages morphologiques sur des données ayant une structure topologique est un domaine plein de promesses. Nous avons fait le lien entre la ligne de partage des eaux et les squelettes dans [AJ20]. Les fonctions bien-composées, une approche topologique à la régularité, sont importantes dans de nombreuses applications, par exemple pour dans le calcul de l'arbre des formes (arbre des composantes connexes des lignes de niveau), et méritent à ce titre une étude poussée [AJ11].

Le calcul discret, une approche algébrique au calcul différentiel, est lui aussi adapté pour l'analyse de données générales, par exemple pour l'étude des régularités [AJ34]. Nous avons proposé une version discrète de variation totale basé sur ce calcul, qui préserve des propriétés de continuité.

Les applications sont une motivation pour tester la validité pratique d'une théorie et pour transférer des idées vers l'industrie, avec un impact sur des problèmes réelles. On peut citer l'utilisation des espaces arborescents pour extraire des caractéristiques locales pour la reconstruction 3D [AD49].

Les opérateurs connectés sont des outils de filtrage qui agissent en fusionnant les régions élémentaires d'une image. Une stratégie populaire est basée sur des représentations d'images basées sur l'arbre : par exemple, on peut calculer un attribut basé sur une forme sur chaque nœud de l'arbre et ne conserver que les nœuds pour lesquels l'attribut est suffisamment fort. Cette opération peut être vue comme un seuillage de l'arbre, vu comme un graphe dont les nœuds sont pondérés par l'attribut.

Plutôt que de se contenter d'un simple seuillage, nous avons proposé de développer cette idée et d'appliquer des filtres connectés sur l'arbre lui-même, vu comme un graphe dont les nœuds sont les nœuds de l'arbre et la relation de voisinage est donnée par la relation de parenté. Par conséquent, le filtrage



ne se fait pas dans l'espace de l'image, mais sur l'espace des formes construites à partir de l'image. Un tel traitement est une généralisation des opérateurs connectés basés sur l'arbre. En effet, le cadre inclut les opérateurs connectés par attributs. Cela nous permet également de proposer une classe de nouveaux opérateurs connectés issus de la famille des nivellements, basée sur des attributs de forme. Enfin, nous proposons également une nouvelle classe d'opérateurs que nous appelons les «shapings morphologiques» [AJ47].

Représentations hiérarchiques (J. Cousty, J. Serra, B. Perret, L. Najman).

Nos travaux sur les méthodes d'analyse d'images basées sur des représentations hiérarchiques ont mené à des avancées théoriques, algorithmiques et applicatives.

Du point de vue théorique, nous avons proposé une axiomatique unifiée [AJ40] pour les différentes théories des connexions qui servent de blocs de base pour la construction des représentations hiérarchiques des images. Nous avons développé une extension des représentations hiérarchiques aux graphes dirigés [AJ43] ainsi que les algorithmes de construction et d'analyse associés. Nous avons étudié la possibilité de fusionner des hiérarchies de partitions et nous avons montré que certaines méthodes de combinaison améliorent les résultats pour la segmentation d'images naturelles.

Des nouvelles représentations des hiérarchies de partitions, par série d'ensembles, dendrogrammes, fonctions caractéristiques (cartes des saillance) et arbres de poids minimum ont été étudiées. Plusieurs théorèmes non triviaux établissant l'équivalence de ces représentations ont été proposés conduisant à des algorithmes efficaces pour calculer des hiérarchies utiles pour analyser des images par morphologie mathématique, comme les lignes de partage des eaux. En pratique, l'évaluation des résultats obtenus avec ces méthodes démontrent leur intérêt y compris par rapport à des méthodes utilisant les réseaux de neurones profonds pour segmenter des images. Reposant sur ces différentes représentations, un cadre permettant de rendre hiérarchiques des méthodes de segmentation non hiérarchiques a été initié. Une généralisation de la notion de hiérarchie, appelée tresse, a été définie et des algorithmes permettant d'identifier des partitions optimales dans des tresses ont été proposés. Enfin, une partie de ces notions a été étendue aux graphes dirigés.

Concernant les aspects applicatifs, nous avons proposé un nouveau cadre d'évaluation des hiérarchies de segmentation afin de mieux prendre en compte l'aspect hiérarchique de ces structures [AJ42]. Nous avons travaillé sur l'analyse et le filtrage robuste des représentations hiérarchiques d'images reposant sur des modèles markoviens en échelle [AJ41], nous avons montré que cette nouvelle approche permet d'atteindre des résultats au niveau de l'état de l'art pour la détection

des vaisseaux sanguins dans les images de fond de l'œil. Nous avons développé une nouvelle méthode d'analyse de régularité d'une surface basée sur l'analyse hiérarchique de la forme de la surface, utilisée dans la caractérisation automatiquement du vieillissement de la peau.

Analyse d'images (V. Nozick, R. Kachouri)

Une thèse porte sur la détection de falsification d'images et en particulier de copier-coller d'une image vers une autre. Nous analysons l'homogénéité du bruit de l'image [AC14] afin de détecter des anomalies potentielles. Nous comparons différentes approches, en particulier le deep-learning, pour la détection de falsification d'images.

Nous avons proposé un nouveau système biométrique robuste d'identification humaine basée sur la détection d'anneau d'intérêt autour du disque optique dans les images rétiniennes [AC6]. Une nouvelle méthode de détection des émotions a été également développée.

Dans un contexte de segmentation de type "Split-Merge" nous avons proposé une nouvelle méthode de segmentation non supervisée [AC17].

D'autre part, nous avons proposé une nouvelle méthode de dématérialisation des documents scannés [AC32]. Les algorithmes proposés s'adaptent aux trois catégories de répartition des zones de texte dans les documents hétérogènes : texte simple, légende d'image et texte dans une scène.

8.2.1.4 Optimisation, apprentissage et traitement d'images

Beaucoup de problèmes de traitement d'images et de vision artificielle s'expriment et se résolvent avantageusement sous forme de problèmes d'optimisation ou à travers des exemples annotés plutôt que des règles a priori, écrites à la main. C'est pourquoi nous portons un intérêt particulier aux techniques d'optimisation et d'apprentissage statistique, outre l'intérêt propre qu'ont ces disciplines, notamment avec l'essor récent des sciences des données.

Parcimonie structurée (G. Obozinski).

Nous avons proposé un cadre qui unifie une grande partie des formulations convexes proposées pour la parcimonie structurée vectorielle. Ce cadre permet d'avoir des résultats généraux, en haute dimension, pour la vitesse de convergence statistiques des estimateurs. Pour une grande partie des formulations, il permet aussi de construire des algorithmes proximaux efficaces pour les calculs d'estimateurs. Nous avons aussi étudié des méthodes efficaces pour des formulations non couvertes par les algorithmes proximaux classiques : problèmes régularisés en variation totale et problèmes pénalisés par la longueur totale des surfaces de discontinuités [AJ30]. On a en outre proposé [AD48] un algorithme de gradient conditionnel utilisant des méthodes d'active set issues des techniques d'optimisation pour les problèmes quadratiques, qui fournit entre autres un algorithme très efficace pour un bon nombre de normes, comme celle proposée dans [AC28], qui permet d'induire des modèles de matrices à facteurs parcimonieux afin de résoudre des problèmes inverses avec un ordre de grandeur de données en moins.

Optimisation et modèles graphiques (N. Komodakis, G. Obozinski).

Un autre axe de recherche concerne les modèles graphiques probabilistes : champs aléatoires conditionnels (CRFs) et champs de Markov (MRFs), utilisables pour de nombreux problèmes de vision et d'analyse d'images [AS1]. Nous avons développé des approches primal-dual efficaces et génériques pour résoudre les problèmes d'optimisation sous-jacents [AJ28], avec des méthodes qui sont facilement parallélisables grâce à des schémas d'optimisation avec séparation complète. Nous nous sommes concentrés sur les méthodes variationnelles pour les modèles graphiques avancés [AJ27, AJ29] qui offrent un pouvoir d'expression beaucoup plus élevé que les modèles utilisés auparavant : modèles avec une plus grande connectivité, modèles graphiques hybrides continus-discrets, modèles d'ordre supérieur avec des tailles de clique plus grandes, modèles multi-échelles et modèles avec des contraintes supplémentaires sur les étiquettes d'image qui représentent adéquatement les connaissances préalables disponibles.

En lien avec des modèles graphiques rencontrés notamment dans [AD30] et [AJ30], nous avons également développé un algorithme rapide pour résoudre les problèmes d'apprentissage de CRFs [AD22]. En particulier, nous avons proposé une formulation par Lagrangien augmenté dual qui permet d'utiliser des techniques d'optimisation bloc-proximal stochastiques, pour lesquelles d'excellentes vitesses de convergence ont par ailleurs été montrées.

Algorithmes d'optimisation (G. Chierchia).

Nos travaux sur les algorithmes d'optimisation abordent deux aspects : (i) étendre la portée des algorithmes dits "proximaux" à des problèmes d'optimisation plus généraux ; (ii) accélérer la convergence des algorithmes existantes sur les problèmes à grandes dimensions.

- Éclatement épigraphique [AJ17]. Technique permettant d'étendre les algorithmes d'optimisation existantes aux problèmes impliquant des contraintes complexes et pas traitables autrement.
- Opérateurs proximaux [AJ26]. Calcul de nouveaux opérateurs proximaux permettant d'étendre les algorithmes proximaux aux problèmes impliquant des fonctions telles que les phidivergences, le coût logistique, etc. Accessoirement, création d'un site web qui recense l'état-de-l'art sur le sujet, et offre une implémentation ouverte des opérateurs proximaux connus.
- Information du second ordre et optimisation par blocs [AC5]. Développement de nouveaux algorithmes d'optimisation qui se basent sur les approches aléatoires par blocs et l'information du second ordre (Hessien) pour accélérer la convergence.

Nous appliquons ces techniques d'optimisation à des problèmes de traitement d'image, comme la restauration d'images multispectrales et d'images radar à synthèse d'ouverture [AC4] et [AJ16, AJ18], l'allocation de taux dans le codage vidéo [AC8] et [AJ23], la détection de falsifications dans les photos prises par une camera.

Optimisation exacte (B. Neveu).

Dans le domaine de l'optimisation globale non convexe sous contraintes, le principal algoritme exact est basé sur l'approche "Branch and Bound". Nous avons proposé pour les composantes majeures de cet algorithme des méthodes originales, qui ont été implémentées dans la bibliothèque logicielle libre IBEX : recherche de point réalisable [AJ2], propagation des contraintes réalisant un niveau de cohérence forte [AJ35], sélection du nœud dans l'arbre de recherche [AJ36] et nouvelle stratégie de bissection [AJ1].

Par ailleurs, dans le cadre de l'estimation de paramètres, nous avons étudié l'emploi de méthodes exactes par intervalles en vision artificielle, pour la détection de figures géométriques dans des nuages de points (droites et cercles en 2D, plans en 3D) [AC24] et pour la détermination de la matrice essentielle en stéréovision.

8.2.1.5 Vision artificielle

Nous contribuons également au développement de nouvelles méthodes pour intérpréter des données visuelles 2D ou 3D, et pour reconstruire des modèles de haut niveau (géométrie, sémantique) des objets et scènes observées. Un certain nombre d'applications concernent les données urbaines.

Interprétation d'images et de données 3D (M. Aubry, N. Komodakis, R. Marlet, C. Wang).

Avec des outils "classiques" et dans le cadre du projet ANR Semapolis, nous avons proposé diverses méthodes de segmentation sémantique de bas niveau de données 2D ou 3D (pixels, points 3D, maillage), ex. à base de patterns d'adjacence [AD30] ou d'auto-contextes [AJ24].

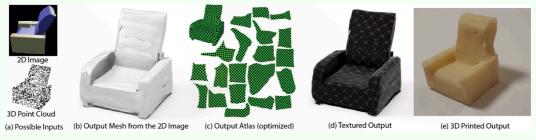
Mais un large pan de notre activité sur ce sujet s'appuie maintenant sur des réseaux de neurones, notamment convolutifs (CNNs). Un axe de recherche examine la difficulté pour un réseau de généraliser à partir des données d'apprentissage et la difficulté pour un humain de comprendre et maîtriser les décisions d'un réseau. Nous avons étudié en particulier la profondeur des réseaux, l'efficacité

des paramètres et l'apprentissage simultané de tâches multiples. Nous avons ainsi pu montrer que les réseaux résiduels, concus pour plus de profondeur, pouvaient en fait être efficacement remplacés par des réseaux plus larges avec moins de couches et la même quantité de paramètres [AC36]. Nous avons aussi proposé de nouvelles façons de transférer les connaissances entre architectures. En parallèle, nous avons développé de puissantes approches basées sur l'apprentissage profond pour résoudre des problèmes fondamentaux de vision tels que la mise en correspondances d'images [AD50], la détection d'objets [AD19] et l'étiquetage dense en pixels, ainsi que des problèmes d'apprentissage non supervisé ou à partir de données très faiblement annotées (few-shot learning).

Une autre ligne directrice concernant les réseaux de neurones concerne l'usage de données synthétiques pour l'apprentissage, et notamment de rendus de modèles 3D [AC21]. Cette expertise a conduit à plusieurs contrats et à des applications en robotique pour la construction numérique. Plus récemment, nous avons travaillé sur la génération de modèles 3D par deep learning à partir d'un nuage de points [AD21], ou à partir d'un dessin. Certains de ces travaux sont issus de collaborations avec Adobe Sytem, UC Berkeley et/ou Inria Sophia Antipolis.

Nous avons proposé une méthode à base de réseaux de neurones pour apprendre à générer la surface de formes 3D à partir de nuages de points [AD21]. Cette approche, AtlasNet, représente une forme 3D comme un ensemble d'éléments de surface paramétriques, contrairement aux méthodes concurrentes en apprentissage profond générant des grilles de voxel. Ce nouveau cadre de génération de formes présente des avantages significatifs, tels que l'amélioration de la précision et des capacités de généralisation, ainsi que la possibilité de générer une forme de résolution arbitraire sans contrainte de mémoire. Les applications sont nombreuses, telles que l'encodage automatique des formes, la reconstruction 3D à partir d'une seule image, le morphing, le paramétrage de formes, la super-résolution, l'appariement de surfaces, ou encore la co-segmentation.

Ce travail illustre notre capacité à faire évoluer nos méthodes et nos domaines, notamment autour de l'apprentissage profond, tout en conservant nos sujets d'études et notre expertise. On retrouve cela par exemple dans la création de carte de profondeur mono-vue [AC9] ou stéréo, ou encore dans l'estimation de normales dans un nuage de points 3D [AJ10].



Nous étudions aussi différents paradigmes architecturaux, notamment les réseaux antagonistes génératifs (GANs). Nous avons ainsi proposé une séparation des représentations internes cohérente avec l'étiquetage des données d'apprentissage, qui permet de créer de nouveaux rendus d'un objet dans une image en spécifiant des propriétés telles que point de vue, illumination, ou encore expression (pour des visages) [AC34].

Perception 3D (P. Monasse, R. Marlet, N. Komodakis, Ch. Wang).

Nos travaux en perception 3D ont porté principalement sur la précision et la robustesse de la reconstruction stéréographique 3D, à deux images ou plus, en cherchant notamment à couvrir des cas difficiles de calibration externe et de reconstruction 3D pour des bâtiments et des villes.

Pour cela, nous avons poursuivi dans le cadre du projet ANR Stereo notre ré-analyse de toutes les étapes classiques de la reconstruction avec comme objectif d'améliorer la précision. Un nouveau procédé de calibration de caméra a ainsi permis d'atteindre une haute précision sous-pixellique

[AD44]. Nous avons continué également d'appliquer une méthodologie a contrario qui permet sur des critères statistiques de s'affranchir du réglage manuel de paramètres à diverses étapes géométriques sensibles [AC7]. Nous avons aussi proposé la découverte de nouveaux points d'intérêt dans des images pour la reconstruction [AD49]. Par ailleurs, pour une estimation de poses de caméras plus précise, nous avons proposé un méthode de sélection et de raffinement des correspondances de points [AD32], et développé une méthode globale plutôt qu'incrémentale qui en outre répartit mieux les erreurs et évite leurs phénomènes d'accumulation [AD36]. Plusieurs de ces algorithmes sont au coeur du logiciel OpenMVG [AC23], considéré comme l'état de l'art en stéréo multi-vues.

Le LIGM travaille depuis nombre d'années sur des méthodes de reconstruction de modèles 3D à partir de photographies, avec notamment des applications en génération de maquettes numériques de bâtiments et de villes pour la modélisation urbaine.

Dans cadre d'une thèse CIFRE avec la société de post-production Mikros Image, créatrice d'effets visuels notamment pour le cinéma et la publicité, Pierre Moulon a développé la bibliothèque logicielle OpenMVG. OpenMVG fournit des composants pour l'estimation robuste et précise, à



Modélisation 3D à partir de photographies à l'aide d'OpenMVG (site préhistorique d'Aramus, Arménie) © Luca Bezzi

partir d'un ensemble non ordonné de photographies, de la position relative des appareils qui ont pris ces photos. C'est une opération cruciale pour ensuite pouvoir reconstruire une représentation 3D de la scène observée.

Débuté en 2010 et rendu public dans sa première version en 2013, OpenMVG est un projet open source (environ 50k lignes de code sur github) avec un fort rayonnement international. En date de fin juin 2018, OpenMVG compte près de 60 contributeurs, ses composants ont été exploités dans près de 700 autres projets (forks hors contributeurs) et il a reçu près de 1700 "stars" d'utilisateurs sur github. Les principales publications qui décrivent et valident ses principes scientifiques, dont [AD36], ont été citées au total près de 400 fois, il a servi de base à deux projets européens hors LIGM (POPART, LADIO) et, en interne, il a été utilisé dans 4 autres thèses. Conçu aussi pour être un outil pédagogique qui met en œuvre avec clarté l'état de l'art, OpenMVG a trouvé un public aussi bien auprès d'experts scientifiques que de simples amateurs (en boîte noire), avec des acteurs inattendus tels que des archéologues (cf. figure) ou encore des prothésistes animaliers [AC23]. Des développeurs vont jusqu'à citer une expertise OpenMVG dans leur CV.

Pour la robustesse, notamment pour les intérieurs de bâtiments où les points saillants sont insuffisamment présents du fait du manque de texture, nous avons développé une méthode d'estimation de poses de caméras qui utilise des détections de segments de droites en plus ou à la place de détections de points [AC30].

Certains de nos travaux sur les réseaux de neurones s'appliquent également à la perception 3D de bas niveau, par exemple pour la construction de cartes de profondeur [AD50]. Nous avons aussi proposé une nouvelle approche particulièrement performante pour la détection des bords d'occultation dans une image [AC10], grâce une meilleure exploration de l'information contextuelle.

Modélisation géométrique et sémantique (R. Marlet, A. Aubry, Ch. Wang, N. Komodakis).

Nous avons proposé deux méthodes de reconstruction 3D planaire par morceaux. La première, basée images, sélectionne des hypothèses concurrentes de superpixels ajustés aux structures dominantes de la scène, avec une régularisation propre à la planarité par morceaux [AD4]. La seconde, basée nuage de points, exploite une régularisation originale, pertinente pour les bâtiments, qui pénalise la longueur d'arêtes et le nombre de coins, et reconstruit une surface étanche sans autointersection [AD3]. À côté de ces méthodes photogrammétriques et/ou géométriques directes, nous avons développé des méthodes à base d'apprentissage profond pour estimer dans une image seule la profondeur [AC9] ou la 3D de la scène [AD21]. Certaines architectures étudiées s'appliquent aussi à la vision stéréoscopique [AD50].

Par ailleurs, nous avons proposé plusieurs méthodes pour la sémantisation de haut niveau (structurée, avec une régularisation forte) de données 2D ou 3D, à base de grammaires de formes écrites à la main [AJ9] ou apprises automatiquement [AD18], ou à base de grammaires de graphes et de champs de Markov [AC19].

8.2.2 Données chiffrées

Des informations quantitatives sur les publications et brevets de l'équipe sont rassemblées dans le tableau ci-dessous.

| A3SI | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Total |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Journaux | 20 | 29 | 25 | 21 | 29 | 20 | 144 |
| Actes de conférences | 51 | 44 | 51 | 48 | 45 | 23 | 262 |
| Ouvrages | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| Direction ouvrages | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Chapitres d'ouvrages | 7 | 1 | 1 | 0 | 3 | 0 | 12 |
| Brevets | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 |
| Total | 79 | 75 | 78 | 70 | 79 | 43 | 424 |

8.2.3 Logiciels

L'équipe a toujours eu une activité de développement soutenue liée à son activité de recherche. Elle développe à la fois des logiciels fondamentaux pour la communauté et des logiciels très pointus sur les derniers résultats obtenus. Outre le succès qu'ils remportent à l'extérieur du laboratoire, plusieurs de ces logiciels sont également structurants pour l'équipe, comme OpenMVG (voir encadré section 8.2.1.5 ci-dessus) qui a eu 4 contributeurs dans A3SI et 8 utilisateurs internes (et des milliers externes). Par ailleurs, certains logiciels, comme Imagine++ et Pink, sont utilisés pour l'enseignement. Les logiciels les plus importants sont décrits en annexe (voir section 8.7.1.5).

8.2.4 Activité contractuelle

L'équipe a une activité contractuelle importante (plus de 3,7 M€ sur la période d'évaluation) et équilibrée entre financements institutionnels (60%) et financements industriels (40%), avec des contrats tant nationaux (70%) qu'internationaux (30%).

L'engouement actuel pour les data sciences et l'image fait que l'équipe est très sollicitée, tant par les startups que par les grands groupes, mais qu'elle ne peut pas répondre à toutes les sollicitations. Les principaux contrats sont listés sections 8.7.1.10 pour le public et section 8.7.2.2 pour le privé.

Cette activité contractuelle importante de l'équipe permet notamment de pallier l'absence de dotation pour le laboratoire de la tutelle l'ENPC.

8.2.5 Faits marquants scientifiques

Les faits marquants d'A3SI durant la période d'évaluation sont des résultats scientifiques majeurs, certains ayant eu un très grand impact dans la communauté, mais aussi un logiciel ainsi que des prix de thèse démontrant l'excellence de notre recherche.

Ainsi, un nouveau cadre formalisant différentes notions topologiques fondamentales dans les espaces discrets a été développé par G. Bertrand. Dans ce cadre, un résultat important a été obtenu, établissant un lien fort entre des notions relatives à l'homotopie et à l'homologie. De tels liens sont très difficiles à établir dans le cadre classique. ([AC1], voir aussi encadré page 82.)

Nous avons aussi introduit une nouvelle classe d'opérateurs que nous appelons les «shapings morphologiques», en généralisant le cadre des opérateurs connectés par attributs. Cela nous permet également de proposer une classe de nouveaux opérateurs connectés issus de la famille des nivellements, basée sur des attributs de forme. ([AJ47], voir aussi encadré page 85.)

Par ailleurs, nous avons montré que la combinaison hiérarchique de l'apprentissage convolutionnel reposant sur des outils de morphologie mathématique mène à des résultats à l'état de l'art en étiquetage de scène. L'article que nous avons publié en 2014 sur ce sujet [AD15] a été cité un très grand nombre de fois (plus de 1500 fois selon WebOfScience), et a contribué au succès récent des techniques de deep learning.

Un autre résultat majeur concernant l'apprentissage profond est la preuve empirique que nous avons faite qu'il vaut mieux rendre les réseaux de neurones plus larges que plus profonds [AC36]. Avec les Wide Residual Networks que nous proposons, non seulement l'apprentissage est plus rapide et plus maîtrisable, mais les performances sont également meilleures, à nombre de paramètres égal. Ce travail, publié en 2016, a déjà été cité près de 600 fois.

Un autre fait marquant, outre des publications majeures, est le succès international de la bibliothèque logicielle OpenMVG, développée initialement lors de la thèse CIFRE de Pierre Moulon avec la société de post-production Mikros Image (2010-2014), et qui a maintenant plus de 60 contributeurs et des milliers d'utilisateurs. (Voir encadré page 89.)

Enfin, les travaux de deux doctorants ont été récompensés par des prix de thèse. Ainsi, en 2015, le prix de thèse de Université Paris-Est (catégorie MSTIC) a été décerné à Ravi Kiran pour ses travaux sur les tresses de partitions, qui sont des structures généralisant celle de hiérarchie. Et Odyssée Merveille a reçu le prix de thèse AFRIF 2016 pour son travail sur une méthode morphologique pour l'analyse des structures curvilignes et ses applications au filtrage et à la segmentation de vaisseaux sanguins.

8.3 Analyse SWOT

Points forts

- Les résultats montrent une bonne productivité (quantitativement et qualitativement) en termes de publications et de développements logiciels, ainsi qu'une bonne adaptation aux techniques d'actualité, en corrélation avec les applications;
- les chercheurs fonctionnement en équipe, en particulier avec de nombreux co-encadrements internes de thèses;
- l'équipe a su développer un réseau de partenaires académiques extérieurs de haut niveau;
- nous avons un bon nombre de partenaires industriels solides techniquement et qui nous lancent de vrais défis scientifiques.

Points à améliorer

 L'équipe est en effectif sous-critique pour le développement en vision artificielle et en apprentissage, étant donné la quantité et la largeur des champs ouverts actuellement dans ces domaines, les besoins de formation des étudiants en pleine croissance et les demandes industrielles grandissantes; — nous rencontrons des difficultés pour coordonner les tutelles pour une politique d'embauches cohérente scientifiquement.

Risques liés au contexte

Pour des raisons diverses (retraite, mobilité), de nombreux départs d'A3SI — au moins cinq
 se produisent ou vont se produire à court terme à l'ESIEE et à l'ENPC, quand dans le même temps il y a une incertitude forte sur le renouvellement de ces postes, dans un contexte dynamique mais non sans incertitudes concernant la création de l'Université Gustave Eiffel (université cible de l'I-SITE FUTURE), sans l'inclusion de l'ENPC.

Possibilités liées au contexte

- Nous comptons sur la dynamique liée à l'I-SITE FUTURE pour un rapprochement des laboratoires via le rapprochement des organismes et pour le financement de recherches sur la ville de demain (nous avons déjà une thèse financée en 2017, et des participations importante en 2018 dans un projet Tremplin et un projet Impulsion);
- une dynamique scientifique forte est créée par nos partenariats académiques, notamment via certains de nos projets ANR qui débutent (ex. projet BIOM avec IGN, Inria Sophia Antipolis, CSTB, INSA Strasbourg; projet CONTREDO avec LIRMM, ENSTA ParisTech, ENSTA Brest, IMT Atlantique).

8.4 Projet scientifique à cinq ans

8.4.1 Perspectives pour l'intégration des chercheurs en RO au sein du LIGM

L'intégration des trois nouveaux arrivants : Chengbin Chu, Sana Berraf et Abderrahim Sahli au sein du LIGM constitue une opportunité de renforcement et d'élargissement des thèmes de recherche du laboratoire. En effet, la spécialité de ces trois chercheurs est l'optimisation linéaire et combinatoire dans le contexte de la recherche opérationnelle, thèmes qui sont complémentaires de ceux traités au LIGM. L'optimisation y est un thème bien développé dans plusieurs équipes, en particulier Signal et A3SI. Il est également présent dans LRT pour ses applications aux réseaux, à l'ordonnancement des tâches et au temps-réel. Les applications visées par l'optimisation combinatoire englobent ces dernières, et sont traitées par des méthodes différentes en imagerie et en signal du fait de la taille des données. Il y a une opportunité de collaboration entre ces thèmes car les problèmes d'ordonnancement et de communication sont de plus en plus complexes, demandent de plus en plus de données et sont de moins en moins modélisables par de la programmation linéaire en nombre entiers traditionnelle. Il faudra donc réfléchir, en concertation avec les intéressés, les équipes, les tutelles, la prochaine direction du LIGM et en tenant compte des conseils du comité d'évaluation, de la meilleure stratégie pour une intégration harmonieuse de ces chercheurs et un développement éventuel de cette nouvelle thématique.

8.4.2 Architectures dédiées pour l'imagerie

Architectures et implantation d'algorithmes (T. Grandpierre)

En nous appuyant sur la méthodologie Adéquation Algorithme Architecture (AAA), nous avons amorcé la modélisation d'une architecture générique, implantée dans un FPGA qui peut être configuré pour exécuter des chaînes complètes de traitement d'images basées sur des opérateurs morphologiques. Notre approche, basée sur une modélisation par graphe de l'architecture et de l'algorithme, associée à des heuristiques de distribution et d'ordonnancement, devrait permettre d'automatiser toutes les phases d'allocation de ressources, de prédiction de performance jusqu'à la génération automatique d'exécutif.

En parallèle, des travaux viennent de débuter afin d'aider au développement d'applications temps réel sur architecture multiprocesseurs contrôlées par hyperviseur temps réel certifié. Ces travaux s'effectuent dans le cadre du projet FUI CEOS. Enfin, côté applications, nous nous intéressons aussi à la réalité virtuelle et augmentée car ce domaine requiert de fortes puissances de calcul pour réaliser de l'analyse et de la synthèse d'image en temps réel.

Systèmes de vision embarqués et applications (E. Dokladalova, R. Kachouri)

Dans le domaine de l'embarqué, trois nouvelles problématiques ont été initiées :

- i) Compréhension des scènes naturelles non supervisée pour la navigation des véhicules aériens autonomes, cette problématiques serait attaquée sous angle des méthodes de perception, par exemple par extension des méthodes à contrario.
- ii) Modèles compacts et invariants par rotation pour l'apprentissage, ici nous souhaitons explorer les méthodes à base de deep learning dans un milieu non collaboratif et si possible adapté à être embarqué près des capteurs.
- iii) Applications critiques en latence de traitement, le problème de latence de traitement est souvent négligé dans les techniques HPC (High Performance Computing) or ce paramètre est critique pour des applications du domaine des systèmes autonomes et mobiles.

Les applications visées sont en particulier la vision embarquée dans les systèmes de transport intelligents, les systèmes de reconnaissance biométrique multimodale de détection, identification et prévention de risque, les systèmes mobiles de détection et aide au diagnostic de pathologies.

8.4.3 Géométrie et topologie discrètes, géométrie algorithmique Problèmes et algorithmes à données géométriques (N. Mustafa, V. Biri)

Les recherches en géométrie algorithmique continueront d'être guidées par le critère de résolution d'importants problèmes d'optimisation géométrique utilisant de nouveaux outils mathématiques, qui peuvent être employées avec les technologies modernes pour un calcul efficace.

Plus précisément, il y a trois grand domaines dans lesquels ces recherches seront menées.

Tout d'abord, beaucoup des problèmes d'optimisation de la combinatoire de base pour les objets géométriques (même dans \mathbb{R}^2) ne sont pas résolus. Cela inclut des algorithmes quasi-linéaires pour les problèmes geometric independent-set, set-cover, clustering, smoothed analysis for iterative algorithms etc.

Il y a de nombreuses pistes d'intérêt à explorer dans l'application des idées et des méthodes de la géométrie discrète et algorithmique à l'infographie. En particulier, une thèse dont le thème est "Geometric Approximations for Massive Data, with Applications to Graphics" débute actuellement.

Il paraît également important d'explorer les moyens d'exploiter la puissance de calcul des cartes graphiques modernes (GPU) pour l'utilisation dans le calcul géométrique rapide, efficace et fiable.

Géométrie discrète (Y. Kenmochi)

Concernant les déplacements dans les grilles régulières, il existe divers problèmes ouverts, surtout sur \mathbb{Z}^3 : (1) la bijectivité dans le cas de déplacement dans \mathbb{Z}^3 n'est pas encore caractérisée; (2) comme les modèles topologiques et géométriques dans \mathbb{Z}^2 ne sont pas intrinsèquement transposables à des dimensions supérieures, il sera indispensable de développer de nouvelles stratégies plus génériques et ainsi valables dans n'importe quelle dimension.

Topologie dans des espaces discrets (G. Bertrand, M. Couprie)

Le cadre des noyaux critiques a été jusqu'ici exploré pour produire de nouveaux opérateurs de squelettisation, c'est-à-dire des opérateurs amincissant des objets en préservant leurs caractéristiques topologiques. Nous étudierons dans le futur des opérateurs plus généraux, permettant en particulier de modifier la topologie de manière contrôlée. L'implantation effective de ces opérateurs sur des architectures parallèles sera également abordée.

Afin de proposer une approche structuraliste de la topologie combinatoire, c'est à dire une approche axiomatique, Gilles Bertrand a initialisé un cadre original basé sur les complétions

(une classe de propriétés inductives formulées de manière déclarative). De nouveaux axiomes ont d'ores et déjà été proposés et étudiés, permettant de formuler, dans un même cadre et par le biais d'un même jeu d'axiomes, des notions combinatoires relatives à l'homologie ainsi que des notions relatives à l'homotopie. On a ainsi réussi à "réunifier" dans un cadre discret des concepts fondamentaux de la topologie qui – dans le cadre classique – apparaissent de nature différente. Notre ambition est de continuer à développer ce cadre discret, et d'obtenir un jeu d'axiomes, validé par des résultats marquants, qui pourrait être considéré comme un véritable fondement de la topologie combinatoire.

8.4.4 Morphologie mathématique, filtrage et analyse d'images

Morphologie et apprentissage (J. Cousty, L. Najman, B. Perret)

Les progrès récents en apprentissage automatique fournissent des innovations révolutionnaires en vision par ordinateur, ce qui entraîne une amélioration considérable des résultats pour de nombreuses tâches telles que la reconnaissance d'objets, l'étiquetage de scènes ou la segmentation naturelle d'images. Cependant, pour la segmentation de l'image, les résultats sont encore loin de la performance humaine ce qui laisse place à des améliorations dans un proche avenir. Les premières tentatives d'apprentissage de mesures de gradient adaptées aux méthodes de lignes de partage des eaux montrent que c'est une direction prometteuse mais difficile. Fournir un cadre complet permettant l'apprentissage de gradients et d'attributs régionaux adaptés pour la segmentation hiérarchique constituerait certainement un pas en avant dans le domaine.

Hiérarchies (J. Cousty, L. Najman, B. Perret)

Pour la segmentation (hiérarchique) d'image, la question de l'évaluation des résultats est fondamentale. De nombreux travaux sont consacrés à la construction d'un cadre d'évaluation solide. L'évaluation est réalisée à partir de vérités terrains existantes disponibles dans la littérature, en se concentrant principalement sur la comparaison d'une segmentation hiérarchique fournie par un ordinateur avec une ou plusieurs segmentations de références fournies par des humains. De telles segmentations de références ne sont pas hiérarchiques et n'évaluent pas bien le bénéfice de l'organisation hiérarchique. Ainsi, nous sommes convaincus que la communauté de la vision par ordinateur bénéficierait de vérités terrains hiérarchiques, à savoir la décomposition complète d'une image en parties sémantiques et le raffinement itératif de ces parties en sous-parties. Construire une base de données de vérités hiérarchiques et un cadre méthodologique et calculatoire d'évaluation pour le problème général de la segmentation hiérarchique est un sujet de recherche complet pour l'avenir.

Un aspect important de notre travail fondamental sur les hiérarchies est de préciser le lien étroit entre classification hiérarchique et segmentation hiérarchique. Notre travail a permis de généraliser certains résultats connus dans le domaine de la classification hiérarchique. Alors que les méthodes de classification ont longtemps été utilisées comme des outils de segmentation d'image, nos résultats nous incitent à appliquer des méthodes hiérarchiques initialement conçues pour traiter des images sur des données non-images. Nous avons montré des résultats préliminaires de l'utilisation de ligne de partage des eaux hiérarchiques pour l'analyse et la visualisation d'un petit ensemble de données des villes américaines. Avec l'émergence du «big data», l'exploration de bases de données volumineuses avec les outils développés dans l'équipe A3SI semble être une orientation prometteuse. Pour aller plus loin, en s'appuyant sur les relations entre les notions de ligne de partage des eaux, d'homotopie et de représentations arborescentes, de nouvelles perspectives s'ouvrent à nous, notamment en s'inspirant des théorie du partitionnement spectral, des forêts aléatoires et de la persistence topologique.

Equations différentielles discrètes (J. Cousty, L. Najman, B. Perret)

Les équations différentielles constituent une approche fructueuse pour l'analyse d'image qui est liée à la morphologie mathématique continue. Des formalismes discrets pour les équations différentielles font depuis peu l'objet de nombreuses études : l'idée principale est que l'on peut écrire sur des graphes une version discrète exacte d'équations différentielles et résoudre efficacement de nombreux problèmes. Suite à la caractérisation des lignes de partage des eaux proposée par notre équipe, le cadre des lignes de partage des eaux puissance a été élaborer pour unifier dans une formulation unique de minimisation d'énergie plusieurs méthodes d'optimisation bien connues, à savoir, les marches aléatoires, les coupures minimale, les plus court chemins, les arbres de poids minimum et les lignes de partage des eaux. Des applications surprenantes peuvent être conçues dans ce cadre comme des processus de diffusion anisotropes ou de reconstructions de surface à partir de nuages points par morphologie mathématique. D'autres liens avec des méthodes apparemment sans rapport peuvent être recherchés et exploités pour mieux résoudre certains problèmes applicatifs. Explorer la convergence de méthodes différentielles discrètes vers leurs équivalents continus lorsque l'espace est affiné peut également conduire à des résultats intéressants. En effet, cette famille de propriétés, étudiée sous le nom de convergence multigrille, offre la garantie que les méthodes discrètes se comportent comme l'on s'y attendrait avec une modélisation dans un espace continu et régulier. Explorer, détailler et souligner de tels liens est certainement une direction de recherche prometteuse.

Calcul morphologique (J. Cousty, L. Najman, B. Perret)

Nous avons présenté des résultats élémentaires pour le filtrage d'images et de maillages par morphologie mathématique sur les complexes simplicaux. De nombreux filtres distincts peuvent être obtenus dans ces espaces car la présence / absence d'un élément de dimension i dans le résultat peut être conditionnée à la présence / absence d'un groupe d'éléments de toute dimension comprise entre 0 et n dans l'opérande. Cette complexité accrue par rapport aux cadres utilisant des éléments structurants est difficile à gérer. Le travail effectué jusque-là n'étudie que quelques exemples d'opérateurs qui peuvent être conçus sur des complexes simpliciaux mais il ne fournit pas de moyens systématiques pour construire tous les opérateurs morphologiques possibles. Fournir une telle construction, que nous appelons calcul morphologique, sera un sujet intéressant pour nos recherches futures. De plus, les opérateurs morphologiques proposés sur les graphes et complexes s'appuient implicitement sur une distance «bloc» élémentaire. En conséquence, leurs résultats montrent des effets de «crénelage». Dans le calcul morphologique, nous entendons intégrer un degré de flexibilité supplémentaire en laissant les opérateurs dépendre d'une distance arbitraire permettant de s'affranchir de l'effet «crénelage».

Algorithmes morphologiques distribués et parallèles (J. Cousty, L. Najman, B. Perret)

Les perspectives présentées ci-dessus, ainsi que l'amélioration actuelle de la résolution des capteurs, aboutissent à des ensembles de données plus grands, des descripteurs d'objets plus volumineux, des espaces de travail plus complexes et des nombres accrues d'itérations. Par conséquent, cette tendance induit un besoin de calcul important. Afin de répondre à ce besoin, des architectures matérielles avancées peuvent être envisagées : architectures à mémoire partagée, multi-core et GPU disponible sur les ordinateurs de bureau de nos jours ou les grappes d'ordinateurs. Afin de bénéficier de telles architectures, certaines stratégies de répartition de calcul doivent être conçues à large grain. À granularité plus fine, il peut être intéressant de considérer des stratégies de parallélisations de nos algorithmes ainsi que le calcul par bloc lorsque la taille des données est trop grande pour tenir dans la mémoire de l'unité de calcul. Proposer de telles stratégies sera certainement un facteur important de succès pour développer les applications des perspectives présentées ci avant.

8.4.5 Optimisation, apprentissage et traitement d'images

Optimisation globale et méthodes complètes (B. Neveu, P. Monasse).

Dans le cadre d'une optimisation globale sous contraintes par des méthodes exactes de type Branch and Bound sur intervalles, on veut minimiser une fonction de variables réelles dans des domaines bornés, soumise à des contraintes, la fonction et les contraintes pouvant être non convexes. Nous étudierons pour ce problème des stratégies de recherche et de bissection, la réduction des domaines des variables par propagation des contraintes et relaxations, et la recherche de points réalisables. Des collaborations sur ce sujet, autour de la bibliothèque IBEX, existent depuis plusieurs années avec Gilles Trombettoni au LIRMM, Gilles Chabert à IMT Atlantique et Ignacio Araya à UTFSM Valparaiso au Chili. Pour l'estimation de paramètres en présence de mesures aberrantes (outliers) avec des méthodes complètes sur intervalles, on veut trouver des valeurs des paramètres correspondant à au moins Q observations avec une tolérance donnée. Après un premier résultat pour la détection de formes géométriques [AC24], nous voulons étudier le cas de l'estimation d'une matrice essentielle avec maximisation des inliers. Un troisième axe de recherche porte sur les systèmes dynamiques formés d'équations différentielles couplées avec des contraintes, dans la cadre du projet ANR Contredo démarré en 2017, avec pour objectif l'application efficace des techniques d'intervalles aux systèmes dynamiques. On s'intéressera aussi au traitement des contraintes de retard et des contraintes périodiques, exprimées via une satisfaction de contraintes sur trajectoires (TrajCSP), avec une thèse débutant en 2018. Les partenaires sont le LIRMM, ENSTA ParisTech, ENSTA Brest, IMT Atlantique et la société MDBA. Enfin, une collaboration se poursuit avec Maria Cristina Riff à UTFSM Valparaiso sur des méta-heuristiques pour résoudre des problèmes d'optimisation combinatoire.

8.4.6 Vision artificielle (interprétation d'images, perception 3D, modélisation géométrique et sémantisation)

Interprétation d'images et de données 3D (M. Aubry, R. Marlet, C. Wang).

L'interprétation d'images a progressé de façon impressionnante grâce au développement des techniques d'apprentissage profond, et notamment des CNNs. Mais de nombreux défis demeurent. Un obstacle majeur et fréquent est la faible quantité ou la faible qualité des données d'apprentissage annotées. C'est l'un des axes sur lesquels nous nous sommes positionnés. Pour cela, nous voulons développer des techniques de deep learning permettant d'apprendre avec beaucoup de données mais dont seulement une fraction est annotée (apprentissage semi-supervisé) ou dont les annotations sont incomplètes ou peu détaillées (apprentissage faiblement supervisé). Pour ces problèmes, nous explorons notamment des techniques basées sur des réseaux antagonistes génératifs (GANs), associés à certaines formes d'apprentissage non supervisé, dont nos partenaires à UC Berkeley sont spécialistes. Nous avons également développé des méthodes d'apprentissage qui, en l'absence de données disponibles ou du fait de coûts ou de temps de production trop élevés, se basent sur des données synthétiques générées automatiquement. Des questions restent ouvertes toutefois sur le transfert d'informations du synthétique au réel et sur le degré de réalisme utile des rendus, et leur impact sur les performances. Une question reliée en partie est la possibilité d'apprendre directement sur des données 3D, plutôt que sur des projections ou rendus en 2D. Quelques approches ont été proposées, y compris dans l'équipe [AD46], mais nous pensons qu'il reste une marge de progrès importante. Nous envisageons aussi d'étudier pour l'apprentissage actif la déterminer des données les plus pertinentes à annoter, question liée également à l'apprentissage par renforcement, où l'on cherche à optimiser un comportement de manière cumulative.

Certains de ces développements auront pour cadre le projet ANR JCJC EnHerit de Mathieu Aubry, qui vise à développer des méthodes d'apprentissage adaptées à l'analyse de données visuelles historiques et d'images archives (ex. détection détection de similarité dans des bases de données d'oeuvres d'art).

Outre UC Berkeley, nos principaux partenaires sur ces thèmes sont les EPI Willow (Inria Paris) et GraphDeco (Inria Sophia Antipolis), Adobe System, et prochainement Facebook (FAIR) et Valeo.ai.

Perception 3D (P. Monasse, R. Marlet, M. Aubry).

La reconstruction 3D à base d'images a aussi fait des progrès phénoménaux. Tous les problèmes ne sont néanmoins pas résolus, y compris certains dont les champs d'application (ex. bâtiments, villes) intéressent l'I-SITE FUTURE. Nous étudierons les questions suivantes, dont certaines font notre spécificité par rapport aux autres équipes internationales :

- perception 3D robuste : pour des objets et scènes peu ou pas texturées (ex. intérieurs de bâtiments), avec données peu corrélées (faible recouvrement) ou incomplètes (parties cachées), avec de forts changements de points de vue (ex. franchissement de seuils), avec un jeu réduit de paramètres peu sensibles,
- perception 3D précise : pour la justesse des détails et des dimensions (ex. centimétriques à l'échelle d'un bâtiment, pour représenter fidèlement l'équipement hors bâti),
- perception 3D sûre : pour des garanties relatives de positionnement et de dimensionnement, avec estimation d'un degré de confiance (ex. pour des métrés ou des tâches de robotique),
- perception 3D avec données hétérogènes: association d'images terrestres (photos manuelles ou sur véhicule), images aériennes (obliques ou verticales, de drones, avions ou satellites), vidéos, images de profondeur de caméras 3D, scans laser, données d'intérieurs et d'extérieurs de bâtiments.
- perception 3D "online": pour un usage en temps-réel souple en robotique, avec une dégradation contrôlée de la qualité du positionnement et de la reconstruction, par rapport au cas "offline" ordinaire.
- perception 3D mono-vue : dans des cas extrêmes, quand une seule vue est disponible.

Nos principaux partenaires sur ces thèmes sont le CMLA (ENS Paris-Saclay), l'équipe MATIS (LaSTIG, IGN), l'EPI Titane (Inria Sophia Antipolis), le CSTB, et prochainement Thales.

Modélisation géométrique et sémantique (R. Marlet, P. Monasse, M. Aubry, C. Wang).

Les nuages de points 3D et nombre de maillages ne sont pas adaptés aux usages en simulation et en optimisation. Une modélisation géométrique de haut niveau, parfois avec des garanties topologiques fortes, est nécessaire pour la performance et l'interprétabilité des données. Pour cela, nous voulons étudier comment contrôler l'abstraction de données 3D et notamment apprendre automatiquement des aprioris géométriques, voire topologiques. La sémantisation des données est un autre moyen de produire des attendus de reconstruction pertinents, car l'information sémantique est pour une bonne part complémentaire de l'information géométrique. C'est pourquoi nous souhaitons aussi étudier l'apport d'apprioris sémantiques appris automatiquement, notamment pour des applications d'intérêt de l'I-SITE autour de la reconstruction de maquettes de bâtiments (BIM) et de villes (CIM). Pour cela, nous continuerons de développer des techniques de sémantisation 2D et 3D afin d'en améliorer la qualité (précision, robustesse) encore insuffisante pour nombre d'usages, avec des approches basées sur le deep learning et/ou sur des grammaires de formes. Une voie particulièrement prometteuse d'après nos premières expériences est la modélisation géométrique et sémantique conjointe, avec un compromis délicat à trouver entre la complexité de la modélisation conjointe et la difficulté à optimiser pour construire des solutions. Enfin, nous voulons également étendre le type de données traitées à des dessins (schémas techniques ou représentations artistiques, tracés aboutis ou esquisses) et des photographies à différents moments ou époques.

Nos principaux partenaires sur ces thèmes sont l'EPI Titane (Inria Sophia Antipolis), l'équipe MATIS (LaSTIG, IGN), l'INSA Strasbourg (ICube) et le CSTB, notamment via le projet ANR BIOM (2018-2022), ainsi que l'ONERA, avec une thèse commune.

Système de vision et de décision pour la robotique (R. Marlet, M. Aubry, C. Wang).

Certaines méthodes pour l'interprétation de données 2D et 3D, la perception 3D, et la modélisation géométrique et sémantique seront guidées par le développement de systèmes de vision et de décision en robotique, notamment pour des chantiers de construction où les conditions sont bien moins contrôlées qu'en robotique industrielle.

Nos principaux partenaires sur ce thème sont le laboratoire Navier et Hal Robotics.

8.5 Organisation de la vie de l'équipe

Il n'est pas toujours simple de favoriser une bonne communication entre des chercheurs appartenant à quatre institutions différentes (CNRS, UPEM, ENPC, ESIEE) et répartis entre deux voire trois sites géographiques, même si ceux-ci sont relativement proches. Pour y parvenir, nous organisons un séminaire d'équipe, hébergé suivant les circonstances soit à l'ESIEE, soit à l'ENPC. Nous organisons également des "ateliers doctorants". Ces ateliers jouent un rôle important pour la cohésion de l'équipe et permettent à tous de se tenir informés des travaux menés sur les différentes thématiques.

8.6 Recommandation de l'AERES en 2013

L'intégration de l'ex-CERTIS (désormais groupe IMAGINE de l'ENPC) doit se poursuivre en maximisant le niveau des échanges scientifiques entre les différentes thématiques de l'équipe. Cela serait en particulier bénéfique pour les doctorants.

Depuis la dernière évaluation, IMAGINE est davantage intégré dans A3SI, autant que la diversité des thématiques spécifiques étudiées à l'ENPC et dans le reste d'A3SI le permet. Il y a eu une nouvelle publication commune dans A3SI entre Laurent Najman (ESIEE) et Pascal Monasse (ENPC) [AD49]. De plus, Laurent Najman (ESIEE) et Guillaume Obozinski (ENPC) ont co-organisé en 2014 une journée "Data Science and Massive Data Analysis" (http://laurentnajman.org/journee_datascience) qui a connu un vif succès. Laurent Najman et Hugues Talbot (ESIEE) ont aussi été examinateurs de la thèse de Francisco Massa encadrée par Mathieu Aubry et Renaud Marlet (ENPC).

Au niveau des recrutements, un effort a aussi été fait afin d'intégrer des profils pouvant créer des liens entre les différentes parties de l'équipe. Ce fut le cas en particulier lors de l'embauche de Chaohui Wang par l'UPEM, le profil de Chaohui s'inscrivant dans la thématique "Vision par ordinateur" auquel contribuent plusieurs chercheurs de l'ENPC ainsi que Vincent Nozick (MdC UPEM). Chaohui dispose d'un bureau à l'ENPC et d'un autre qu'il partage avec Vincent Nozick à l'ESIEE. Il co-encadre une thèse avec Renaud Marlet (ENPC).

Enfin, le séminaire A3SI, où des chercheurs extérieurs viennent faire des présentations (tantôt à l'ESIEE, tantôt à l'ENPC), est un événement qui fédère les chercheurs sur les deux sites. De même, les ateliers doctorants, où les étudiants présentent des résultats, parfois préliminaires, et reçoivent des commentaires de l'ensemble d'A3SI, jouent aussi un rôle important dans la cohésion de l'équipe malgré la bilocalisation.

D'autres axes de coopérations entre les différentes thématiques de l'équipe, pourraient intégrer des réflexions communes sur l'optimisation et l'apprentissage artificiel, ou sur les différentes formes de coopérations entre analyse et synthèse d'images.

L'optimisation et l'apprentissage ont des liens naturels forts, et font partie des thèmes qui rassemblent des chercheurs de l'ENPC, de l'UPEM et de l'ESIEE. Certains chercheurs, comme N. Komodakis et G. Obozinski, publient d'ailleurs des résultats dans les deux disciplines, motivant l'un par l'autre, parfois dans le contexte de problèmes de vision artificielle. Ces trois thèmes sont également au cœur du rapprochement ENPC-UPEM suite à l'embauche de Ch. Wang évoquée ci-dessus.

L'activité en synthèse d'image a décru en volume ces dernières années, V. Biri en étant le seul spécialiste dans l'équipe, et occupant désormais des responsabilités importantes au sein de l'UPEM. Il a cependant réussi à maintenir une activité de recherche significative et multidisciplinaire, créant des liens originaux entre la synthèse d'image et la topolgie digitale d'une part (collaboration avec J. Chaussard et M. Couprie), et l'optimisation à données géométriques d'autre part (avec N. Bus et N. Mustafa).

On peut également noter l'utilisation de méthodes d'optimisation exacte pour résoudre des problèmes de reconnaissance de forme et de stereovision [AC25], et le développement d'une approche topologique pour la détection de régions saillantes [AD49], qui mêle des outils méthodologiques différents pour l'analyse d'images développés à l'ESIEE et à l'ENPC.

8.7 Annexe : sélection des produits et des activités de recherche

Dans toute cette partie, qui présente l'annexe 4 de l'équipe, nous avons veillé à effectuer une sélection dans chacune des rubriques, pour ne présenter que nos contributions les plus notables et les plus pertinentes. De nombreux autres produits et activités de la recherche, jugés plus secondaires, ne sont donc pas listés ci-dessous.

8.7.1 Production de connaissances, rayonnement et attractivité scientifique

Remarque : nous avons choisi de sélectionner 20% globalement sur toutes les publications de l'équipe, et non 20% par type de publication.

8.7.1.1 Journaux / Revues (144 au total)

Articles scientifiques

- [AJ1] Ignacio Araya and **Bertrand Neveu**. Ismear: a variable selection strategy for interval branch and bound solvers. *Journal of Global Optimization*, 71(3):483–500, 2017.
- [AJ2] Ignacio Araya, Gilles Trombettoni, **Bertrand Neveu**, and Gilles Chabert. Upper bounding in inner regions for global optimization under inequality constraints. *Journal of Global Optimization*, 60(2):145–164, 2014.
- [AJ3] Nejmeddine Bahri, Imen Werda, Thierry Grandpierre, Mohamed Ali Ben Ayed, Nouri Masmoudi, and Mohamed Akil. Optimizations for real-time implementation of H264/AVC video encoder on DSP processor. *International Review on Computers and Software (IRECOS)*, 8(9):2025–2035, 2013.
- [AJ4] Jan Bartovsky, Petr Dokládal, **Eva Dokladalova**, Michel Bilodeau, and **Mohamed Akil**. Real-time implementation of morphological filters with polygonal structuring elements. *Journal of Real-Time Image Processing*, 10(1):175–187, 2015.
- [AJ5] Jan Bartovsky, Petr Dokládal, Matthieu Faessel, <u>Eva Dokladalova</u>, and Michel Bilodeau. Morphological co-processing unit for embedded devices. *Journal of Real-Time Image Processing*, pages pp. 1–12, 2015.
- [AJ6] Walid Behiri, Sana Belmokhtar-Berraf, and Chengbin Chu. Urban freight transport using passenger rail network: Scientific issues and quantitative analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 115:227 245, 2018.
- [AJ7] <u>Gilles Bertrand</u> and <u>Michel Couprie</u>. Isthmus based parallel and symmetric 3d thinning algorithms. *Graphical Models*, 80:1–15, 2015.
- [AJ8] <u>Alexandre Boulch</u>, <u>Martin De La Gorce</u>, and <u>Renaud Marlet</u>. Piecewise-planar 3d reconstruction with edge and corner regularization. *Computer Graphics Forum*, 33(5):55–64, 2014.
- [AJ9] <u>Alexandre Boulch</u>, Simon Houllier, <u>Renaud Marlet</u>, and Olivier Tournaire. Semantizing complex 3d scenes using constrained attribute grammars. *Computer Graphics Forum*, 32(5):33–42, 2013.
- [AJ10] <u>Alexandre Boulch</u> and <u>Renaud Marlet</u>. Deep learning for robust normal estimation in unstructured point clouds. *Computer Graphics Forum*, 35(5):281 290, 2016.
- [AJ11] Nicolas Boutry, Thierry Géraud, and Laurent Najman. A tutorial on well-composedness. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 60(3):443–478, 2018.
- [AJ12] <u>Stéphane Breuils</u>, <u>Vincent Nozick</u>, and Laurent Fuchs. A geometric algebra implementation using binary tree. *Advances in Applied Clifford Algebras*, 1:1–19, 2017.
- [AJ13] Norbert Bus, Shashwat Garg, Nabil Mustafa, and Saurabh Ray. Limits of local search: Quality and efficiency. Discrete and Computational Geometry, 2017.

- [AJ14] Norbert Bus, Nabil Mustafa, and Venceslas Biri. Global illumination using well-separated pair decomposition. Computer Graphics Forum, 34(8):88 103, 2015.
- [AJ15] Norbert Bus, Nabil Mustafa, and Venceslas Biri. IlluminationCut. Computer Graphics Forum, 34(2):561 573, 2015.
- [AJ16] Giovanni Chierchia, Mireille El Gheche, Giuseppe Scarpa, and Luisa Verdoliva. Multitemporal sar image despeckling based on block-matching and collaborative filtering. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(10):5467 5480, 2017.
- [AJ17] Giovanni Chierchia, Nelly Pustelnik, Jean-Christophe Pesquet, and Béatrice Pesquet-Popescu. Epigraphical splitting for solving constrained convex optimization problems with proximal tools. Signal, Image and Video Processing, 9(8):1737–1749, 2015.
- [AJ18] Giovanni Chierchia, Nelly Pustelnik, Béatrice Pesquet-Popescu, and Jean-Christophe Pesquet. A non-local structure tensor based approach for multicomponent image recovery problems. *IEEE Transactions on Image Processing*, 23(12):5531–5544, 2014.
- [AJ19] <u>Michel Couprie</u> and <u>Gilles Bertrand</u>. Asymmetric parallel 3d thinning scheme and algorithms based on isthmuses. *Pattern Recognition Letters*, 76:22–31, 2016.
- [AJ20] **Jean Cousty**, **Gilles Bertrand**, **Michel Couprie**, and **Laurent Najman**. Collapses and watersheds in pseudomanifolds of arbitrary dimension. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 50(3):261–285, 2014.
- [AJ21] <u>Jean Cousty</u>, <u>Laurent Najman</u>, <u>Yukiko Kenmochi</u>, and Silvio Guimarães. Hierarchical segmentations with graphs: quasi-flat zones, minimum spanning trees, and saliency maps. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 2017.
- [AJ22] Clément Farabet, Camille Couprie, Laurent Najman, and Yann Lecun. Learning hierarchical features for scene labeling. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 35(8):1915 1929, 2013.
- [AJ23] Aniello Fiengo, <u>Giovanni Chierchia</u>, Marco Cagnazzo, and Béatrice Pesquet-Popescu. Rate allocation in predictive video coding using a convex optimization framework. *IEEE Transactions on Image Processing*, 26(1):479 489, 2017.
- [AJ24] Raghudeep Gadde, Varun Jampani, Renaud Marlet, and Peter Gehler. Efficient 2d and 3d facade segmentation using auto-context. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 40(5):1273–1280, 2018.
- [AJ25] Raghudeep Gadde, Renaud Marlet, and Nikos Paragios. Learning grammars for architecture-specific facade parsing. *International Journal of Computer Vision*, 117(3):290–316, 2015.
- [AJ26] Mireille El Gheche, <u>Giovanni Chierchia</u>, and <u>Jean-Christophe Pesquet</u>. Proximity operators of discrete information divergences. *IEEE Transactions on Information Theory*, 64(2):1092–1104, 2018.
- [AJ27] Jörg H. Kappes, Bjoern Andres, Fred A. Hamprecht, Christoph Schnörr, Sebastian Nowo-zin, Dhruv Batra, Sungwoong Kim, Bernhard X. Kausler, Thorben Kröger, Jan Lellmann, Nikos Komodakis, Bogdan Savchynskyy, and Carsten Rother. A comparative study of modern inference techniques for structured discrete energy minimization problems. International Journal of Computer Vision, 2015.
- [AJ28] Nikos Komodakis and Jean-Christophe Pesquet. Playing with Duality: An overview of recent primal-dual approaches for solving large-scale optimization problems. *IEEE Signal Processing Magazine*, 2015.
- [AJ29] Nikos Komodakis, Bo Xiang, and Nikos Paragios. A framework for efficient structured max-margin learning of high-order mrf models. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2014.

- [AJ30] Loic Landrieu and <u>Guillaume Obozinski</u>. Cut Pursuit: fast algorithms to learn piecewise constant functions on general weighted graphs. *SIAM Journal of Imaging Sciences*, Vol. 10(No. 4):pp. 1724–1766, 2017.
- [AJ31] Odyssée Merveille, Hugues Talbot, Laurent Najman, and Nicolas Passat. Curvilinear structure analysis by ranking the orientation responses of path operators. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 40(2):304–317, 2018.
- [AJ32] **Laurent Najman**. Extending the powerwatershed framework thanks to γ -convergence. *SIAM Journal on Imaging Sciences*, 10(4):2275–2292, 2017.
- [AJ33] <u>Laurent Najman</u> and <u>Jean Cousty</u>. A graph-based mathematical morphology reader. *Pattern Recognition Letters*, 47:3–17, 2014.
- [AJ34] <u>Laurent Najman</u> and Pascal Romon. *Modern Approaches to Discrete Curvature*, volume 2184 of *Lecture Note in Mathematics*. 2017.
- [AJ35] **Bertrand Neveu**, Gilles Trombettoni, and Ignacio Araya. Adaptive constructive interval disjunction: algorithms and experiments. *Constraints*, 20(7):452–467, 2015.
- [AJ36] **Bertrand Neveu**, Gilles Trombettoni, and Ignacio Araya. Node selection strategies in interval branch and bound algorithms. *Journal of Global Optimization*, 64(2):289–304, 2016.
- [AJ37] Phuc Ngo, Yukiko Kenmochi, Nicolas Passat, and Hugues Talbot. Combinatorial structure of rigid transformations in 2d digital images. Computer Vision and Image Understanding, 117(4):393–408, 2013.
- [AJ38] Phuc Ngo, Yukiko Kenmochi, Nicolas Passat, and Hugues Talbot. Topology-preserving conditions for 2d digital images under rigid transformations. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 49(2):418–433, 2014.
- [AJ39] Phuc Ngo, Nicolas Passat, Yukiko Kenmochi, and Hugues Talbot. Topology-preserving rigid transformation of 2d digital images. *IEEE Transactions on Image Processing*, 23(2):885–897, 2014.
- [AJ40] **Benjamin Perret**. Inf-structuring functions: A unifying theory of connections and connected operators. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 51(1):171–194, 2015.
- [AJ41] <u>Benjamin Perret</u> and Christophe Collet. Connected image processing with multivariate attributes: an unsupervised markovian classification approach. *Computer Vision and Image Understanding*, 133:1–14, 2015.
- [AJ42] **Benjamin Perret**, **Jean Cousty**, Silvio J.F. Guimarães, and <u>Deise S Maia</u>. Evaluation of hierarchical watersheds. *IEEE Transactions on Image Processing*, 27(4):1676–1688, 2018.
- [AJ43] Benjamin Perret, Jean Cousty, Olena Tankyevych, Hugues Talbot, and Nicolas Passat. Directed connected operators: Asymmetric hierarchies for image filtering and segmentation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 37(6):1162–1176, 2015.
- [AJ44] <u>Kacper Pluta</u>, Tristan Roussillon, David Cœurjolly, Pascal Romon, <u>Yukiko Kenmochi</u>, and Victor Ostromoukhov. Characterization of bijective digitized rotations on the hexagonal grid. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 2018.
- [AJ45] Mahmoud Soua, **Rostom Kachouri**, and **Mohamed Akil**. Gpu parallel implementation of the new hybrid binarization based on kmeans method (hbk). *Journal of Real-Time Image Processing*, 2014.

- [AJ46] Yongchao Xu, Edwin Carlinet, Thierry Géraud, and Laurent Najman. Hierarchical segmentation using tree-based shape spaces. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 39(3):457–469, 2017.
- [AJ47] Yongchao Xu, Thierry Géraud, and Laurent Najman. Connected filtering on tree-based shape-spaces. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 38(6):1126 1140, 2016.
- [AJ48] Yongchao Xu, Pascal Monasse, Thierry Géraud, and Laurent Najman. Tree-based morse regions: A topological approach to local feature detection. *IEEE Transactions on Image Processing*, 23(12):5612–5625, 2014.

Articles de synthèse / revues bibliographiques

[AS1] Chaohui Wang, Nikos Komodakis, and Nikos Paragios. Markov random field modeling, inference & learning in computer vision & image understanding: A survey. Computer Vision and Image Understanding, 117(11):1610–1627, 2013.

8.7.1.2 Ouvrages (14 au total)

Direction et coordination d'ouvrages / édition scientifique

Aucun sélectionné.

Chapitres d'ouvrage

Aucun sélectionné.

8.7.1.3 Colloques / congrès, séminaires de recherche

Éditions d'actes de colloques / congrès (2 au total)

Aucun sélectionné

Articles publiés dans des actes de colloques / congrès (262 au total)

- [AC1] Gilles Bertrand. Completions and simple homotopy. In *Discrete Geometry for Computer Imagery (DGCI 2014)*, pages 63–74, 2014.
- [AC2] Amine Bourki, Martin de La Gorce, Renaud Marlet, and Nikos Komodakis. Patchwork Stereo: Scalable, Structure-Aware 3D Reconstruction in Man-Made Environments. In *IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV 2017)*, pages 292–301, 2017.
- [AC3] Norbert Bus, Nabil Mustafa, and Venceslas Biri. IlluminationCut. In Eurographics (EG 2015), pages 561–574, 2015.
- [AC4] Giovanni Chierchia, Davide Cozzolino, Giovanni Poggi, and Luisa Verdoliva. SAR image despeckling through convolutional neural networks. In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2017)*, pages 5438–5441, 2017.
- [AC5] Giovanni Chierchia, Nelly Pustelnik, and Jean-Christophe Pesquet. Random primal-dual proximal iterations for sparse multiclass SVM. In *IEEE International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP 2016)*, pages 1–6, 2016.
- [AC6] Takwa Chihaoui, **Rostom Kachouri**, Hejer Jlassi, **Mohamed Akil**, and Kamel Hamrouni. Human identification system based on the detection of optical Disc Ring in retinal images. In *International Conference on Image Processing Theory, Tools and Applications (IPTA 2015)*, pages 263–267, 2015.
- [AC7] Ferran Espuny, <u>Pascal Monasse</u>, and Lionel Moisan. A New A Contrario Approach for the Robust Determination of the Fundamental Matrix. In *Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology (PSIVT 2013)*, pages 181–192, 2013.

- [AC8] Aniello Fiengo, <u>Giovanni Chierchia</u>, Marco Cagnazzo, and Béatrice Pesquet-Popescu. Convex optimization for frame-level rate allocation in MV-HEVC. In *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2016)*, pages 2157–2161, 2016.
- [AC9] Huan Fu, Mingming Gong, <u>Chaohui Wang</u>, Kayhan Batmanghelich, and Dacheng Tao. Deep ordinal regression network for monocular depth estimation. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2018)*, 2018.
- [AC10] Huan Fu, <u>Chaohui Wang</u>, Dacheng Tao, and Michael J Black. Occlusion boundary detection via deep exploration of context. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2016)*, pages 241 250, 2016.
- [AC11] Spyros Gidaris and Nikos Komodakis. Object detection via a multi-region & semantic segmentation-aware CNN model. In *IEEE International Conference on Computer Vision* (ICCV 2015), pages 1134–1142. IEEE Computer Society, 2015.
- [AC12] <u>Thibault Groueix</u>, Matthew Fisher, Vladimir G. Kim, Bryan Russell, and <u>Mathieu Aubry</u>. AtlasNet: A Papier-Mâché Approach to Learning 3D Surface Generation. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2018)*, 2018.
- [AC13] Shell Xu Hu and Guillaume Obozinski. SDCA-Powered Inexact Dual Augmented Lagrangian Method for Fast CRF Learning. In *International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS 2018)*, 2018.
- [AC14] <u>Thibault Julliand</u>, <u>Vincent Nozick</u>, and <u>Hugues Talbot</u>. Automatic image splicing detection based on noise density analysis in raw images. In *International Conference of Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems (ACIVS 2016)*, pages 126 134, 2016.
- [AC15] **Rostom Kachouri** and **Mohamed Akil**. Hardware design to accelerate PNG encoder for binary mask compression on FPGA. In *SPIE 9400, Real-Time Image and Video Processing*, 2015.
- [AC16] **Rostom Kachouri**, Christian Medina Armas, and **Mohamed Akil**. Gamma correction acceleration for real-time text extraction from complex colored images. In *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2015)*, 2015.
- [AC17] **Rostom Kachouri**, Mahmoud Soua, and **Mohamed Akil**. Unsupervised image segmentation based on local pixel clustering and low-level region merging. In *IEEE International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP 2016*), pages 177–182, 2016.
- [AC18] Mateusz Koziński, <u>Raghudeep Gadde</u>, <u>Sergey Zagoruyko</u>, <u>Guillaume Obozinski</u>, and <u>Renaud Marlet</u>. A mrf shape prior for facade parsing with occlusions. In *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2015)*, pages 2820–2828, 2015.
- [AC19] <u>Mateusz Kozinski</u> and <u>Renaud Marlet</u>. Image parsing with graph grammars and markov random fields applied to facade analysis. In *IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV 2014)*, pages 729–736, 2014.
- [AC20] Zhe Liu, Pascal Monasse, and Renaud Marlet. Match selection and refinement for highly accurate two-view structure from motion. In European Conference on Computer Vision (ECCV 2014), pages 818–833, 2014.
- [AC21] Francisco Massa, **Renaud Marlet**, and **Mathieu Aubry**. Crafting a multi-task CNN for viewpoint estimation. In *British Machine Vision Conference (BMVC 2016)*, 2016.
- [AC22] <u>Pierre Moulon, **Pascal Monasse**</u>, and <u>**Renaud Marlet**</u>. Global fusion of relative motions for robust, accurate and scalable structure from motion. In *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV 2013)*, pages 3248–3255, 2013.

- [AC23] <u>Pierre Moulon</u>, <u>Pascal Monasse</u>, Romuald Perrot, and <u>Renaud Marlet</u>. OpenMVG: Open Multiple View Geometry. In *Workshop on Reproducible Research in Pattern Recognition (RRPR 2016)*, pages 60–74, 2016.
- [AC24] <u>Bertrand Neveu</u>, <u>Martin De La Gorce</u>, and Gilles Trombettoni. Improving a constraint programming approach for parameter estimation. In *IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI 2015)*, pages 852–859, 2015.
- [AC25] <u>Bertrand Neveu</u>, <u>Martin De La Gorce</u>, and Gilles Trombettoni. An interval branch and bound algorithm for parameter estimation. In *XIII Global Optimization Workshop (GOW 2016)*, 2016.
- [AC26] <u>Kacper Pluta</u>, Guillaume Moroz, <u>Yukiko Kenmochi</u>, and Pascal Romon. Quadric Arrangement in Classifying Rigid Motions of a 3D Digital Image. In *International Workshop on Computer Algebra in Scientific Computing (CASC 2016)*, pages 426 443, 2016.
- [AC27] <u>Kacper Pluta</u>, Pascal Romon, <u>Yukiko Kenmochi</u>, and Nicolas Passat. Bijectivity certification of 3D digitized rotations. In *Computational Topology in Image Context (CTIC 2016)*, volume 9667, pages 30–41, 2016.
- [AC28] Emile Richard, **Guillaume Obozinski**, and Jean-Philippe Vert. Tight convex relaxations for sparse matrix factorization. In *Neural Information Processing Systems (NIPS 2014)*, Advances in Neural Information Processing Systems 27, pages 3284–3292, 2014.
- [AC29] <u>Victoria Rudakova</u> and <u>Pascal Monasse</u>. Camera matrix calibration using circular control points and separate correction of the geometric distortion field. In *Computer and Robot Vision (CRV 2014)*, page 8 p., 2014.
- [AC30] Yohann Salaün, Renaud Marlet, and Pascal Monasse. Line-based Robust SfM with Little Image Overlap. In International Conference on 3D Vision (3DV 2017), pages 195–204, 2017.
- [AC31] Martin Simonovsky and Nikos Komodakis. Dynamic edge-conditioned filters in convolutional neural networks on graphs. In 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2017), pages 29–38, 2017.
- [AC32] <u>Mahmoud Soua</u>, <u>Rostom Kachouri</u>, and <u>Mohamed Akil</u>. A new hybrid binarization method based on Kmeans. In *International Symposium on Communications, Control and Signal Processing (ISCCSP 2014*), pages 118–123, 2014.
- [AC33] <u>Marina Vinyes</u> and <u>Guillaume Obozinski</u>. Fast column generation for atomic norm regularization. In *International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS)*, pages 547–556, 2017.
- [AC34] Chaoyue Wang, <u>Chaohui Wang</u>, Chang Xu, and Dacheng Tao. Tag disentangled generative adversarial networks for object image re-rendering. In *International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI 2017)*, pages 2901–2907, 2017.
- [AC35] <u>Sergey Zagoruyko</u> and <u>Nikos Komodakis</u>. Learning to compare image patches via convolutional neural networks. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (CVPR 2015), pages 4353–4361, 2015.
- [AC36] <u>Sergey Zagoruyko</u> and <u>Nikos Komodakis</u>. Wide residual networks. In *British Machine Vision Conference (BMVC 2016)*, 2016.

8.7.1.4 Organisation de colloques et écoles (17 au total)

Les principaux événements nationaux que des membres de l'équipe ont contribué à organiser sont :

- Congrès joints Reconnaissance des Formes, Image, Apprentissage et Perception (RFIAP) et Conférence Française de Photogrammétrie et Télédétection (CFPT), Champs-sur-Marne 2018, avec près de 230 participants;
- École d'été VIVABRAIN, Champs-sur-Marne 2017.

Nous avons également organisé 5 journées thématiques et contribué à l'organisation du séminaire mensuel de Géométrie Algorithmique et Combinatoire à l'Institut Henri Poincaré (2014-2016).

À l'international, les membres de l'équipe ont contribué à organiser un symposium et une école d'été :

- International Symposium on Mathematical Morphology (ISMM), Reykjavik 2015,
- Winter School in Geometric Discrepancy, Institut Henri Poincaré, Paris 2015, ainsi qu'une dizaine de workshops :
 - Colloquium on Discrete Curvature, CIRM Luminy 2013,
 - Workshop on Reproducible Research in Pattern Recognition (RRPR), Cancun 2016 et Pékin 2018,
 - Workshop on Optimization of, Data Learning and Inference (DALI) meeting, Sestri-Levante 2016.
 - Workshop on Discrete Geometry and Mathematical Morphology for Computer Vision (DGMM4CV), Taipei 2016,
 - Workshop on 3D Cross Media Analysis, Retrieval of Semantic Events, Immersion & Visualisation at 3DTV-Con, Lisbon 2015,
 - Workshop on Multimodal Capture, Modeling and Semantic Interpretation for Event Analysis, Retrieval and 3D Visualization at VISIGRAPP, Berlin 2015,
 - Workshop on Geometric Computation for Computer Vision (GCCV), Guanajuato 2013.
 - Workshop "Graphical Models for Scene Understanding: Challenges and Perspectives" at International Conference on Computer Vision (ICCV), Sydney 2013,
 - Workshop on Optimization for Vision, Graphics and Medical Imaging at the 8th International Symposium of Visual Computing (ISVC), Rethymnon, Grèce 2012,

8.7.1.5 Produits et outils informatiques

Logiciels (18 au total)

Les principaux logiciels que nous avons développés ou co-développés sont les suivants :

- Pink: bibliothèque d'opérateurs de traitement d'images; 400 kLOC (M. Couprie, J. Cousty, H. Talbot, L. Najman), utilisée en interne pour mettre au point de nouveaux opérateurs, les comparer avec l'existant, elle sert également dans le cadre de l'enseignement et de contrats avec des entreprises https://perso.esiee.fr/~coupriem/pink.tgz
- OpenMVG (Open Multiple-View Geometry): bibliothèque de calibration et de reconstruction 3D à partir d'images (voir encadré plus haut), développée initialement dans la thèse CIFRE de Pierre Moulon et qui est aujourd'hui une réference dans le domaine [AC23]; 50 kLOC, 4 contributeurs internes (P. Moulon, P. Monasse, R. Marlet, Y. Salaün), plus de 60 contributeurs externes, 8 utilisateurs internes dans l'équipe et quelques milliers d'utilisateurs externes dont 800 "fork" (copies pour modification et intégration dans un autre projet), 1800 "star" (personnes qui apprécient le logiciel), et 250 "watch" (personnes qui se sont abonnées pour être averties des évolutions), https://github.com/openMVG/openMVG
- IBEX : bibliothèque numérique C++ pour l'arithmétique d'intervalles et la programmation par contraintes, utilisée dans plusieurs autres systèmes d'optimisation (DynIbex, ViabIbex, BubbIbex, SynthIbex...), développée principalement à IMT Atlantique mais avec la contribution ancienne et toujours active de B. Neveu, http://www.ibex-lib.org/
- Imagine++ : biblitothèques graphique et d'algèbre linéaire destinée à l'enseignement par sa facilité d'utilisation; 17 kLOC, développée principalement par P. Monasse, avec plus de

200 utilisateurs (étudiants) chaque année, http://imagine.enpc.fr/~monasse/ Imagine++/

L'équipe a en outre développé ou contribué au développement d'une quinzaine d'autres logiciels de moindre ampleur (taille < 10 kLOC).

Bases de données (2 au total)

L'équipe n'a pas spécifiquement vocation à développer des bases de données. Cependant, des benchmarks ou des jeux de données annotées ont été créés pour valider certaines méthodes ou comme input pour des techniques d'apprentissage statistique. On peut citer par exemple :

- Une base de données de plus de 1800 images de synthèse, dédiée aux tests de classification entre images de synthèses et images naturelles (V. Nozick), utilisée dans 4 publications (y compris à l'extérieur de l'équipe), http://www-igm.univ-mlv.fr/~vnozick/publications/Rahmouni_WIFS_2017/GameCG.zip
- Paris ArtDeco Facades Dataset, composé d'images de façades Art déco annotées sémantiquement, utilisé et cité dans 3 publications, développé par R. Gadde https://github.com/raghudeep/ParisArtDecoFacadesDataset
- UnLoc, base de données de 12.000 images annotées pour le test de méthodes de localisation d'objets relativement à un bras robotisé sans calibration des caméras, utilisé dans 1 publication https://github.com/VLoing/UnLoc

Outils d'aide à la décision

Un modèle de simulation intégrant des algorithmes d'optimisation pour l'affectation des marchandises aux trains a été développé dans le cadre de la thèse de Walid Behiri. Cet outil d'aide à la décision permet de modéliser le comportement et la dynamique du système de transport ferroviaire pour l'acheminement de fret en milieu urbain [AJ6].

Outils présentés dans le cadre de compétitions de solveurs

Une bonne partie des publications que nous faisons, qui résolvent des problèmes de traitement d'images, de vision artificielle, d'apprentissage et d'optimisation reposent sur la développement de prototypes que nous évaluons sur des benchmarks, généralement publics, dans le cadre en quelque sorte de compétitions permanentes. Nous ne les listons pas ici. En matière de solveur au sens propre, nous pouvons néanmoins mentionner IBEX (voir section 8.7.1.5), qui est évalué positivement sur des benchmarks d'optimisation.

8.7.1.6 Développements instrumentaux et méthodologiques

Prototypes et démonstrateurs

Comme indiqué ci-dessus, de nombreux prototypes sont développés à l'occasion de nos publications pour évaluer et valider les méthodes que nous proposons. Beaucoup sont éphémères, mais la tendance ces dernières années est une mise en ligne du code et des données afin de faciliter la comparaison à d'autres méthodes et afin de favoriser ainsi les citations. Certaines de nos publications, notamment dans la revue électronique IPOL (image processing on line), sont en outre assorties non seulement d'une implémentation mais aussi d'un démonstrateur en ligne.

Plateformes et observatoires

Sans objet.

8.7.1.7 Autres produits propres à une discipline

Créations artistiques théorisées

Sans objet.

Mises en scènes

Sans objet.

Films

Sans objet.

8.7.1.8 Activités éditoriales

Participation à des comités éditoriaux (journaux scientifiques, revues, collections, etc.) (10 au total)

Des membres de l'équipe font partie de comités éditoriaux de revues de premier plan :

- CVIU (Computer Vision and Image Understanding): N. Komodakis (2015-), L. Najman (2015-)
- IPOL (Image Processing On Line): P. Monasse (2010-)
- IJCV (International Journal of Computer Vision): N. Komodakis (2015-)
- JMIV (Journal of Mathematical Imaging and Vision): H. Talbot (2015)
- JRTIP (Journal of Real-Time Image Processing): M. Akil (2003-)
- PRL (Pattern Recognition Letters): M. Couprie (2006-2017)
- SPL (Signal Processing Letter): L. Najman (2017-), H. Talbot (2017-)

Par ailleurs, 4 membres de l'équipe ont été "guest editors" de 3 numéros spéciaux de revues.

Direction de collections et de séries

Sans objet.

Participation à des comités de programme

Les membres de l'équipe participent à un nombre élevé de comités de programmes de conférences, où ils prennent part au processus de décision. Parmi les plus importantes des différents domaines, on peut citer :

- ACCV (Asian Conference on Computer Vision): Y. Kenmochi (tutorial co-chair 2016),
 N. Komodakis (area chair 2012), P. Monasse (2014)
- AISTATS (International Conference on Artificial Intelligence and Statistics): G. Obozinski (area chair 2013)
- BMVC (British Machine Vision Conference): N. Komodakis (area chair 2017, '18)
- CVPR (Conference on Computer Vision and Pattern Recognition): M. Aubry (area chair 2018), N. Komodakis (area chair 2016, '17, '18)
- ICCV (International Conference on Computer Vision): N. Komodakis (area chair 2015)
- ICML (International Conference on Machine Learning): G. Obozinski (area chair 2015, '17, '18)
- NIPS (Advances in Neural Information Processing Systems): G. Obozinski (area chair 2013, '14, '16, '18)

et dans des registres plus spécialisés :

- ACIVS (Avanced Concepts for Intelligent Vision Systems): H. Talbot (2013-18)
- ICTAI (International Conference on Tools with Artificial Intelligence): B. Neveu (2014-16)
- ISMM (International Symposium on Mathematical Morphology): J. Cousty (2009-), L. Najman (2013, program chair '15, '17), B. Perret (2017), H. Talbot (2013, program co-chair '15, '17)
- SoCG (International Symposium on Computational Geometry): N. Mustafa (2015)
- VISIGRAPP (International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications): V. Biri (2015-18)
- DGCI (International Conference on Discrete Geometry for Computer Imagery): G. Bertrand (2014, '16), M. Couprie (2014, '16), Y. Kenmochi (2016)

L'équipe a contribué également à la programmation scientifique de 7 autres colloques et workshops de moindre rayonnement.

8.7.1.9 Activités d'évaluation

Évaluation d'articles et d'ouvrages scientifiques (relecture d'articles / reviewing)

Outre leurs participations à des comités éditoriaux et à des comités de programme, beaucoup de membres de l'équipe ont une activité de relecture soutenue dans les colloques et journaux de référence du domaine, notamment les conférences AISTATS, BMVC, COLT, CVPR, ECCV, ICCV, ICLR, ICML, NIPS, SOCG, et les revues CVIU, IJCV, JMIV, JMLR, Machine Learning, PAMI, STCO, TSP (listes non exhaustives). Renaud Marlet a reçu un "outstanding reviewer award" à CVPR 2017.

Évaluation de projets de recherche

Des membres de l'équipe sont régulièrement sollicités comme évaluateurs pour :

- l'ANR (R. Marlet, P. Monasse, N. Mustafa, H. Talbot)
- l'ANRT (R. Marlet)

D'autres évaluations plus ponctuelles ont aussi été faites :

- COFECUB (Comité Français d'Évaluation de la Coopération Universitaire et Scientifique avec le Brésil): G. Obozinski 2016
- DRF (Direction de la Recherche Fondamentale) Impulsion CEA: G. Obozinski 2016
- JEDI (IDEX de Université Côte d'Azur) : G. Obozinski 2018
- NWO (Organisation néerlandaise pour la recherche scientifique): N. Mustafa 2017, G. Obozinski 2018

Évaluation de laboratoires (type Hcéres)

Hugues Talbot a été sollicité en 2017 pour une expertise INRIA pour le thème "Imagerie Médicale".

Responsabilités au sein d'instances d'évaluation

Venceslas Biri évalue des projets FUI dans le cadre du pôle de compétitivité Cap digital, et Guillaume Obozinski est membre d'un comité d'évaluation de l'ANR.

8.7.1.10 Contrats de recherche financés par des institutions publiques ou caritatives

Nous détaillons ici nos principaux contrats publics, en ne mentionnant que les contrats ayant débuté dans la période d'évaluation. (Un bon nombre d'autres contrats se sont terminés durant la période d'évaluation, contrats qui ont déjà été mentionnés lors de l'évaluation AERES précédente.) Le montant total de ces contrats avoisine les 2,3 M€.

Contrats européens (ERC, H2020...) et internationaux (NSF, JSPS, ...) (2 au total)

Nos principaux nouveaux contrats européens et internationaux sont :

- projet européen H2020 ITN SUNDIAL (721463) : Survey Network for Deep Imaging Analysis and Learning (2017-2021), porté par l'Université de Groningen (montant total 3,6 M€ dont 263 k€ pour le LIGM)
- projet européen FP7 ICT ROBO-SPECT (611145): Robotic system with intelligent vision and control for tunnel structural inspection and evaluation (2013-2016), porté par Institute of Communication and Computer Systems (ICCS) à Athènes (montant total de 3,3 M€ dont 386 k€ pour le LIGM)

Cela représente environ 650 k€. Nous avons également des financements pour des échanges avec le Brésil, le Japon et les USA (Univ. Berkeley).

Contrats nationaux (ANR, PHRC, FUI, INCA, etc.) (15 au total)

Les principaux projets nationaux dont nous sommes porteurs, avec le montant du budget alloué au laboratoire, sont les suivants :

- ANR JCJC EnHerit : Enhancing Heritage Image Databases (2018-2022), porté par M. Aubry (290 k€)
- ANR JCJC SAGA : Structural geometric approximation for algorithms (2014-2018), porté par N. Mustafa (183 k€)
- ANR Semapolis : Semantic visual analysis and 3D reconstruction of urban environments (2013-2017), porté par R. Marlet (186 k€)

L'équipe a par ailleurs un porteur de projet d'amorçage pour jeune chercheur (CNRS PEPS JCJC pour Ch. Wang) et est partenaire de 7 projets nationaux significatifs (ANR, DGA RAPID, PIA Cœur de filière numérique) avec des financements pour l'équipe allant chacun de 90 à 150 k€, pour un total d'environ 850 k€.

Contrats avec les collectivités territoriales

Sans objet.

Contrats financés dans le cadre du PIA

L'équipe a plusieurs contrats financés dans le cadre du PIA, directement ou indirectement (via l'ITE Efficacity, le Labex Bézout ou l'I-SITE FUTURE) :

- Coeur de filière numérique : projet PAPAYA, calcul intensif et simulation numérique (2016-2018), LIGM partenaire (190 k€),
- ITE Efficacity: mise à disposition de B. Neveu à 20%, 2016-2018, 78 k€
- Labex Bézout : une demi-allocation doctorale (Th. Groueix 2016), et une allocation postdoctorale (avec Pascal Romon, LAMA) prévue pour 2018-2020,
- I-SITE FUTURE: une allocation doctorale (P.-A. Langlois 2017) et des participations dans les projets Tremplin Dixite (745 k€ dont 160 k€ pour l'équipe) et CrisisLab, et les projets Impulsion Urban Vision (240 k€, co-porteurs H. Talbot/P. Monasse) et METAMAQ (financé partiellement, 60 k€, porteur R. Marlet).

Ces contrats représentent un total d'environ 820 k€ (en intégrant des emplois de doctorants et post-doctorants réalisés en fait par UPE au nom de l'I-SITE).

Contrats financés par des associations caritatives et des fondations (ARC, FMR, FRM, etc.) Sans objet.

8.7.1.11 Post-doctorants et chercheurs seniors accueillis

Outre plusieurs doctorants extérieurs invités, nous avons reçu les post-doctorants et chercheurs seniors suivants.

Post-doctorants

- Alessandro Benfenati (2016-2018);
- Gabriele Facciolo (2014-2015);
- Maxime Maria (2016-2018);
- Alberto Pimentel (2015-2016);
- Zhongwei Tang (2013-2014);
- Wenbin Zou (2014-2015).

Chercheurs seniors accueillis

- Toru Tamaki, professeur associé de l'université Hiroshima, Japon, avril 2015 à avril 2016;
- Kenichi Kanatani, Okayama University (Japon), 2014, UPE (programme "enseignants-chercheurs et chercheurs invités").

8.7.1.12 Indices de reconnaissance

Nos chercheurs, y compris les doctorants, ont été distingués par des prix de thèse, des prix du meilleur article, ainsi que par un titre de docteur honoris causa.

Prix

- Prix de thèse de l'Université Paris Est 2014, R. Kiran
- Prix de thèse AFRIF 2016, O. Merveille
- CVMP 2013, NVIDIA best student short paper, P. Moulon
- DGCI 2016, best student paper award, I. Youkana & J. Cousty
- GCPR 2015, best paper award, A. Geiger & Ch. Wang
- IJCAI 2017, distinguished student paper award, Ch. Wang & Ch. Wang

Distinctions

 M. Akil est fait docteur honoris causa en 2013 de l'Université West Bohemia, République Tchèque

Appartenance à l'IUF

Sans objet.

Responsabilités dans des sociétés savantes

Sans objet.

Invitations à des colloques/congrès à l'étranger

Des chercheurs de l'équipe ont été invités à faire des présentations dans des conférences :

- Joint conference of the Institute of Mathematical Statistics and the Australian Statistical Society, Sydney, Australia 2014 : G. Obozinski
- ICAPR 2017 (International Conference on Advances in Pattern Recognition), Bangalore, India: L. Najman keynote speaker

et workshops:

- BASP 2013, International biomedical and astronomical signal processing Frontiers workshop,
 Villars-sur-Ollon, Switzerland: G. Obozinski
- CG Learning 2013, Computational Geometric Learning Research workshop (FET/FP7), Athens, Greece: G. Obozinski
- Ascension of Combinatorics 2015, Lausanne : N. Mustafa orateur invité
- REDIUM Workshop on Methodological Advances in Statistics related to Big Data, Castro Urdiales, Spain 2015 : G. Obozinski
- JAIST-SGETech 2016 (JAIST symposium on game & entertainment technology & its application), Ishikawa, Japon: Y. Kenmochi
- Combinatorics and Algorithms 2018, Budapest : N. Mustafa orateur invité
- Research Workshop on Optimization and Big Data, KAUST, Saudi Arabia 2018 : G. Obozinski

Séjours dans des laboratoires étrangers

Les principaux séjours ($\geqslant 2$ semaines) de nos chercheurs dans des laboratoires étrangers sont les suivants :

- Univ. Federico Santa Maria, Valparaiso, Chili : B. Neveu, séjours de 2 semaines chaque année
- VIPLAB, Univ. pontificale du Minas Gerais, Belo Horizonte, Brésil : B. Perret, 2 semaines,
 2014
- Technion, Israel Institute of Technology : L. Najman, visiting professor pour l'année 2015-2016

D'autres chercheurs ont fait des séjours plus brefs à IIIT Delhi, NYU, UC Irvine, UCL, Univ. Göttingen.

8.7.2 Intéraction avec l'environnement

8.7.2.1 Brevets, licences et déclarations d'invention

Brevets déposés

 FR 17-53142 : M. Aubry, P.-A. Langlois, J. Brabet-Adonajlo, Processus automatisé de reconnaissance d'un objet, 2017 (aussi United Kingdom Patent Application No. 1615349.6)

Brevets acceptés

- US Patent No. 9,519,837 : X. Mei, Ch. Wang, Z. Hong, D. Prokhorov and D. Tao, Tracking using multilevel representations, 2016
- US Patent No. 9,613,273 : Z. Hong, X. Mei, Z. Chen, Ch. Wang, D. Prokhorov and D. Tao, Apparatus and method for object tracking, 2017

Brevets licenciés

Sans objet.

Déclaration d'invention

Sans objet.

8.7.2.2 Interactions avec les acteurs socio-économiques

Comme pour les contrats publics, nous ne mentionnons ici que nos principaux contrats privés ayant commencé dans la période d'évaluation, omettant les contrats datant d'avant 2013, décrits lors de l'évaluation AERES précédente. Le montant total de ces contrats avoisine les 1,4 M€.

Contrats de R&D avec des industriels

Nos principaux contrats (montant > 25 k€) avec des industriels ou EPIC sont les suivants :

- CSTB, 2015-2018, 108 k€
- Facebook, 2016-2019, 60 k€
- Heartflow Inc (USA), 2015-2018, 278 k€
- L'Oréal, 2013-2015, 124 k€
- Pzartech (start-up israélienne), 2016, 27 k€
- RTE, 2016-2019, 120 k€
- SAGEM Com, 2013-2016, 400 k€

(Un contrat avec l'ITE Efficacity a été comptabilisé plus haut au titre des contrats financés dans le cadre du PIA.) Cela représente environ 1,1 M€, auxquels s'ajoutent une demi-douzaine de contrats plus petits.

Nous avons par ailleurs bénéficié de plusieurs dons pour nous aider à poursuivre nos recherches et collaborations :

- Adobe : M. Aubry, 2015-2018, 31 k€
- Facebook : G. Obozinski, 2015, 22 k€
- Intel: N. Komodakis, 2017, 17 k€

Bourses CIFRE

Les contrats ci-dessus n'incluent pas les 6 bourses CIFRE suivantes, d'un total d'environ 210 k€ :

- CLARINS, thèse de J. Robic, 2015-2018, 30 k€
- GE HealthCare, thèse de I. Melki, 2012-2015, 45 k€, et thèse de K. Bacchuwar, 2014-2017, 45 k€
- Keosys, thèse de E. Grossiord, 2014-2017, 30 k€
- L'Oréal, thèse de D. Genest, 2016-2019, 46 k€

— SAFRAN Defense, thèse de A. Isavudeen, 2014-2017, 15 k€

Créations de laboratoires communs avec une / des entreprise(s)

Sans objet.

Création de réseaux ou d'unités mixtes technologiques

Sans objet.

Créations d'entreprises, de start-up

Sans objet.

8.7.2.3 Activités d'expertise scientifique

Activités de consultant

Quelques membres de l'équipe ont en outre une activité de consultant :

- Saint-Gobain Recherche, H. Talbot consultant en tomographie et segmentation, 2016
- L'Oréal, H. Talbot consultant en imagerie, depuis 2015
- Fruition Sciences, G. Obozinski, consultant analyse de données de viticulture, 2015

Participation à des instances d'expertise (type Anses) ou de normalisation

Sans objet.

Expertise juridique

Sans objet.

Rapports d'expertises techniques, produits des instances de normalisation

Sans objet.

8.7.2.4 Produits destinés au grand public

Émissions radio, TV, presse écrite

Sans objet.

Produits de vulgarisation : articles, interviews, éditions, vidéos, etc.

— "L'apprentissage profond entre mythes et réalités" de Mathieu Aubry, The Burgeoning Computer-Art Symbiosis (2018), ACM's student magazine.

Produits de médiation scientifique

Sans objet.

Débats science et société

Sans objet.

8.7.3 Implication dans la formation par la recherche

8.7.3.1 Produits des activités pédagogiques et didactiques

Ouvrages

- "Mathematical morphology : from theory to applications" de Laurent Najman et Hugues Talbot, John Wiley & Sons (2013)
- "Modern Approaches to Discrete Curvature." de Laurent Najman et Pascal Romon, Springer International Publishing (2017).

E-learning, moocs, cours multimedia, etc.

8.7.3.2 Productions scientifiques (articles, ouvrages, etc.) issues des thèses (210 au total)

Remarque : comme pour les autres équipes, nous avons choisi de présenter un article par doctorant ayant publié pendant la période évaluée.

- [AD1] Ketan Bacchuwar, Jean Cousty, Régis Vaillant, and Laurent Najman. Scale-space for empty catheter segmentation in pci fluoroscopic images. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 12(7):1179–1188, 2017.
- [AD2] Nejmeddine Bahri, Imen Werda, Thierry Grandpierre, Mohamed Ali Ben Ayed, Nouri Masmoudi, and Mohamed Akil. Optimizations for real-time implementation of H264/AVC video encoder on DSP processor. *International Review on Computers and Software (IRECOS)*, 8(9):2025–2035, 2013.
- [AD3] Alexandre Boulch, Martin De La Gorce, and Renaud Marlet. Piecewise-planar 3d reconstruction with edge and corner regularization. Computer Graphics Forum, 33(5):55–64, 2014.
- [AD4] Amine Bourki, Martin de La Gorce, Renaud Marlet, and Nikos Komodakis. Patchwork stereo: Scalable, structure-aware 3d reconstruction in man-made environments. In *IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV 2017)*, 2017.
- [AD5] Nicolas Boutry, Thierry Géraud, and Laurent Najman. How to make nD images Well-composed without interpolation. In *International Conference on Image Processing (ICIP 2015)*, 2015.
- [AD6] Yosra Braham, Mohamed Akil, and Mohamed Hédi Bedoui. Parallel implementation of a watershed algorithm on shared memory multicore architecture. In *Ninth International Conference on Machine Vision*, 2016.
- [AD7] <u>Stéphane Breuils</u>, <u>Vincent Nozick</u>, Akihiro Sugimoto, and Eckhard Hitzer. Quadric conformal geometric algebra of $\times^{9,6}$. *Advances in Applied Clifford Algebras*, 28(2):35, 2018.
- [AD8] <u>Thibaud Briand</u> and <u>Pascal Monasse</u>. Theory and Practice of Image B-Spline Interpolation. *Image Processing On Line*, 8:99–141, 2018.
- [AD9] Norbert Bus, Nabil Mustafa, and Saurabh Ray. Practical and efficient algorithms for the geometric hitting set problem. *Discrete Applied Mathematics*, 240:25 32, 2018.
- [AD10] Edwin Carlinet and Thierry Géraud. Mtos: A tree of shapes for multivariate images. *IEEE Transactions on Image Processing*, 24(12):5330 5342, 2015.
- [AD11] Edward Jorge Yuri Cayllahua Cahuina, Jean Cousty, Yukiko Kenmochi, Arnaldo De Albuquerque Araujo, and Guillermo Cámara-Chávez. Algorithms for hierarchical segmentation based on the Felzenszwalb-Huttenlocher dissimilarity. In *International Conference on Pattern Recognition and Artificial Intelligence (ICPRAI 2018)*, 2018.
- [AD12] <u>Takwa Chihaoui</u>, Hejer Jlassi, <u>Rostom Kachouri</u>, Kamel Hamrouni, and <u>Mohamed Akil</u>. Personal verification system based on retina and SURF descriptors. In *IEEE International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD 2016)*, 2016.
- [AD13] <u>Bruno Conejo</u>, <u>Nikos Komodakis</u>, Sebastien Leprince, and Jean-Philippe Avouac. Inference by learning: Speeding-up graphical model optimization via a coarse-to-fine cascade of pruning classifiers. In *Neural Information Processing Systems (NIPS 2014)*, 2014.
- [AD14] Yaroub Elloumi, Mohamed Akil, and Mohamed Hedi Bedoui. Execution time optimization using delayed multidimensional retiming. *International Journal of High Performance Systems Architecture (IJHPSA)*, 5(3):178–191, 2015.

- [AD15] <u>Clément Farabet</u>, Camille Couprie, <u>Laurent Najman</u>, and Yann Lecun. Learning hierarchical features for scene labeling. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 35(8):1915 1929, 2013.
- [AD16] Oussama Feki, Thierry Grandpierre, Nouri Masmoudi, and Mohamed Akil. Optimized Implementation of H.264/AVC Motion Estimation on a Mixed Architecture Using SynDEx-Mix. International Review on Computers and Software (IRECOS), 11(5), 2016.
- [AD17] <u>Laura Fernández Julià</u> and <u>Pascal Monasse</u>. Bilaterally weighted patches for disparity map computation. *Image Processing On Line*, 5:73–89, 2015.
- [AD18] Raghudeep Gadde, Renaud Marlet, and Nikos Paragios. Learning grammars for architecture-specific facade parsing. *International Journal of Computer Vision*, 117(3):290–316, 2015.
- [AD19] Spyros Gidaris and Nikos Komodakis. Object detection via a multi-region & semantic segmentation-aware CNN model. In *IEEE International Conference on Computer Vision* (*ICCV 2015*), pages 1134–1142. IEEE Computer Society, 2015.
- [AD20] Eloïse Grossiord, <u>Hugues Talbot</u>, Nicolas Passat, Michel Meignan, Pierre Tervé, and <u>Laurent Najman</u>. Hierarchies and shape-space for pet image segmentation. In *International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI 2015)*, pages 1118–1121, 2015.
- [AD21] <u>Thibault Groueix</u>, Matthew Fisher, Vladimir G. Kim, Bryan Russell, and <u>Mathieu Aubry</u>. AtlasNet: A Papier-Mâché Approach to Learning 3D Surface Generation. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2018)*, 2018.
- [AD22] Shell Xu Hu and Guillaume Obozinski. Sdca-powered inexact dual augmented lagrangian method for fast crf learning. In *International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS 2018)*, 2018.
- [AD23] Ali Isavudeen, Nicolas Ngan, Eva Dokladalova, and Mohamed Akil. Auto-adaptive multi-sensor architecture. In *IEEE International symposium on circuits and systems* (ISCAS 2016). IEEE, 2016.
- [AD24] Clara Jaquet, Edward Andò, Gioacchino Viggiani, and Hugues Talbot. Estimation of separating planes between touching 3d objects using power watershed. In *International Symposium on Mathematical Morphology and Its Applications to Signal and Image Processing (ISMM 2013)*, pages 452–463, 2013.
- [AD25] <u>Bruno Jartoux</u> and <u>Nabil Mustafa</u>. Optimality of geometric local search. In *International Symposium on Computational Geometry (SoCG 2018)*, 2018.
- [AD26] <u>Thibault Julliand</u>, <u>Vincent Nozick</u>, and <u>Hugues Talbot</u>. Countering noise-based splicing detection using noise density transfer. *Journal of Digital Forensics, Security and Law*, 11(2):111–122, 2016.
- [AD27] Ali Kanj, **Hugues Talbot**, and Raoul Rodriguez Luparello. Flicker removal and superpixel-based motion tracking for high speed videos. In *International Conference on Image Processing (ICIP 2017)*, pages 245–249, September 2017.
- [AD28] <u>Ibtissem Khouaja</u>, Ibtihel Nouira, Mohamed Hedi Bedoui, and <u>Mohamed Akil</u>. Enhancing EEG Surface Resolution by Using a Combination of Kalman Filter and Interpolation method . In *Computer Graphics, Imaging and Visualization (CGIV 2016)*, 2016.
- [AD29] <u>Bangalore Ravi Kiran</u> and <u>Jean Serra</u>. Global-local optimizations by hierarchical cuts and climbing energies. *Pattern Recognition Letters*, 47(1):12–24, 2014.
- [AD30] Mateusz Koziński, Raghudeep Gadde, Sergey Zagoruyko, Guillaume Obozinski, and Renaud Marlet. A mrf shape prior for facade parsing with occlusions. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2015)*, Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2015), pages 2820–2828, 2015.

- [AD31] <u>Timothée Lacroix</u>, Nicolas Usunier, and <u>Guillaume Obozinski</u>. Canonical tensor decomposition for knowledge base completion. *Proceedings of the 35th International Conference on Machine Learning*, 2018.
- [AD32] Zhe Liu, Pascal Monasse, and Renaud Marlet. Match selection and refinement for highly accurate two-view structure from motion. In European Conference on Computer Vision (ECCV 2014), pages 818–833, 2014.
- [AD33] <u>Deise S Maia</u>, Arnaldo De A Araujo, Jean S Cousty, <u>Laurent Najman</u>, <u>Benjamin Perret</u>, and <u>Hugues Talbot</u>. Evaluation of combinations of watershed hierarchies. In *International Symposium on Mathematical Morphology*, 2017.
- [AD34] <u>Francisco Massa</u>, Bryan Russell, and <u>Mathieu Aubry</u>. Deep exemplar 2D-3D detection by adapting from real to rendered views. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2016)*, 2016.
- [AD35] Odyssée Merveille, Hugues Talbot, Laurent Najman, and Nicolas Passat. Curvilinear structure analysis by ranking the orientation responses of path operators. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 40(2):304–317, 2018.
- [AD36] Pierre Moulon, Pascal Monasse, and Renaud Marlet. Global fusion of relative motions for robust, accurate and scalable structure from motion. In *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV 2013)*, pages 3248–3255, 2013.
- [AD37] Phuc Ngo, Nicolas Passat, Yukiko Kenmochi, and Hugues Talbot. Topology-preserving rigid transformation of 2d digital images. *IEEE Transactions on Image Processing*, 23(2):885–897, 2014.
- [AD38] <u>Laurent Noël</u> and <u>Venceslas Biri</u>. Real-time global illumination using topological information. *GSTF Journal on Computing*, 4(1):1–10, 2014.
- [AD39] Mathias Paget, Jean Philippe Tarel, and Pascal Monasse. Stereo ambiguity index for semi-global matching. In *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2017)*, page 5p., 2017.
- [AD40] <u>Kacper Pluta</u>, Pascal Romon, <u>Yukiko Kenmochi</u>, and Nicolas Passat. Bijective digitized rigid motions on subsets of the plane. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 59(1):84–105, 2017.
- [AD41] Michal Postolski, Michel Couprie, and Marcin Janaszewski. Scale filtered euclidean medial axis and its hierarchy. Computer Vision and Image Understanding, 129:89–102, 2014.
- [AD42] Élodie Puybareau, Diane Genest, Emilie Barbeau, Marc Léonard, and Hugues Talbot. An automated assay for the assessment of cardiac arrest in fish embryo. *Computers in Biology and Medicine*, 81:32–44, 2017.
- [AD43] <u>Julie Robic</u>, <u>Benjamin Perret</u>, Alex Nkengne, <u>Michel Couprie</u>, and <u>Hugues Talbot</u>. Classification of the dermal-epidermal junction using in-vivo confocal microscopy. In *International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI 2017)*, pages 252–255, 2017.
- [AD44] <u>Victoria Rudakova</u> and <u>Pascal Monasse</u>. Camera matrix calibration using circular control points and separate correction of the geometric distortion field. In *Computer and Robot Vision (CRV 2014)*, page 8 p., 2014.
- [AD45] Yohann Salaün, Renaud Marlet, and Pascal Monasse. Robust and accurate line- and/or point-based pose estimation without manhattan assumptions. In European Conference on Computer Vision (ECCV 2016), pages 801 818, 2016.
- [AD46] Martin Simonovsky and Nikos Komodakis. Dynamic edge-conditioned filters in convolutional neural networks on graphs. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2017)*, 2017.

- [AD47] Mahmoud Soua, Rostom Kachouri, and Mohamed Akil. Gpu parallel implementation of the new hybrid binarization based on kmeans method (hbk). *Journal of Real-Time Image Processing*, 2014.
- [AD48] Marina Vinyes and Guillaume Obozinski. Fast column generation for atomic norm regularization. In *International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTA 2017)*, 2017.
- [AD49] Yongchao Xu, Pascal Monasse, Thierry Géraud, and Laurent Najman. Tree-based morse regions: A topological approach to local feature detection. *IEEE Transactions on Image Processing*, 23(12):5612–5625, 2014.
- [AD50] <u>Sergey Zagoruyko</u> and <u>Nikos Komodakis</u>. Learning to compare image patches via convolutional neural networks. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2015)*, 2015.

Par ailleurs, on peut noter l'impact important de la thèse CIFRE de P. Moulon, avec deux articles cités plus d'une centaine de fois et un logiciel, OpenMVG, très largement diffusé (voir section 8.7.1.5).

8.7.3.3 Efficacité de l'accompagnement des étudiants et qualité de leur encadrement (financement, durée des thèses, taux d'abandon)

Beaucoup des thèses d'A3SI sont co-encadrées par plusieurs membres de l'équipe, et parfois en plus par des chercheurs hors du LIGM. Cela leur procure un environnement scientifique riche et stimulant, et offre aussi une grande réactivité. Les ateliers doctorants que nous organisons contribuent également à favoriser les échanges entre doctorants et chercheurs.

Les sources de financement sont variées : bourses des établissements de l'Université Paris-Est, bourses CIFRE et contrats industriels, allocations régionales, financements par des gouvernements étrangers (co-tutelles), financements sur projets institutionnels. La durée moyenne des thèses d'A3SI est de 44 mois. Seule une thèse a été abandonnée pendant la période, celle de Nadine Dommanget en 2013 (V. Biri) lors de sa 3ème année.

8.7.3.4 Suivi des doctorants en liaison avec les écoles doctorales et attention portée à l'insertion professionnelle des docteurs

C'est au niveau de l'école doctorale qu'est organisé le suivi des doctorants, notamment via les comités de suivi individuels.

Par ailleurs, c'est chaque directeur de thèse qui conseille ses doctorants et suit l'insertion professionnelle des docteurs qu'il a encadrés. En pratique, dans notre domaine, les étudiants trouvent extrêmement rapidement du travail, tant dans le privé que dans le public.

8.7.3.5 Labellisation nationale ou internationale des formations (Erasmus mundus p. ex.) Sans objet.

8.7.3.6 Accompagnement des séminaires de doctorants par des chercheurs; degré de participation des doctorants à la vie de l'entité de recherche

L'équipe organise régulièrement et plusieurs fois par an un atelier doctorants sur une demijournée qui est l'occasion pour les étudiants de présenter leur travaux et d'avoir un retour de l'ensemble des chercheurs d'A3SI. Cet atelier est très suivi et les échanges sont souvent fructueux. Par ailleurs, la doctorante Élodie Puybareau est membre du conseil du laboratoire.

8.7.3.7 Mobilisation des chercheurs dans le montage de formation de niveau master

G. Obozinski a contribué à la définition de Mastère Spécialisé Décision et Systèmes d'Information Géolocalisée (DeSIgeo) en ce qui concerne la science des données, et V. Biri a organisé la refonte du M2 "Sciences de l'Image", qui fait l'objet d'une convention entre l'UPEM, l'ESIEE et l'ENPC.

9 Combinatoire Algébrique et Calcul Symbolique

9.1 Présentation de l'équipe

9.1.1 Introduction

La combinatoire algébrique se situe au confluent de plusieurs branches des mathématiques (théorie des représentations, combinatoire classique, probabilités), de l'informatique (algorithmique, calcul formel) et de leurs applications (principalement en physique : physique statistique et information quantique par exemple). Bien qu'ayant des objectifs très théoriques, cette activité comprend une importante part expérimentale; l'observation sur ordinateur du comportement de structures combinatoires nécessite le développement d'algorithmes spécifiques, et permet la formulation et le test de conjectures, avant de s'attaquer à leur démonstration.

Depuis une vingtaine d'années, les structures les plus classiques de la combinatoire et de l'algorithmique (mots, arbres, permutations, graphes, tableaux, etc.) se sont vues munir de structures algébriques riches et complexes (algèbres de Hopf, opérades, props, etc.) qui permettent de les appréhender sous un angle totalement nouveau. L'équipe est spécialisée dans la compréhension et le développement des aspects algébriques d'objets issus de la combinatoire et de l'informatique, tout en s'ouvrant vers d'autres domaines, en mathématiques et en physique théorique notamment, où apparaissent des structures similaires.

Plus précisément, l'équipe a une compétence internationalement reconnue sur les thèmes suivants : algèbres de Hopf, théorie des opérades, probabilités libres, fonctions symétriques, tableaux de Young, et la théorie des invariants. Elle a ainsi développé une activité éditoriale soutenue dans des revues de mathématiques, de combinatoire et dans la conférence de référence du domaine FPSAC (Formal Power Series and Algebraic Combinatorics).

La vie de l'équipe s'organise autour d'un groupe de travail hebdomadaire, où chacun expose ses travaux en cours. C'est un lieu d'échange scientifique important, notamment pour les doctorants. Les membres de l'équipe sont également impliqués dans les instances locales et nationales : par exemple, Frédéric Toumazet est vice-président relations internationales de l'UPEM et Philippe Biane a présidé le CoNRS de la section 41 de 2012 à 2017.

9.1.2 Effectifs

Effectifs permanents

L'équipe est de petite taille avec 9 permanents, et ses effectifs permanents ont peu varié pendant la période évaluée. Alain Lascoux est décédé fin 2013. Olivier Bouillot a été recruté sur un poste de maître de conférence en 2017, pour enrichir les pistes de recherche remarquées dans le cadre de l'ANR CARMA (voir plus loin).

| BIANE | Philippe | DR CNRS | Président CoNRS 41 (2012-2017) |
|---------------|---------------------|------------|------------------------------------|
| BORIE | Nicolas | MdC UPEM | |
| BOUILLOT | Olivier | MdC UPEM | Recruté en 2017 |
| GIRAUDO | Samuele | MdC UPEM | Habilitation en 2017 |
| JOSUAT-VERGES | Matthieu | CR CNRS | |
| LASCOUX | Alain | DR émérite | Décédé en 2013 |
| NOVELLI | Jean- Christophe | PR UPEM | Président comité permanent 27 UPEM |
| THIBON | Jean-Yves | PR UPEM | Chef d'équipe |
| TOUMAZET | Frédéric | PR UPEM | VP relations internationales UPEM |

Doctorants

| Nom | Prénom | Directeur(s) | Dates | Titre |
|----------|------------|-------------------------|-------------|--|
| MAURICE | Rémi | Thibon | 2010 - 2013 | Algèbres de Hopf combinatoires |
| PONS | Viviane | Thibon | 2010 - 2013 | Combinatoire algébrique liée aux ordres sur les permutations |
| LANGER | Robin | Biane | 2011 - 2013 | Partitions planes cylindriques, Lambda déterminants, |
| VONG | Vincent | Novelli | 2011 - 2014 | Combinatoire algébrique des permutations et de leurs généralisations |
| CHATEL | Grégory | Novelli | 2012 - 2015 | Combinatoire algébrique liée aux ordres sur les arbres |
| TARRAGO | Pierre | Biane | 2012 - 2015 | Généralisation non-commutative de résultats probabilistes en théorie des représentations |
| CHEMLI | Zakaria | Novelli | 2013 - 2017 | Développements combinatoires autour des ta- bleaux et des nombres eulériens |
| NUNGE | Arthur | Novelli | 2015 | Algèbre de Hopf autour des polynômes orthogonaux et du PASEP |
| CORDERO | Christophe | Giraudo Novelli | 2016 | Combinatoire de l'inversion de Lagrange non- commutative |
| RANDAZZO | O Lucas | Josuat-Vergès Thibon | 2016 | Aspects combinatoires et algébriques de processus de particules |

ATER et post-doctorants

Plusieurs ATER ont rejoint temporairement l'équipe : Rémi Maurice (2013-2014), Vincent Vong (2014-2015), Grégory Châtel (2015-2016), Zakaria Chemli (2016-2017) et Cyril Chenavier (2017-2018). Olivier Bouillot a été postodctorant (2014-2015).

9.1.3 Interactions locales et nationales

Au niveau local, l'équipe collabore principalement avec l'équipe MOA. Il y a notamment des publications communes entre Samuele Giraudo et Stéphane Vialette, et Matthieu Josuat-Vergès a co-organisé avec Cyril Nicaud et Carine Pivoteau les journées ALÉA (journées nationales du GT ALÉA, du GDR IM). Des interactions ont également débuté entre Jean-Christophe Novelli et Vincent Jugé à l'occasion de la visite de Patrick Dehornoy au laboratoire au printemps 2018.

L'équipe entretient des liens privilégiés avec l'équipe combinatoire de l'IRIF (Paris 7), et coorganise avec ses membres plusieurs groupes de travail. Il y a également de nombreux liens avec d'autres équipes au niveau national, en particulier grâce à des projets ANR tels que CARMA (2013-2017), coordonné par Jean-Yves Thibon. Les membres de l'équipe COMBI sont très régulièrement sollicités pour rapporter ou examiner des thèses et des habilitations, ainsi que pour participer à des comités de sélection. Tous ses membres émargent au GDR Informatique Mathématique, dans les groupes de travail CombAlg, animé juqu'en 2017 par Jean-Christophe Novelli, et dans ALÉA, ainsi qu'au GDR Renormalisation.

Les membres de l'équipe prennent leur part de responsabilités localement, Frédéric Toumazet étant vice-président Relations Internationales de l'UPEM depuis 2016, et Jean-Christophe Novelli est élu au CR de l'UPEM et président du comité permanent (instance disciplinaire de l'UPEM qui s'occupe de l'organisation des comités de sélection, du recrutements des ATER, des titularisations, *etc.*).

Au niveau national, Philippe Biane a été président de la section 41 du comité national du CNRS jusqu'en 2017. Jean-Christophe Novelli a dirigé le GT CombAlg du GdR-IM jusqu'en 2017.

Jean-Yves Thibon est membre honoraire de l'Institut Universitaire de France.

9.1.4 Rayonnement international

Jean-Yves Thibon est l'un des trois éditeurs en chef du *Séminaire Lotharingien de Combinatoire*, membre des comités éditoriaux de *Journal of Algebra*, *Annales de l'Institut Henri Poicaré Serie D*, et membre du comité permanent de la conférence FPSAC, la conférence internationale de référence en combinatoire, dont il a été trois fois président du comité de programme.

Philippe Biane est éditeur de *Publications Mathématiques de l'IHES, Astérisque*, et de *Rendiconti del Seminario Matematici dell'Universita di Padova*. Il est également membre du comité éditorial de Probability Theory and Related Fields et a été membre du comité éditorial de Journal of Functional Analysis.

Jean-Christophe Novelli est membre des comités éditoriaux de *Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science*, et de *Journal of Discrete Mathematics*. Il a été membre des comités de programme de FPSAC 2013 et 2015.

Matthieu Josuat-Vergès a été membre du comité de programme de FPSAC 2018.

Philippe Biane a été invité à de nombreuses conférences, congrès et à donner des exposés de colloquium pendant la période, notamment ceux intitulés "Probability and Representation Theory", ICMS, Edinburgh, Écosse en 2014 et "Free Probability Theory", Oberwolfach, Allemagne en 2015. Matthieu Josuat-Vergès a été invité pour un séjour de trois semaines en 2015 au NIMS (Corée du Sud) dans le cadre du Thematic Program on Combinatorics. Il a également effectué des visites au LaCIM (Canada) entre 2015 et 2016.

9.1.5 Formation par la recherche

Jean-Christophe Novelli et Jean-Yves Thibon ont donné plusieurs cours de combinatoire en master 1 et 2 ainsi qu'au niveau doctorat (UPEM), notamment dans le cadre du parcours Bézout financé par le Labex. Samuele Giraudo et Matthieu Josuat-Vergès ont donné en commun un cours de combinatoire algébrique (combinatoire des permutations et théorie des opérades) en master 2

entre 2015 et 2017. Matthieu Josuat-Vergès intervient dans le M2 MPRI à Paris 7. Philippe Biane dans le M2 Probabilités et Modèles Aléatoires à Paris 6. Nicolas Borie intervient en master 2 dans un module d'algèbre effective (bases de Gröbner et applications en informatique).

À l'international, Philippe Biane est intervenu dans deux écoles CIMPA: "New interactions of Combinatorics and Probability" au Brésil en 2015 et "Aspects algébriques, combinatoires et analytiques des probabilités libres" au Maroc en 2017. Il a également donné un cours de M2 à l'Université du Liban à Tripoli en 2017.

9.2 Produits et activités de recherche

9.2.1 Bilan scientifique

Algèbres de Hopf combinatoires

Jean-Christophe Novelli et Jean-Yves Thibon ont introduit sur le monoïde libre de nouvelles congruences, qui généralisent la congruence sylvestre, et leur permettent d'étendre aux arbres d'arité quelconque les structures algébriques qui avaient été découvertes sur les arbres binaires par Loday et Ronco dans le cadre de la théorie des opérades, et par plusieurs physiciens dans le cadre de la renormalisation. Ils obtiennent ainsi en particulier une algèbre d'arbres (m+1)-aires, dont le produit engendre des intervalles du treillis m-Tamari introduit par Bergeron. Ils introduisent de même diverses m-structures (permutations, mots tassés, fonctions de parking) et obtiennent ainsi de nouvelles algèbres de Hopf combinatoires par quotients et sous-algèbres.

Les structures algébriques qui apparaissent depuis quelques années sur des familles d'objets combinatoires sont souvent introduites au moyen d'algorithmes astucieux et assez peu naturels. Pour tenter de remédier à cette situation, nous avons introduit la notion de réalisation polynomiale d'une algèbre de Hopf combinatoire. L'idée est d'associer aux objets combinatoires des polynômes (en général non commutatifs) de manière à ce que l'opération de composition se traduise en le produit ordinaire des polynômes, et la décomposition (coproduit) en un simple dédoublement de l'alphabet sous-jacent. L'exemple le plus simple est l'algèbre des fonctions quasi-symétriques libres (FQSym), qui réalise l'algèbre des permutations de Malvenuto-Reutenauer, au moyen de la notion élémentaire de standardisation d'un mot. Cette notion peut se raffiner (tassage, parkisation), mais rien de ce type n'était connu pour les algèbres d'arbres qui interviennent en théorie quantique des champs. Au moyen de nouveaux algorithmes de normalisation pour des mots sur un alphabet bi-indexé, Jean-Christophe Novelli et Jean-Yves Thibon, en collaboration avec Loïc Foissy (Calais), sont parvenus à traiter ces cas, en particulier celui de l'algèbre de Connes-Kreimer, dont ils ont obtenu au passage de nouvelles bases.

En probabilités libres, les séries génératrices des moments et des cumulants libres d'une variable aléatoire sont liées par une équation fonctionnelle qui se résout par la formule d'inversion de Lagrange. Dans le cas d'un système de plusieurs variables aléatoires, cette équation est remplacée par un système triangulaire, qui se résout par la formule de R. Speicher, une inversion de Moebius sur le treillis des partitions non croisées. En remontant ce calcul dans le groupe d'une opérade libre basée sur les arbres plans réduits, Matthieu Josuat-Vergès, Jean-Christophe Novelli et Jean-Yves Thibon, en collaboration avec Frédéric Menous (Orsay) ont ramené ce système à l'inversion d'une série en arbres qu'ils calculent explicitement. Ils ont montré que ces séries pouvaient s'interpréter comme les caractères de l'algèbre des forêts planes réduites, et ils en ont déduit une équation qui étend celle d'Ebrahimi-Fard et Patras au cas des probabilités à valeurs opératorielles [CJ8]. Cet article fait suite à une série d'études sur la combinatoire de l'inversion fonctionnelle, comprenant l'inversion de Lagrange non commutative et les équations de conjugaison de Schröder et Poincaré.

Jean-Yves Thibon, en collaboration avec Loïc Foissy (Calais) et Frédéric Patras (Nice), a étudié les déformations du produit de mélange dans le cas ou l'alphabet sous-jacent possède une structure de monoïde, comme dans l'exemple du quasi-mélange intervenant dans la théorie des multizêtas.

Cela revient à introduire un foncteur *Sh* associant à une algèbre associative l'algèbre de mélange sur son algèbre tensorielle, et à étudier le monoïde des transformations naturelles de ce foncteur. Ils montrent qu'il est isomorphe au monoïde des séries formelles sans terme constant en une variable pour la composition. Ils en déduisent de nouvelles déformations de l'algèbre **WQSym** des mots tassés. Ils obtiennent aussi un nouveau plongement des l'algèbre des fonctions symétriques non commutatives, qui leur permet de donner une preuve simple et naturelle de la formule de Goldberg pour les coefficients de la série de Hausdorff.

Le projet ANR CARMA

Le projet ANR CARMA (Combinatoire Algébrique, Résurgence, Moules et Applications), coordonné par Jean-Yves Thibon de janvier 2013 à juin 2017, avait pour objectif de comprendre les liens entre le calcul moulien et les algèbres de Hopf combinatoires.

Le calcul moulien est un ensemble de techniques élaborées par Jean Écalle depuis les années 1970 pour manipuler des séries d'opérateurs intervenant dans ses travaux sur les formes normales de champs de vecteurs ou de difféomorphismes au voisinage de points singuliers et en particulier dans sa théorie des fonctions résurgentes. Il a été réalisé il y a quelques années, à l'occasion d'un séminaire interdisciplinaire organisé à l'observatoire de Paris en 2010-2011, que ces techniques présentaient des similitudes avec la théorie des algèbres de Hopf combinatoires, particulièrement troublantes dans le cas du calcul étranger, où il apparaissait clairement qu'une algèbre d'opérateurs de prolongement analytique à la définition particulièrement délicate était isomorphe à celle des fonctions symétriques non commutatives. A titre d'exemple, ce point précis nous a permis de découvrir une nouvelle famille d'idempotents de Lie de l'algèbre des descentes, ce qui a remis en question la compréhension actuelle de la combinatoire de l'algèbre de Lie libre.

Le projet réunissait 17 chercheurs de 8 laboratoires différents, répartis sur tout le territoire, parmi lesquels des spécialistes de combinatoire, de systèmes dynamiques, d'algèbre, de physique mathématique et même un chimiste. Il a donné lieu à 55 publications. Il s'est conclu par une conférence internationale à Luminy en juin 2017.

Opérades

Samuele Giraudo a introduit une construction fonctorielle de la catégorie des magmas unitaires vers celle des opérades non symétriques. Cette construction permet d'obtenir des opérades sur des configurations de diagonales décorées dans des polygones. Ceci mène à une nouvelle famille d'opérades et offre des constructions alternatives d'opérades déjà connues comme l'opérade des configurations non croisées bicolores, les opérades des simples et doubles multi-tildes et l'opérade de gravité.

Les pros sont des généralisations des opérades permettant d'abstraire la notion d'opérateur à plusieurs entrées et plusieurs sorties. Ainsi Jean-Paul Bultel et Samuele Giraudo proposent un foncteur de la catégorie des pros rigides (quotients de pros libres dont les présentations par générateurs et relations vérifient des propriétés particulières) vers la catégorie des bigèbres de Hopf. Cette construction généralise celle de van der Laan associant à toute opérade une bigèbre de Hopf. Nous retrouvons ainsi certaines des déformations de l'algèbre de Faà di Bruno introduites par Foissy et obtenons de nouvelles bigèbres de Hopf sur des objets combinatoires comme des graphes particuliers ou bien des empilements.

Samuele Giraudo a proposé [CJ5] une généralisation de l'opérade non symétrique associative à un paramètre. Ce paramètre est un ordre partiel fini, ce qui fait que cette construction est un foncteur de la catégorie des ordres partiels finis vers celle des opérades. Il étudie cette construction et donne

une condition suffisante sur les ordres partiels de départ pour obtenir des opérades de Koszul.

Algèbres dendriformes

Les algèbres dendriformes sont des structures dans lesquelles interviennent deux produits \prec et \succ . Elles offrent un cadre formel et effectif pour l'étude des algèbres associatives en réalisant ce qui est appelé un *découpage* de produit. Par exemple si on considères l'espace $\mathbb{Q}\langle A\rangle$ des mots sur un alphabet A, le produit de mélange \sqcup est un produit associatif qui consiste à entremêler les lettres de deux mots de toutes les façons possibles, comptées avec multiplicité s'il y a plusieurs façon d'obtenir le même résultat. Ainsi $ab \sqcup ba = abab + 2.abba + 2.baab + baba$. Il s'avère que ce produit \sqcup se découpe en deux parties \prec et \succ , où $u \prec v$ (resp. $u \succ v$) est la somme des mots apparaissant dans $u \sqcup v$ dont la dernière lettre provient de u (resp. v). On en tire ainsi des identités fondamentales, qui mènent à la formulation récursive du produit de mélange. Celle-ci sert d'outil pour démontrer certaines de ses propriétés ou encore de prototype pour en définir des analogues. Il devient par exemple possible de mélanger toutes sortes d'objets combinatoire; voici l'exemple des arbres binaires :

$$\text{Res} = \text{Res} + \text$$

Finalement, ce procédé de découpage de produits permet de montrer que certaines algèbres associatives sont libres, fruit d'un théorème de rigidité liant les algèbres dendriformes et les algèbres associatives.

Dans [CJ6], nous proposons des généralisations des algèbres dendriformes, nommées algèbres γ -polydendriformes, où $\gamma \in \mathbb{N}$ est un paramètre. Ces structures sont munies de γ opérations \leftarrow_i et de γ opérations \rightarrow_i , $1 \leq i \leq \gamma$. Elle offrent un nouveau cadre pour découper une opération associative. La combinatoire sous-jacente à ces algèbres γ -polydendriformes fait intervenir une famille d'arbres binaires dont les arêtes internes sont étiquetées par des entiers ainsi que des produits de mélange de ces arbres. En plus de fournir une nouvelle façon de collecter des propriétés des algèbres associatives, la découverte de ces structures algébriques nous a amenés à explorer de nouvelles structures dont des opérades comme, entre autres, des généralisations de l'opérade dupliciale, de l'opérade diassociative et de l'opérade triassociative.

Probabilités

Dans l'article [CJ2], Philippe Biane et Guillaume Chapuy (Paris 7) considérent le théorème de Kirchhoff qui exprime le déterminant d'une matrice Laplacienne sur un graphe comme une somme sur des arbres couvrants du graphe. On peut démontrer ce résultat en relevant la chaîne de Markov associée en une chaîne de Markov sur les arbres couvrants du graphe. Ils montrent que le polynôme caractéristique de la matrice Laplacienne de ce relèvement admet une factorisation remarquable, dont ils explicitent les termes.

Mesures et polynômes orthogonaux

Dans [CJ1], Philippe Biane considère la mesure

$$d\mu(\theta) = \frac{d\theta}{|f(e^{i\theta})|^2}; \qquad f(z) = \frac{(bz,q)_{\infty}}{(az,q)_{\infty}}; \qquad a,b \in \mathbf{C}.$$

En utilisant une méthode dont l'origine remonte aux travaux de Laguerre, il montre que les coefficients de récurrence des polynômes orthogonaux satisfont eux-mêmes des relations de récurrence rationnelles qui se ramènent à itérer la fraction rationnelle $(y, \xi) \to (\tilde{y}, \tilde{\xi})$, où

$$\tilde{\xi} = \frac{c_1 c_2}{\kappa_1 \theta_1 \xi} \frac{(\xi(y - \frac{q\theta_1}{c_1 \kappa_2}) - \frac{q}{\kappa_2}(y - c_2))(\xi(y - \frac{q\theta_1}{c_2 \kappa_2}) - \frac{q}{\kappa_2}(y - c_1))}{(\xi(y - c_4) - \frac{q}{\kappa_2}(y - \frac{\theta_2}{qc_3 \kappa_1}))(\xi(y - c_3) - \frac{q}{\kappa_2}(y - \frac{\theta_2}{qc_4 \kappa_1}))},$$

$$\tilde{y} = \frac{\theta_1 \xi^2(y - c_3)(y - c_4) + \frac{\theta_2}{\kappa_1 \kappa_2}(y - c_1)(y - c_2) - \xi((q \frac{\theta_1}{\kappa_2} + \frac{\theta_2}{q\kappa_1})y^2 - \sigma_3 y + 2 \frac{\theta_1 \theta_2}{\kappa_1 \kappa_2})}{\frac{\kappa_2}{q} \xi^2(y - c_3)(y - c_4) - \frac{q}{\kappa_2}(y - c_1)(y - c_2) + \xi(-2y^2 + \sigma_1 y - (q \frac{\theta_1}{\kappa_2} + \frac{\theta_2}{q\kappa_1}))}.$$

Les c_i , θ_i , κ_i sont des paramètres explicites en fonction de a,b. Derrière cette fraction se cache une structure remarquable, reliée à la théorie de Sakai des équations de Painlevé discrètes : la transformation birationnelle associée provient d'une translation dans le groupe de Weyl affine $E_8^{(1)}$. Cet exemple fournit donc, de manière naturelle une famille intéressante de polynômes orthogonaux qui sont au-delà de la classification d'Askey.

Combinatoire bijective et énumérative

L'article [CJ7], dans lequel Matthieu Josuat-Vergès donne une formule raffinée pour le dénombrement des chaînes maximales de partitions non croisées, est intéressant pour son côté précurseur, plusieurs travaux en cours en sont la suite : d'abord en lien étroit avec le complexe d'amas (travail en commun avec Philippe Biane), et des énumérations plus générales faisant intervenir les exposants d'Orlik-Solomon qui viennent de la théorie des arrangements d'hyperplans (projet avec Theodosios Douvropoulos).

Les travaux de Matthieu Josuat-Vergès effectués en collaboration avec Guo Niu Han (Strasbourg), font apparaître divers résultats sur la combinatoire des permutations et des permutations colorées dans un contexte géométrique, le calcul de volumes de polytopes, et plus généralement, avec la théorie d'Ehrhart qui raffine le calcul du volume en considérant le comptage de points entiers dans les polytopes.

Le problème Gog-Magog (trouver une bijection entre ces deux classes d'objets qui sont des espèces de triangles de Gelfand-Tsetlin) est bien connu en combinatoire. L'introduction de l'involution de Schützenberger a permis de résoudre partiellement cette question et de faire de nouvelles conjectures qui généralisent considérablement le problème en introduisant des *pentagones* Gog et GOGAm.

Dans [CC1], Philippe Biane et Matthieu Josat-Vergès donnent une généralisation multivariée de l'énumération des chaînes maximales du treillis des partitions non-croisées en reprenant et raffinant la méthode bijective que Philippe Biane avait utilisée dans un article précédent. Dans un récent travail, ils introduisent deux relations d'ordre sur un groupe de Coxeter. Ces relations d'ordre permettent d'obtenir de nouveux résultats sur les liens entre les partitions noncroisées et les complexes d'amas.

Dans le cadre d'une collaboration inter-équipes, Samuele Giraudo et Stéphane Vialette étudient le produit de super mélange des permutations. Une approche algorithmique de cette opération est suivie pour démontrer que détecter les carrés vis-à-vis de ce produit (les permutations qui apparaissent dans le produit d'une permutation avec elle-même) est **NP**-complet. Une exploration algébrique est également entreprise dans laquelle nous démontrons certaines propriétés de ce produit en considérant son coproduit dual (associativité, endomorphismes, symétries vérifiées par les permutations carrées).

Nicolas Borie a rafiné des résultats du trio Kitaev, Remmel et Tiefenbruck. Il donne des interprétations combinatoires bijectives de résultats de comptage concernant les dispositions de graphes de permutations et des séries autour des nombres de Catalan.

Dans l'article [CC3], Nicolas Borie propose une étude originale d'objets planaires construit avec deux briques de bases : des produits formels et des coproduits formels. Ces prographes sont une extension des structures arborescentes et opéradiques dont de nombreux membres de l'équipe combinatoire commencent à comprendre les fondements. Dans cet article présenté à Londres lors de la conférence FPSAC2017, s'appuyant sur une expérimentation informatique chère à l'équipe, Borie établit des bijections rigides, préservant des statistiques combinatoires remarquables, entre ces prographes produit-coproduit et des objets classiques comme les tableaux de Young ou encore des chemins de Dyck valués.

Multizêtas, calcul moulien

Les multizêtas sont des nombres apparaissant aujourd'hui dans de nombreux contextes différents, mais leur arithmétique est toujours hors de notre portée. Olivier Bouillot a défini et étudié un analogue fonctionnel de ces nombres, les multitangentes, qui apparait naturellement dans l'étude de la dynamique des germes de difféomorphismes tangents à l'identité. Il montre en particulier le lien intime que ces fonctions ont avec les multizêtas.

Les multizêtas de Hurwitz sont des fonctions généralisant à la fois la fonction zêta de Hurwitz et les multizêtas. L'article [CJ3] met en évidence deux propriétés fondamentales de ces fonctions. La première indique qu'il s'agit de fonctions résurgentes dont le phénomène de Stokes est explicitement donné par les multitangentes. La seconde étudie les relations qui lient ces fonctions entres-elles : toutes les relations algébriques reliant ces fonctions proviennent des relations de stuffle ; autrement l'algèbre engendrée par les multizêtas de Hurwitz est isomorphe à l'algèbre de Hopf combinatoire *QSym*.

Dans l'article [CO1], Olivier Bouillot, en collaboration avec Jean Ecalle (Orsay), reprend l'étude des difféomorphismes f de $\mathbb C$ tangents à l'identité et de leurs invariants $A_{\omega}(f)$ sous les points de vue complémentaires du calcul effectif et de l'étude théorique. Les formules produites dépendent de deux ingrédients de base, les multizêtas (nombres conjecturalement transcendants) et les multitangentes (fonctions transcendantes), et sont démontrées à l'aide de la théorie de la résurgence. Combinatoirement, cet article met en évidence l'intérêt d'introduire une nouvelle symétrie moulienne pour l'étude des invariants : la symmétrie -Ol.

Information quantique, invariants

Dans une série d'articles consacrés aux applications de la combinatoire algébrique à la théorie de l'information quantique, Jean-Yves Thibon a poursuivi, en collaboration avec Frédéric Holweck (Belfort) et Jean-Gabriel Luque (Rouen) l'étude du système de 4 qubits. C'est le système de qubits le plus complexe dont on puisse espérer obtenir une description complète (en particulier, une classification des états). Il existe une importante littérature sur ce sujet. La première classification partielle a été proposée par Verstraete et al. et a été depuis raffinée et corrigée par de nombreux auteurs. Nous avions précédemment obtenu un système complet de 170 covariants (au sens de la théorie classique des invariants) au moyen de calculs intensifs sur machine. En théorie, la connaissance de ces covariants devrait permettre de décider si deux états sont équivalents pour la classification SLOCC (Stochastic Local Operations assisted by Classical Communication), mais

la mise en oeuvre n'a rien d'évident. Dans ces articles, on donne des descriptions géométriques des orbites, et des algorithmes permettant de décider cette équivalence dans le cas des familles d'orbites continues.

Dans l'article [CC2], Borie propose un nouvel algorithme pour calculer des invariants secondaires des groupes symétriques. En choisissant une base adaptée à l'action du groupe symétrique et en localisant ses calculs dans des représentations irréductibles du groupe symétrique, il diminue drastiquement la complexité de construction d'une famille complète d'invariants secondaires. Son approche permet, entre autres, de construire une base de générateurs pour les invariants algébriques agissant sur les arêtes des graphes à cinq sommets. Ce calcul avait été qualifié d'inaccessible pour les approches usuelles, qui utilisent souvent des bases de Gröbner. À notre connaissance, les algorithmes de Borie restent les seuls capables de résoudre ce genre de problèmes encore aujourd'hui.

9.2.2 Données chiffrées

| COMBI | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Total |
|----------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Journaux | 12 | 8 | 10 | 12 | 4 | 3 | 49 |
| Actes de conf. | 5 | 4 | 4 | 2 | 2 | 1 | 18 |
| Chapitres | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 4 |
| Total | 18 | 12 | 15 | 14 | 7 | 5 | 71 |

9.2.3 Faits marquants scientifiques

Les principaux résultats scientifiques sont les suivants.

- Construction de réalisations polynomiales de plusieurs algèbres de Hopf d'arbres, en particulier de celle de Connes-Kreimer.
- Construction de relèvements non-commutatifs sans multiplicités des séries génératrices des serpents d'Arnold, et interprétation de leurs équations différentielles en termes de fonctions symétriques non commutatives.
- Interprétation des séries arborifiées d'Ecalle pour l'équation de conjugaison en termes de séries non-commutatives dans le groupe d'une opérade.

9.3 Analyse SWOT

Points forts

L'équipe est reconnue internationalement pour la qualité de ses travaux scientifiques en combinatoire algébrique. Elle travaille vraiment en équipe, et s'est organisée, de façon un peu atypique, pour qu'il y ait un maximum d'interactions entre ses membres, y compris les stagiaires et les doctorants.

Points à améliorer

Il est difficile de trouver de bons étudiants localement, en raison d'exigences élevées en mathématiques dans les thématiques de l'équipe.

La petite taille de l'équipe rend chaque départ potentiellement déstabilisant et chaque recrutement crucial.

Possibilités liées au contexte

Le projet d'EUR et la création d'un véritable parcours math-info avec le laboratoire de mathématiques de l'UPEM ouvre des perspectives de collaborations avec le LAMA et de recrutements d'excellents doctorants.

Risques liées au contexte

Des départs vont avoir lieu dans les prochaines années (jeunes chercheurs récemment habilités ou sur le point de l'être, départ en retraite de Jean-Yves Thibon d'ici 5 ans). Il faut donc dès à présent anticiper et commencer à planifier des recrutements.

9.4 Projet scientifique à cinq ans

Depuis de nombreuses années, notre stratégie est orientée par la volonté d'élargir le champ d'applications et d'investigations de la combinatoire algébrique. Nous avons pour cela bénéficié de financements de l'ANR, avec le projet HopCombOp (2006-2009), qui nous a donné une ouverture sur la théorie des opérades, et sur les questions de renormalisation, et récemment le projet CARMA (2012-2017), qui était orienté vers la communauté du calcul moulien (un ensemble de techniques de calcul introduites par Jean Ecalle dans le cadre de la théorie des systèmes dynamiques). Ces projets ont été très productifs, et nous ont permis de tisser des liens solides avec des membres d'autres communautés, avec lesquels nous partageons maintenant un langage commun.

Il est apparu depuis quelques temps que des progrès récents en théorie des probabilités offraient un débouché naturel pour l'expérience acquise au cours de ces dernières années. Il y a bien sûr les probabilités libres, représentées dans l'équipe par Philippe Biane, et auxquelles d'autres membres de l'équipe ont récemment commencé à contribuer, ainsi que certains autres participants des projets précédents. Nous comptons poursuivre l'étude des divers types de cumulants, et de leurs relations avec des équations fonctionnelles non commutatives descriptibles en termes d'opérades.

Les équations différentielles stochastiques sont maintenant reliées aux algèbres de Hopf combinatoires. La théorie des chemins rugueux de Lyons a mis en évidence le rôle crucial des algèbres de Hopf de mélange, et les contributions récentes de M. Gubinelli ont fait apparaître les algèbres de Hopf de forêts. Il est bien connu qu'en présence d'équations très irrégulières (KPZ, Φ^4 , ...), il est nécessaire de renormaliser les développements en série des solutions formelles. Jusqu'à récemment, ce type de renormalisation ne rentrait pas dans un schéma à la Connes-Kreimer. Les travaux de Hairer et sa théorie des structures de régularité ont mis en évidence diverses algèbres de Hopf combinatoires et des groupes de renormalisation qui sont encore très mal compris. En dépit de similitudes apparentes avec les algèbres de type Connes-Kreimer, leur structure fine suggère l'existence de phénomènes entièrement nouveaux. Nous comptons aborder ces questions, en collaboration avec des spécialistes extérieurs au LIGM.

Les algèbres de Hopf combinatoires sont aussi apparues récemment en théorie du contrôle. Diverses familles d'opérateurs de Fliess sont définies au moyen d'intégrales itérées, et forment des groupes de type Faà di Bruno, avec une certaine composition utilisée dans la définition du produit de rétroaction. Le dual de cette opération a été récemment décrit par Foissy et d'autres dans une récente série d'articles. Ces auteurs montrent que ces groupes peuvent être vus comme des groupes de caractères de certaines algèbres de Hopf possédant des structures supplémentaires extrêment riches, faisant intervenir par exemple des algèbres préLie ou postLie. Cela conduit aux questions suivantes : les algèbres d'arbres de Connes-Kreimer étant duales des algèbres enveloppantes des algèbres préLie, on peut s'attendre à ce que les algèbres de Hopf d'opérateurs de Fliess se plongent à leur tour dans des algèbres d'arbres. Ceci devrait refléter un processus d'arborification au sens d'Ecalle, qui reste à découvrir. Les antipodes de ces objets ont aussi une grande importance, puisqu'ils décrivent l'inversion des opérateurs de Fliess pour la composition.

Chaque groupe de réflexions a un monoïde de tresses duales introduit par Bessis. Dans un travail récent avec Philippe Nadeau et Jang Soo Kim, Matthieu Josuat-Vergès a montré que l'algèbre de ce monoïde est Koszul, dans le cas réel. De nombreuses questions demeurent : d'abord étendre le résultat au cas complexe. Leur méthode fait apparaître de manière naturel le complexe d'amas, qui est en dualité avec les tresses via la théorie de Koszul, et ainsi devrait contribuer à mieux comprendre ce complexe d'amas. Plus généralement, en l'état actuel les tresses simples (partitions non-croisées) sont plutôt bien comprises même si de nombreux problèmes restent ouverts, et le projet consiste étendre ce que nous savons sur elles quand on considère le monoïde en entier.

Pour la politique scientifique, il va falloir se préoccuper des futurs recrutements pour maintenir l'équipe à son niveau actuel, en prévisions du départ probable de deux ou trois rangs B, habilités ou sur le point de l'être, et du départ en retraite de Jean-Yves Thibon d'ici à 5 ans. Au vu de la petite taille et de la spécificité de l'équipe, ces recrutements sont très délicats. La difficulté n'est pas tant de trouver des combinatoristes que des personnes avec lesquelles nous pouvons réellement collaborer, ce qui, en revanche, n'exclut pas la possibilité de recruter en dehors de notre petite communauté. Les cas des recrutements de Philippe Biane (probabilités) ou d'Olivier Bouillot (systèmes dynamiques) sont des exemples d'ouverture réussies.

9.5 Organisation de la vie de l'équipe

La vie de l'équipe s'organise autour du groupe de travail du vendredi matin (10h30-13h00). C'est un séminaire informel où tous les participants peuvent improviser un exposé sur leurs travaux en cours ou proposer un problème, même lorsqu'un orateur invité est programmé. Les doctorants sont particulièrement encouragés à participer.

Les doctorants sont regroupés dans une salle commune proche des bureaux des permanents, ce qui facilite les échanges. Les thèses sont dirigées de façon un peu atypique, en équipe, tous les membres permanents participant à l'encadrement de toutes les thèses.

Cette organisation a fait ses preuves, puisque la direction du laboratoire a prévu de regrouper les doctorants d'autres équipes, à l'issue des travaux du bâtiment Copernic.

Nous organisons aussi des séances de relecture collective des soumissions aux conférences, chacun corrigeant, commentant et enrichissant les contributions de ses collègues.

9.6 Recommandation de l'AERES en 2013

Attention aux recrutements dans une communauté étroite : d'une manière générale, l'équipe gagnerait à imaginer des dispositifs pour s'ouvrir sur l'extérieur.

C'est un point que nous avons toujours en tête lors des recrutements. C'est ainsi que nous avons accueilli, au fil du temps, Philippe Biane en probabilités, Matthieu Josuat-Vergès en combinatoire énumérative, Nicolas Borie qui a des orientations en calcul formel, et Olivier Bouillot en systèmes dynamiques complexes. La difficulté de ces ouvertures est accentuée par notre structuration très collective (voir le projet scientifique et l'organisation de la vie de l'équipe).

Avec l'aval de la direction du laboratoire, de potentiels candidats professeurs ont déjà été contactés. Ceci afin d'anticiper, à moyen terme, des recrutements avec des ouvertures vers de nouvelles thématiques.

Les moyens de l'équipe reposent essentiellement sur des contrats ANR successifs, il serait sage de diversifier et d'anticiper de nouvelles sources de financement.

Nous avons essayé, sans grand succès, de répondre à d'autres appels, et encourageons les jeunes chercheurs à le faire systématiquement. Le contexte local ne présente pas de risques véritable sur ce point, la gestion financière centralisée du LIGM et les besoins limités de l'équipe permettant de ne jamais être en difficulté dans notre activité scientifique.

9.7 Annexe : sélection des produits et des activités de recherche

Dans toute cette partie, qui présente l'annexe 4 de l'équipe, nous avons veillé à effectuer une sélection dans chacune des rubriques, pour ne présenter que nos contributions les plus notables et les plus pertinentes. De nombreux autres produits et activités de la recherche, jugés plus secondaires, ne sont donc pas listés ci-dessous.

9.7.1 Production de connaissances, rayonnement et attractivité scientifique

Remarque : nous avons choisi de sélectionner 20% globalement sur toutes les publications de l'équipe, et non 20% par type de publication, même si nous avons respecté à peu près les proportions.

9.7.1.1 Journaux / Revues (49 au total)

Articles scientifiques

- [CJ1] **Philippe Biane**. Orthogonal polynomials on the unit circle, q-Gamma weights, and discrete Painlevé equations. *Moscow mathematical journal*, 14(1):1–27, 2014.
- [CJ2] **Philippe Biane** and Guillaume Chapuy. Laplacian matrices and spanning trees of tree graphs. *Annales de la Faculté des Sciences de Toulouse. Mathématiques.*, 26:235 261, 2017.
- [CJ3] Olivier Bouillot. On Hurwitz multizeta functions. *Advances in Applied Mathematics*, 71:68 124, 2015.
- [CJ4] Loïc Foissy, <u>Jean-Christophe Novelli</u>, and <u>Jean-Yves Thibon</u>. Polynomial realizations of some combinatorial Hopf algebras. *Journal of Noncommutative Geometry*, 8(1):141–162, 2014.
- [CJ5] <u>Samuele Giraudo</u>. Operads from posets and Koszul duality. *European Journal of Combinatorics*, 56C:1–32, 2016.
- [CJ6] <u>Samuele Giraudo</u>. Pluriassociative algebras II: The polydendriform operad and related operads. *Advances in Applied Mathematics*, 77:43–85, 2016.
- [CJ7] <u>Matthieu Josuat-Vergès</u>. Refined Enumeration of Noncrossing Chains and Hook Formulas. *Annals of Combinatorics*, 19(3):443–460, 2015.
- [CJ8] Matthieu Josuat-Vergès, Frederic Menous, Jean-Christophe Novelli, and Jean-Yves Thibon. Free cumulants, Schröder trees, and operads. Advances in Applied Mathematics, 88:92 119, 2017.
- [CJ9] <u>Alain Lascoux</u>. Polynomial representations of the Hecke algebra of the symmetric group. *International Journal of Algebra and Computation*, 23(4):803–818, 2013.
- [CJ10] <u>Jean-Christophe Novelli</u>, Frédéric Patras, and <u>Jean-Yves Thibon</u>. Natural endomorphisms of quasi-shuffle Hopf algebras. *Bulletin de la société mathématique de France*, 141:107–130, 2013.

Articles de synthèse / revues bibliographiques

Sans objet.

9.7.1.2 Ouvrages (4 au total)

Sans objet.

Direction et coordination d'ouvrages / édition scientifique

Chapitres d'ouvrage

[CO1] Olivier Bouillot and Jean Ecalle. Invariants of identity-tangent diffeomorphisms expanded as series of multitangents and multizetas. In *Resurgence, Physics and Numbers*. Publications of the Scuola Normale Superiore, 2017.

9.7.1.3 Colloques / congrès, séminaires de recherche (18 au total) Éditions d'actes de colloques / congrès

Sans objet.

Articles publiés dans des actes de colloques / congrès

- [CC1] <u>Philippe Biane</u> and <u>Matthieu Josuat-Vergès</u>. Minimal factorizations of a cycle: a multivariate generating function. In *Formal Power Series and Algebraic Combinatorics (FPSAC 2015)*, 2016.
- [CC2] <u>Nicolas Borie</u>. Effective Invariant Theory of Permutation Groups using Representation Theory. In *International Conference on Algebraic Informatics (CAI 2015)*, 2015.
- [CC3] Nicolas Borie. Three-dimensional Catalan numbers and product-coproduct prographs. In Formal Power Series and Algebraic Combinatorics (FPSAC 2017), 2017.

9.7.1.4 Organisation de colloques / congrès

- Jean-Christophe Novelli, co-organisation de SLC'17 (environ 80 participants).
- Matthieu Josuat-Vergès, co-organisation des journées ALEA 2014 (environ 100 participants).

9.7.1.5 Produits et outils informatiques

Logiciels

 Nicolas Borie développe la bibliothèque Cosymus destinée à fonctionner avec le logiciel SAGE. Ce package implémente cinq bases combinatoires connues des coinvariants du groupe symétrique.

Bases de données

Sans objet.

Outils d'aide à la décision

Sans objet.

Outils présentés dans le cadre de compétitions de solveurs

Sans objet.

9.7.1.6 Développements instrumentaux et méthodologiques Prototypes et démonstrateurs

Sans objet.

Plateformes et observatoires

Sans objet.

9.7.1.7 Autres produits propres à une discipline Créations artistiques théorisées

Sans objet.

Mises en scènes

Sans objet.

Films

9.7.1.8 Activités éditoriales

Participation à des comités éditoriaux (journaux scientifiques, revues, collections, etc)

- Philippe Biane est éditeur des Publications Mathématiques de l'IHES, d'Astérisque, et de Rendiconti del Seminario Matematici dell'Universita di Padova. Il est également membre du comité éditorial de Probability Theory and Related Fields et a été membre du comité éditorial de Journal of Functional Analysis.
- Jean-Christophe Novelli est membre des comités éditoriaux de Discrete Mathematics & Theoretical Computer Science et du Journal of Discrete Mathematics.
- Jean-Yves Thibon est l'un des trois éditeurs en chef du SLC (Séminaire Lotharingien de Combinatoire); il est membre des comités éditoriaux de Journal of Algebra et des Annales de l'Institut Henri Poicaré Serie D.

Direction de collections et de séries

Sans objet.

Participation à des comités de programme

- Matthieu Josuat-Vergès, membre du PC de FPSAC'18.
- Jean-Christophe Novelli, chair de SLC'17 et membre du PC de FPSAC'13 et FPSAC'15.
- Jean-Yves Thibon est membre du comité permanent de FPSAC.

9.7.1.9 Activités d'évaluation

Évaluation d'articles et d'ouvrages scientifiques (relecture d'articles / reviewing)

Les membres de l'équipe participent activement à des relectures d'articles pour les principaux journaux et conférences du domaine.

Évaluation de projets de recherche

Les membres de l'équipe sont régulièrement sollicités pour évaluer des projets de recherche, type ANR.

Évaluation de laboratoires (type Hcéres)

 — Philippe Biane a fait partie du comité HCERES de l'Institut de Mathématiques de Jussieu en 2013.

Responsabilités au sein d'instances d'évaluation

- Philippe Biane a été président du CoNRS 41 du CNRS de 2012 à 2016 (national).
- Jean-Christophe Novelli est membre élu du Conseil Académique de l'UPEM depuis 2016 (local).

9.7.1.10 Contrats de recherche financés par des institutions publiques ou caritatives Contrats européens (ERC, H2020, etc.) et internationaux (NSF, JSPS, NIH, etc.)

Sans objet.

Contrats nationaux (ANR, PHRC, FUI, INCA, etc.)

— ANR CARMA (2012-2017) avec Jean-Yves Thibon (porteur), Matthieu Josuat-Vergès (membre) et Jean-Christophe Novelli (membre). Financement total 179 K€.

Contrats avec les collectivités territoriales

Sans objet.

Contrats financés dans le cadre du PIA

Contrats financés par des associations caritatives et des fondations (ARC, FMR, FRM, etc.) Sans objet.

9.7.1.11 Post-doctorants et chercheurs seniors accueillis

Post-doctorants

— Olivier Bouillot (2014-2015) sur financement de l'ANR CARMA.

Chercheurs seniors accueillis

Sans objet.

9.7.1.12 Indices de reconnaissance

Prix

Sans objet.

Distinctions

Sans objet.

Appartenance à l'IUF

Sans objet.

Responsabilités dans des sociétés savantes

Sans objet.

Invitations à des colloques / congrès à l'étranger

- Philippe Biane a été invité dans de nombreuses conférences ou congrès à l'étranger, dont "Probability and Representation Theory", ICMS, Edinburgh, Écosse en 2014 et "Free Probability Theory", Oberwolfach, Allemagne en 2015.
- Philippe Biane intervenu dans deux écoles CIMPA: "New interactions of Combinatorics and Probability" au Brésil en 2015 et "Aspects algébriques, combinatoires et analytiques des probabilités libres" au Maroc en 2017.
- Philippe Biane a fait de nombreux exposés de colloquium, notamment à l'Université d'Ottawa (Canada) en 2014 et à l'Université de Bristol (UK) en 2017.
- Olivier Bouillot (alors post-doctorant dans l'équipe) a été invité à la conférence "Resurgence, Physics and Numbers", Scuola Normale Superiore di Pisa, Centro di Ricerca Matematica Ennio de Georgi, Pise (Italie).
- Matthieu Josuat-Vergès a été invité pour un séjour de trois semaines en 2015 au NIMS (Corée du Sud) dans le cadre du Thematic Program on Combinatorics.

Séjours dans des laboratoires étrangers

- Philippe Biane a effectué un séjour d'un mois à l'IAS (Princeton) en 2014.
- Matthieu Josuat-Vergès a effectué plusieurs visites au LaCIM (Canada) entre 2015 et 2016.

9.7.2 Intéraction avec l'environnement

9.7.2.1 Brevets, licences et déclarations d'invention Brevets déposés

Sans objet.

Brevets acceptés

Sans objet.

Brevets licenciés

Déclaration d'invention

Sans objet.

9.7.2.2 Interactions avec les acteurs socio-économiques

Contrats de R&D avec des industriels

Sans objet.

Bourses Cifre

Sans objet.

Créations de laboratoires communs avec une / des entreprise(s)

Sans objet.

Création de réseaux ou d'unités mixtes technologiques

Sans objet.

Créations d'entreprises, de start-up

Sans objet.

9.7.2.3 Activités d'expertise scientifique

Activités de consultant

Sans objet.

Participation à des instances d'expertise (type Anses) ou de normalisation

Sans objet.

Expertise juridique

Sans objet.

Rapports d'expertises techniques, produits des instances de normalisation

Sans objet.

9.7.2.4 Produits destinés au grand public

Émissions radio, TV, presse écrite

Sans objet.

Produits de vulgarisation : articles, interviews, éditions, vidéos, etc.

Sans objet.

Produits de médiation scientifique

Sans objet.

Débats science et société

Sans objet.

9.7.3 Implication dans la formation par la recherche

9.7.3.1 Produits des activités pédagogiques et didactiques

Ouvrages

Sans objet.

E-learning, moocs, cours multimedia, etc.

 Nicolas Borie participe au développement de la plate forme d'E-learning Premier Langage (dirigé par Dominique Revuz).

9.7.3.2 Productions scientifiques (articles, ouvrages, etc.) issues des thèses (12 au total)

Remarque : comme pour les autres équipes, nous avons choisi de présenter un article par doctorant ayant publié pendant la période évaluée.

- [CD1] <u>Grégory Chatel</u> and Vincent Pilaud. The Cambrian Hopf Algebra. In *Formal Power Series* and Algebraic Combinatorics (FPSAC), pages 61–72, Daejeon, South Korea, July 2015.
- [CD2] Hayat Cheballah, **Samuele Giraudo**, and <u>Rémi Maurice</u>. Hopf algebra structure on packed square matrices. *Journal of Combinatorial Theory, Series A*, 133:139–182, 2015.
- [CD3] <u>Viviane Pons</u>. Interval structure of the Pieri formula for Grothendieck polynomials. *International Journal of Algebra and Computation*, 23(01):123–146, 2013. 24 pages.
- [CD4] <u>Pierre Tarrago</u>. Asymptotic independence in large random permutations with fixed descent set. *Electronic Journal of Probabities*, 20(103, 33), 2015.
- [CD5] Vincent Vong. Combinatorial proofs of freeness of some P-algebras. In Formal Power Series and Algebraic Combinatorics (FPSAC), pages 523–534, Daejeon, South Korea, 2015.

9.7.3.3 Efficacité de l'accompagnement des étudiants et qualité de leur encadrement (financement, durée des thèses, taux d'abandon)

Les doctorants de l'équipe ont des sources de financement publiques, que ce soit des allocations de normaliens ou des allocations doctorales fournies par l'UPEM. La durée moyenne des thèses soutenues est de 38 mois, et il n'y a pas eu d'abandon au cours de la période évaluée.

9.7.3.4 Suivi des doctorants en liaison avec les écoles doctorales et attention portée à l'insertion professionnelle des docteurs

Le suivi des doctorants est institutionnalisé au niveau de l'école doctorale, où sont organisés des comités de suivi individuels. Les séminaires d'équipe du vendredi sont aussi l'occasion d'avoir un regard de toute l'équipe sur les avancements des doctorants, et constituent un lieu d'échange et de conseil.

Chaque directeur de thèse suit l'insertion professionnelle des docteurs, même s'il n'y a aucune difficulté dans le domaine pour trouver un position dans l'académique, dans l'enseignement (plusieurs de nos doctorants sont agrégés) ou dans le secteur privé.

9.7.3.5 Labellisation nationale ou internationale des formations (Erasmus mundus p. ex.) Sans objet.

9.7.3.6 Accompagnement des séminaires de doctorants par des chercheurs; degré de participation des doctorants à la vie de l'entité de recherche

Il n'y a pas de séminaire spécifique aux doctorants dans l'équipe, mais ils participent comme les autres chercheurs au séminaire du vendredi.

9.7.3.7 Mobilisation des chercheurs dans le montage de formation de niveau master

- Jean-Christophe Novelli, en tant que responsable de la filière Informatique Fondamentale du Master d'Informatique de l'UPEM, a participé au montage des nouvelles maquettes lors des renouvellements.
- Jean-Christophe Novelli a participé au montage de la filière de M2 recherche "Mathématiques et Informatique" mutualisée sur les Masters des deux disciplines de l'UPEM et qui va commencer en septembre 2018.

10 Logiciels, Réseaux, Temps Réel

10.1 Présentation de l'équipe

10.1.1 Introduction

L'équipe LRT est une équipe relativement jeune, créée peu de temps avant la dernière évaluation de l'AERES en 2013. Elle vise à développer des travaux de recherche dans les domaines associés à la conception de systèmes et applications embarqués mobiles communicants pour des réseaux sans fil (IoT, véhiculaires, 5G). Les travaux de l'équipe sont structurés autour de trois thèmes principaux : Logiciel, Réseaux et Temps-réel (LRT). Pour chacun de ces thèmes, les spécialités convergent et des réalisations se construisent de manière transversale, afin de créer des synergies autour des compétences internes de l'équipe.

L'équipe s'est consolidée pendant la période évaluée, en recrutant plusieurs permanents dont trois au niveau professeur. Partie d'un effectif assez fragile en 2013, elle est maintenant stable, développe une activité internationalement reconnue avec de nombreux contrats institutionnels et industriels. Les membres de l'équipe sont également très impliqués localement, puisqu'elle compte le président de l'UPEM, le directeur de l'Institut Gaspard-Monge ¹, le directeur adjoint de l'ESIPE ² et le directeur du département Informatique de l'ESIEE. L'équipe est en plein développement, avec aucun chercheur senior et une visibilité internationale qui ne cesse de croître.

10.1.2 Effectifs

Permanents

Il y a eu de nombreuses arrivées dans l'équipe au cours de la période. C'est à la fois lié à la politique scientifique au niveau du laboratoire consistant à renforcer l'équipe en rang A, et aux développements de filières d'enseignement proches des thématiques de LRT à l'ESIEE.

Le seul départ est celui de Yacine Ghamri-Doudane en septembre 2013 qui a été promu à l'Université de la Rochelle. Même s'il ne prendra pas ses nouvelles fonctions pendant la période évaluée, notons également qu'Abderrezak Rachedi va être promu professeur à l'UPEM à la rentrée 2018.

^{1.} L'Institut Gaspard-Monge est la composante d'enseignement d'électronique et d'informatique de l'UPEM.

^{2.} L'ESIPE est l'école d'ingénieur en alternance de l'UPEM.

| Abdeddaim | Yasmina | MC ESIEE | |
|-----------|------------|-----------|---|
| Aitsaadi | Nadjib | PR ESIEE | Recruté en 2016 |
| Badis | Hakim | MdC UPEM | |
| Cherrier | Sylvain | MdC UPEM | Recruté en 2017, PRAG auparavant |
| Duris | Etienne | MdC UPEM | Directeur adjoint de l'ESIPE |
| Forax | Remi | MdC UPEM | |
| George | Laurent | PR ESIEE | Co-responsable de l'équipe, recruté en 2014 |
| Langar | Rami | PR UPEM | Co-responsable de l'équipe, recruté en 2016 |
| Lohier | Stéphane | MdC UPEM | |
| Masson | Damien | MdC ESIEE | |
| Midonnet | Serge | MdC UPEM | Directeur de l'Institut Gaspard-Monge |
| Rachedi | Abderrezak | MdC UPEM | Habilitation passée en 2015 |
| Roussel | Gilles | PR UPEM | Président de l'UPEM |
| Wang | Ting | MdC ESIEE | Recrutée en 2017 |
| Zangar | Nawel | MdC ESIEE | Recrutée en 2017 |

Docteurs

| Nom | Prénom | Directeur(s) | Dates | Titre |
|----------------|-------------|-------------------|----------------|--|
| Desta | Alemayehu | L. George | 2014 - 2017 | Gestion de la production et de la de- mande d'énergie dans un contexte de Microgrid Industriel.* |
| Papastefanakis | Ermis | L. George | 2013 - 2017 | Dimensionnement et Qualité de Service pour les systèmes à criticité mixte dans les architectures embarquées à base de Network on Chip (NoC).* |
| Moussa | Mohamed Ali | Y. Ghamri-Doudane | 2013 - 2017 | Collecte de données et détection d'anomalies dans les réseaux de capteurs sans fil. |
| Ben Messaoud | Rim | Y. Ghamri-Doudane | 2013 - 2017 | Vers une capture participative mobile efficace : assignation des tâches et déchargement des données. |
| Hamdoun | Safa | Y. Ghamri-Doudane | 2013 - 2017 | Algorithmes adaptatifs et efficaces de partage de ressources radio pour les communications de type MTC : cas de coexistence H2H/M2M. |
| Cros | Olivier | L. George | 2013 - 2016 | Criticité mixte dans les systèmes distri- bués temps réel : le cas Ethernet Com- muté. |
| Khan | Junaid | Y. Ghamri-Doudane | 2013 - 2016 | Collecte et stockage de données à large échelle par des véhicules intelligents : une approche centrée sur le contenu. |
| Qamhieh | Manar | L. George | 2011 - 2015 | Ordonnancement Temps Réels des Tâches Parallèles sur des Systèmes Mul- tiprocesseurs. |
| Chandarli | Younes | L. George | 2011 - 2014 | Gestion de l'énergie renouvelable et or- donnancement temps réel dans les sys- tèmes embarqués. |

| Boulanouar | Ibtissam | G. Roussel | 2010 - 2014 | Algorithmes de suivi de cible mobile pour les réseaux de capteurs sans fils. |
|------------|----------|------------|----------------|---|
| Haddadou | Nadia | G. Roussel | 2010 - 2014 | Réseaux ad hoc véhiculaires : vers une dissémination de données efficace, co-opérative et fiable. |
| Cherrier | Sylvain | G. Roussel | 2009 - 2013 | Architecture et protocoles applicatifs pour la chorégraphie de services dans l'Internet des objets. |

(*) Thèse CIFRE.

Doctorants

| Nom | Prénom | Directeur(s) | Début | Titre |
|-------------------|----------|--------------|-------|---|
| Ugur | Yigit | A. Rachedi | 2016 | Codage distribué de sources dans les systèmes de communications CRAN. Approches Théorie de l'Information et réseaux de points.* |
| Fabian | Philippe | A. Rachedi | 2017 | Etude et conception d'algorithmes de collecte, transport et de dissémination des données massives dans l'Internet des objets mobiles (IoMT). |
| Bouzidi | Hocine | R. Langar | 2017 | Contrôleurs SDN Distribués et Prédictifs pour les futurs réseaux 5G : Modélisation, Simulation et Expérimentation.* |
| Salhab | Nazih | R. Langar | 2018 | Provisionnement des ressources et optimisation dynamique des slices réseaux dans un environnement SDN/NFV. |
| Hafaiedh | Hager | R. Langar | 2017 | Déploiement de la 5G dans un contexte IoT. |
| Desphande | Varun | L. George | 2017 | Une passerelle reconfigurable dans les véhicules autonomes pour l'accès à des réseaux d'infrastructure de type IoT et 5G dans la ville intelligente : garantie de qualité de service et de sécurité pour des flux à criticité multiple. |
| Fares | Ons | N. Ait Saadi | 2017 | Nouveaux algorithmes optimisés pour l'ingénierie de trafic dans les réseaux étendus (WAN) basé sur le réseau défini par logiciel (SDN). |
| Rahel | Safae | N. Ait Saadi | 2017 | L'optimisation de la consommation d'énergie dans les centres de données Cloud Computing. |
| Barbudo Franco | Elias | L. George | 2017 | Processeur embarqué adaptable pour le traitement d'image critique. |
| Tristan | Fautrel | L. George | 2016 | Ordonnancement temps réel sous contraintes énergétiques de systèmes autonomes hypervisés. |

(*) Thèse CIFRE.

A. Rachedi a également co-encadré les doctorants suivants : Maha Bouaziz, Djamila Bendouda, Tesnim Mekki, Tahani Gazdar, et Ali Athar, qui ne sont pas inscrit dans le laboratoire mais dans un autre établissement.

Au cours de la période concernée, cinq thèses ont été interrompues pour des raisons très diverses. Younes Maaouni (L. George, 2015, 2ème année) était trop loin d'avoir le niveau pour continuer,

comme en a attesté une commission ad hoc (avec un président extérieur à l'ED). Jefferson Mangue (J. Cervelle, R. Forax, 2017, 1ère année) a eu une opportunité de monter son entreprise, et a donc changé d'avis en fin de premiere année. Pour des raisons personnelles, Sayed Ali Marandi (Y. Ghamri-Doudane, S. Lohier, 2015, 2ème année) a préféré interrompre sa thèse pour en commencer une en Suisse. Asma Nafti (L. George, 2017, 2ème année) était en co-tutelle avec l'INSAT (Tunis) qui a décidé d'arrêter la thèse par manque d'implication. Quant à Jérôme Pillet (G. Roussel, R. Forax, 2017, 5ème année), il avait de quoi soutenir, avec plusieurs publications, mais n'a jamais réussi à terminer son manuscrit malgré un accompagnement personnalisé : il a trouvé un emploi au cours de sa cinquième année et a abandonné l'idée de terminer la rédaction de sa thèse.

Ingénieurs et Postdoctorants

Grâce à ses relations avec la SATT IdF-Innov et grâce à ses contrats, l'équipe LRT a pu recruter temporairement deux ingénieurs, Kevin Rauscher et Thomas Pape, ainsi que 4 postdoctorants : Zahra Movahedi, Alemayehu Desta, Zine-Eldine Djeffal et Ghalem Boudour. Les ingénieurs Salvatore Costanzo, Boutheina Dab et Se-young YU ont également travaillé dans l'équipe, financés par des FUI.

10.1.3 Interactions locales et nationales

L'équipe entretien des lien privilégiés avec l'équipe "Signal et communication", avec notamment des co-encadrement de thèse. Localement, plusieurs projets ont été montés en partenariat avec l'ESYCOM (le laboratoire d'électronique UPEM-ESIEE) et le LISSI (UPEC). Il y a aussi des coopérations régulières avec Sorbonne Université (ex. UPMC) et INRIA (équipe projet Aoste). Nos principaux partenaires industriels sur le territoire sont Orange, Thales, Nokia, Métron.

Avec l'obtention de l'I-SITE FUTURE, l'équipe s'est associée au montage de nombreux projets localement, étant particulièrement concernée par les thématiques autour de la ville et son ingénierie.

Les membres de l'équipe sont particulièrement impliqués dans les instances locales. Gilles Roussel est président de l'UPEM, Laurent George est directeur du département Informatique de l'ESIEE, Serge Midonnet est directeur de l'Institut Gaspard-Monge (l'équivalent de l'UFR informatique-électronique de l'UPEM) et Etienne Duris est directeur adjoint de l'ESIPE.

10.1.4 Rayonnement international

Bien que récemment créée et ne comportant pas de chercheur seniors, l'équipe LRT a acquis une importante visibilité internationale ces dernières années. Elle collabore principalement avec l'université de New York (NYU), l'Université de Waterloo (Canada), l'Université Fédérale de Minas Gerais (Brésil), University of Bologna (Italie), Northumbria University (UK), City University of New York (CUNY), le Centre Technologique de Télécommunications de Catalunya (Espagne), l'ULB (Belgique), le centre de recherche CISTER (Portugal), University of Science and Technology (Iran), l'Université Libanaise (Liban), le Centre de Recherche sur l'Information Scientifique et Technique - CRIST (Algérie) et l'Ecole Nationale des Sciences de l'Informatique (Tunisie).

Ces collaborations internationales sont en particulier développées dans le cadre de projets PHC-Tournesol (Belgique), PHC-Gundishapur (Iran), PHC-Utique (Tunisie), CAPES/COFECUB (Brésil), et CNRS PICS (Canada).

Plusieurs membres de l'équipe sont impliqués dans des comités techniques de l'IEEE tels que IEEE TCIIN (Technical Committee on Information Infrastructure and Networking) et IEEE Computer France.

Les membres de l'équipe sont dans les comités éditoriaux de plusieurs revues du domaine, comme Journal of Network and Systems Management (JONS), IEEE Access, Wiley Security and Privacy Journal, et régulièrement invités comme éditeurs pour des "special issues". Ils participent

également à de nombreux comités de programmes des conférences importantes du domaine; on peut citer IEEE ICC, IEEE GLOBECOM, IEEE MASS, IEEE RTSS, etc.

Les travaux de l'équipe ont été récompensés par plusieurs "best papers" dont IEEE/IFIP CNSM 2014, RTNS 2014.

10.1.5 Formation par la recherche

Les membres de l'équipe sont impliqués dans la formation par la recherche et en particulier dans le master 2 Systèmes et Services pour l'Internet des Objets (SSIO) de l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée (UPEM). Ce master est adossé à l'équipe LRT et il est fondé principalement sur les compétences des membres de l'équipe relatives au domaine de l'Internet des objets (IoT). Il a été créé en septembre 2015 à l'initiative de Abderrezak Rachedi qui en est le responsable.

10.2 Produits et activités de recherche

10.2.1 Bilan scientifique

L'équipe LRT a pour objectif la conception, le développement et l'implémentation d'architectures embarquées pour des systèmes communicants par des réseaux mobiles de nouvelle génération. Pour cela, différents axes de recherches complémentaires sont examinés, mixant des compétences venant du domaine des réseaux et du temps réel, le tout étant soumis à la "softwarisation". Ces architectures doivent en premier lieu être élastiques grâce à la virtualisation des équipements et des fonctions réseaux (NFV), reconfigurables dynamiquement grâce au concept SDN (Software-Defined Networking), optimisées en fonction de nombreux critères comme la performance, la qualité de service (QoS), la consommation énergétique, et la sécurité. Ces architectures intègrent des capteurs et autre systèmes embarqués qui forment l'Internet des Objets (IoT).

Les travaux de l'équipe s'organisent en quatre thématiques principales :

- **Thème 1 :** Optimisation des ressources et contrôle d'accès dans les réseaux mobiles de nouvelle génération (5G, Cloud-RAN).
- **Thème 2 :** Sécurité et qualité de service dans les réseaux multi-sauts sans fil (MANETs, VANETs, WMNs, WSNs, D2D/M2M).
- **Thème 3 :** Approches logicielles : Chorégraphie de services dans l'Internet des Objets, Détection de plagiat, Amélioration de la plateforme Java.
- **Thème 4 :** Ordonnancement temps-réel et efficacité énergétique.

En terme de mots-clés, cela correspond principalement à Réseaux logiciels, Internet des objets, Réseaux mobiles et sans fil, Gestion de ressources, Sécurité et chorégraphie de services, Systèmes temps-réel, Efficacité énergétique.

Nous allons, dans les lignes qui suivent, décrire en détail les quatre thèmes de recherche de l'équipe.

10.2.1.1 Optimisation des ressources et contrôle d'accès dans les réseaux mobiles de nouvelle génération (5G, Cloud-RAN)

L'infrastructure réseau de nouvelle génération (5G) sera constitué de stations de base radio génériques (agnostiques au standard) reliées par un lien fronthaul à haute performance vers le Cloud où seront instanciés les traitements radio, protocolaires et applicatifs. L'agilité de la technologie Cloud dans cette architecture, nommée Cloud-RAN (C-RAN), permettra d'allouer dynamiquement les ressources là où elles sont nécessaires. Ainsi, il sera possible de réaliser des économies substantielles au niveau de la consommation énergétique en éteignant les équipements non nécessaires pendant les heures creuses. En outre, les opérateurs réaliseront des économies opérationnelles grâce à une plus grande flexibilité et facilité de déploiement.

Les travaux de Rami Langar et Nadjib Aitsaadi entrent majoritairement dans ce cadre ainsi que des collaborations récentes avec Sylvain Cherrier. Parmi les résultats obtenus, on peut citer :

- Développement de solutions quasi-optimales pour résoudre le problème d'affectation des unités de bandes de base (BBUs) aux antennes radio (RRHs) dans l'infrastructure C-RAN, en considérant conjointement plusieurs objectifs tels que la résilience, les coûts opérationnels, la puissance de traitement et les contraintes sur les traitements BBUs [LC15, LC16] et [LJ8]. Nos solutions permettent d'évaluer plusieurs politiques et fournir des directives générales qui peuvent être utilisées par les opérateurs de télécommunications pour décider de la meilleure stratégie d'optimisation en fonction de leurs besoins pour l'infrastructure C-RAN. Les résultats obtenus dans ce cadre montrent l'efficacité de nos stratégies proposées en termes de débit offert, de nombre de RRHs actifs, de puissance de traitement du pool BBU, de résilience et de coût de virtualisation [LC15, LC16] et [LJ8].
- Conception et déploiement d'une solution de type "Réseau d'accès radio en tant que service" (RANaaS) qui instancie à la demande des réseaux RAN virtuels sur une infrastructure physique commune. Notre prototype développé [LC17] déploie de manière dynamique des fonctions réseaux des unités de bandes de base (BBU) soit sur le site d'accès soit sur le cloud dans l'architecture C-RAN selon un algorithme d'optimisation implémenté sous forme d'une application northbound SDN. Le but étant de minimiser à la fois l'ensemble de la consommation énergétique sur les deux sites (site d'accès et site cloud) ainsi que le trafic sur le lien fronthaul.
- Conception d'une solution de tranchage de réseau (network splicing) pour l'infrastructure C-RAN qui instancie à la demande plusieurs tranches réseaux partageant le spectre radio entre elles, tout en assurant leur isolation [LC11, LC9].

Il est à noter que les deux prototypes développés [LC11, LC17] utilisent la technologie de virtualisation des conteneurs, connue sous le nom de DocKEr, ainsi que la plate-forme Open Air Interface (OAI) et le contrôleur SDN FlexRAN.

Mise en place d'une plateforme expérimentale à base de radio logicielle (SDR) pour implémenter deux types de solutions :

- 1. Une solution "Réseau d'accès radio en tant que service" (RANaaS) qui instantie à la demande des RANs virtuels sur une infrastructure physique commune. Notre prototype développé déploie de manière dynamique des fonctions de bandes de base (BBU) soit sur le site d'accès soit sur le cloud dans l'architecture C-RAN selon un algorithme d'optimisation implémenté sous forme d'une application northbound SDN [LC17].
- 2. Une solution de tranchage de réseaux 5G "network slicing" qui gère le partage du spectre radio entre plusieurs "slices". Cette solution est implémentée au moyen d'une application northbound SDN qui permet de créer et configurer dynamiquement différents "slices" [LC11, LC9].

10.2.1.2 Qualité de service et sécurité dans les réseaux sans fil multi-sauts (MANETs, VANETs, WMNs, WSNs, D2D/M2M)

Les communications via les réseaux sans fil multi-sauts (MANETs, VANETs, WMNs, WSNs, M2M/D2D), et malgré les nombreux travaux de recherche depuis maintenant plus de 20 ans, n'ont toujours pas eu le succès escompté auprès du grand public. Il faut dire que l'aspect collaboratif qui est le moteur de ces types de réseaux peut rapidement devenir un frein. En effet, un noeud (utilisateur, machine, etc.) doit partager temporairement ses propres ressources (CPU, mémoire, batterie, bande passante, puissance de transmission, confiance, etc.) pour servir son voisinage dans un sens et recevoir un traitement probablement réciproque dans l'autre sens. Une collaboration

déséquilibrée peut vite arriver si un ou plusieurs nœuds ont des ressources limitées ou limitent intentionnellement leurs ressources et/ou celles des autres. Par conséquence, la continuité des services ou pire l'existence du réseau est menacée. Les travaux de l'équipe LRT, particulièrement ceux de Abderrezak Rachedi, Hakim Badis et Stephane Lohier, s'orientent vers l'amélioration de la collaboration de chaque membre selon les capacités de chacun afin de garantir la qualité de services (QoS) et la sécurité avec la prise en compte des différentes caractéristiques du réseau, des données, et des systèmes.

Dans le cadre des réseaux MANETs et WMNs, nous avons considéré le cas où chaque nœud est équipé de plusieurs antennes utilisant la technique MIMO (Multiple-Input Multiple-Output). Cette dernière offre la possibilité d'augmenter le débit (multiplexage spatial) ou le rapport signal/bruit (diversité spatiale) sans avoir besoin de plus de bande passante ou de puissance d'émission. En utilisant la technique MIMO, les noeuds ont désormais la possibilité de partager plus de bande passante sur des lobes plus étendus. Afin d'exploiter au maximum les avantages offerts par la technique MIMO, une architecture de coopération inter-couche (cross-layer design) appelée MI-MOMAX [LC6] a été proposée pour gérer l'accès au canal de transmission et l'acheminement des données. Sur la base d'une modélisation probabiliste (processus stochastiques), les résultats numériques ont montré que la capacité de réseau augmente proportionnellement au nombre d'antennes utilisées [LC01] et [LC5, LC6]. Nous avons ensuite enrichi l'architecture MIMOMAX par un framework appelé MIMODog [LJ13] pour détecter et résister aux nœuds égoïstes. En associant une réputation à chaque nœud, les nœuds égoïstes vont devoir changer leurs comportement et partager leurs ressources pour avoir la confiance des nœuds honnêtes.

Dans le cadre des réseaux véhiculaires ou l'Internet des véhicules, nous avons utilisé le paradigme réseau logiciel (SDN) pour former un backbone virtuel et opportuniste de véhicules capable d'absorber la charge des véhicules clients et offrir une garantie d'un service de qualité. La solution proposée est appelée BadZak [LC21]. Elle permet de former le backbone virtuel de manière centralisée par le contrôleur SDN, et déterminer le rôle ainsi que le niveau de collaboration de chaque véhicule. L'algorithme de sélection se base sur un ensemble dominant de cardinal minimal qui est connu depuis longtemps pour être NP-complet. Nous avons amélioré l'algorithme de Chang (le plus proche de la solution optimale en temps linéaire) pour prendre en charge le niveau des ressources partagées par chaque véhicule. La solution BadZak a fait l'objet d'un brevet [LB1].

Dans le contexte de communication Machine-à-Machine (M2M ou D2D), nous nous sommes intéressés à la gestion et l'allocation des ressources dans le cas de la coexistence entre deux types de communication H2H et M2M. Des solutions basées sur des approches la théorie des graphe (graphe biparti), la théorie des jeux (les jeux révolutionnaires) et les chaînes de Markov ont été proposé et publiés.

Transfert de la solution de recherche BadZak vers l'industrie :

- Dans le cadre des véhicules du futur (connectés, autonomes et écologiques), la Société d'Accélération du Transfert de Technologies (SATT) Ile-de-France Innov a déposé et publié (en Décembre 2017) notre solution (BadZak) [LB1] sous forme d'un brevet prioritaire.
- 2. Une levée de fond, destinée aux projets innovants, a été opérée (en Janvier 2018) par la même société pour financer la maturation de la solution BadZak.

10.2.1.3 Chorégraphie de services dans l'Internet des Objets, Détection de plagiat, Amélioration de la plateforme Java

L'ajout de capacités de communication certes limitées, mais néanmoins réelles des objets de la vie courante, et le déploiement de plus en plus important de capteurs ont permis l'émergence de l'Internet des Objets. Ce domaine est encore aujourd'hui un sujet de recherche intéressant,

car de nombreux problèmes restent toujours à résoudre, notamment concernant l'interopérabilité des solutions. L'équipe LRT dispose d'atouts pour proposer des approches de solutions car les fondements même de l'IoT mobilisent des compétences à la fois réseau et logiciel. Les travaux de l'équipe, et plus particulièrement ceux de Sylvain Cherrier, Rémi Forax, et Etienne Duris s'orientent vers une convergence entre les approches services (chorégraphies ou orchestration) et les connaissances en termes de machines virtuelles.

Une plate forme logicielle et matérielle a ainsi été mise en place, permettant les expérimentations utilisant des collaborations au sein d'une collection de machines virtuelles, volontairement limitées en expressivité, mais adaptées aux besoins des applications liées à l'IoT ainsi qu'aux fortes contraintes énergétiques et de puissance de traitement des objets qui y participent. Cette plate-forme offre aussi des possibilités d'interactions avec d'autres thématiques de l'équipe LRT (réseaux mobiles notamment, cf. section 10.2.1.1 ci-dessus), mais aussi des collaborations au sein du laboratoire LIGM (la programmation des différents objets utilise les automates à états finis).

Cette plateforme a favorisé la participation de l'équipe dans deux projets ITEA2 (WoO: Web of Objects et SITAC: Social Internet of Things for Apps by and for the Crowd), ainsi que dans le projet FUI SCORPION (en cours). Elle a d'autre part fait l'objet d'un contrat de maturation avec la SATT Idf-Innov, portant sur le financement de 2 postes d'ingénieurs de recherche sur une période de 9 mois.

Parmi les résultats obtenus, on peut citer :

- La description du modèle utilisé par la plate-forme de démonstration, ses effets au regard des contraintes des réseaux et objets de l'IoT [LJ3].
- Les apports de l'utilisation des transducteurs et les évolutions proposées afin de répondre aux limites des chorégraphies de services par rapport aux orchestrations [LC7].
- L'analyse des incohérences possibles dans les chorégraphies de services notamment si elles sont utilisés sur des infrastructures réseaux peu fiables (du type de celles qu'on rencontre dans l'IoT) et la proposition d'une sur-couche de vérification et de stabilisation de l'état logique des éléments participants [LJ2] et [LC8].
- Le pilotage des objets connectés et la création à la demande d'un slide IoT dédié dans un réseau mobile C-RAN [LC10].

Plateformes opérationnelles : Java, IoT

- 1. Diffusion d'une plateforme opérationnelle IoT avec portage sur plusieurs standards sans-fil (i.e., Bluetooth Low Energy (BLE), EnOcean, ZWave), et mise à disposition pour la communauté scientifique https://bec3.com)
- 2. Plateforme IoT: Site web documentaire autour de la solution afin d'informer sur les évolutions de la plateforme développée (http://bec3.com). La solution développée a bénéficié d'un contrat de maturation avec la SATT Ile-de-France Innov.
- 3. JSR 292 (Dynamicité) et JSR 335 (Lamba) : Contributions et implémentation dans la plateforme Java 8, diffusée mondialement.

Dans le cadre de son activité autour de la plateforme Java, les travaux de Rémi Forax, membre de trois experts groups Java (JSR 292, JSR 335 et JSR 376), a contribué à de nombreuses évolutions au coeur de la plateforme, ont porté sur les solutions mises en place pour résoudre les problèmatiques soulevées dans les Java Specification Request (JSR), et notament la JSR 292 portant sur la gestion des types dynamiques. Les travaux présentés concernant l'implémentation de cette JSR [LC22] puis des optimisations d'allocations [LC19] ont été intégrées dans la plateforme officielle de Java. Rémi Forax est aussi le contributeur principal des projets ASM, Tatoo, et du compilateur Dragon (source https://blogs.oracle.com/java/remi-forax). Il a obtenu le titre de "Java Champion" en 2016 (30 titulaires dans le monde). Sa contribution importante dans le code source de la JVM lui a permis de présenter ses travaux à la conférence DEVOXX 2017, 2018 (France et Belgique), à la conférence

JavaOne 2017, JTRES, et JVM Summit. Lors de la sortie de Java 8, Rémi Forax a parcouru un grande partie des JUG (Java Users Group) de France pour présenter les nouveautés de cette version.

Enfin, les travaux d'Etienne Duris à propos des redondances dans les codes informatiques [LJ4] permettent d'obtenir des métriques sur les répétitions et une qualification des similarités entre les différentes fonctions. Ces travaux seront utiles dans la recherche d'optimisation de la qualité des logiciels, notamment dans les environnements contraints.

10.2.1.4 Ordonnancement temps-réel et efficacité énergétique

Les travaux de Laurent George, Yasmina Abdeddaïm, Damien Masson, Serge Midonnet et Hakim Badis entrent majoritairement dans ce cadre. On distingue deux grands axes dans ce thème : l'ordonnancement temps-réel et l'efficacité énergétique.

Ordonnancement temps-réel

Un système temps-réel est un système réactif, déterministe dont le bon fonctionnement dépend non seulement de l'exactitude logique des données calculées, mais aussi du respect de certaines contraintes temporelles. En théorie de l'ordonnancement, un système temps-réel est généralement formalisé par un ensemble de tâches à exécuter sur une plateforme. Un algorithme d'ordonnancement doit déterminer l'ordre d'exécution des tâches qui optimise l'utilisation de la plateforme tout en respectant les contraintes temporelles. Nous avons étudié la performance des algorithmes d'ordonnancement à priorité fixe au niveau de tâches et au niveau de travaux [LJ5] ainsi que la prise en compte du coût de l'ordonnancement [LJ10]. L'ordonnancement de tâches temps réel modélisées par un graphe acyclique a été également étudié [LJ11], [LD13] et [LJ12].

Nous nous sommes également intéressés à l'ordonnancement temps-réel pour les systèmes collecteurs d'énergie (Energy Harvesting System). Nous avons proposé un modèle de tâche pour ce problème et un algorithme d'ordonnancement monoprocesseur pour lequel nous avons prouvé l'optimalité dans la classe des algorithmes à priorité fixe dans le cas et où le système est composé seulement de tâches consommatrices d'énergie [LC2] et proposé des tests suffisants d'ordonnançabilité dans un cas plus général [LC1] et [LD1]. Le cas multiprocesseur a été également étudié [LC4]. Nous avons aussi étudié des approches probabilistes pour la modélisation et l'analyse de problèmes d'ordonnancement temps-réel, dans le cas des systèmes à criticité mixte [LC3] et pour l'analyse de sensitivité des systèmes temps-réel [LC23].

Nous avons également étudié différents systèmes et réseaux d'interconnexion tels que les Network on Chip (NoC) et les réseaux Ethernet temps réel dans l'objectif de caractériser le pire temps de réponse de bout en bout. Nous avons proposé des mécanismes d'arbitrage dans le NoC permettant de garantir la prédictibilité, la sécurité et la criticité des flux transitant d'un coeur à l'autre (en contexte Manycoeur) au travers d'un NoC. Une première contribution est une adaptation de l'approche de la trajectoire traditionnellement utilisée dans les réseaux avioniques (AFDX) pour calculer le pire temps de traversée du NoC [LD12]. La deuxième contribution est un mécanisme qui permet de détecter les attaques de DoS et d'atténuer leur impact par une approche à criticité mixte ou la criticité d'un flux reflète son niveau de sécurité [LJ9].

Dans le contexte de réseaux Ethernet temps réel. Nous avons proposé deux protocoles pour la gestion la criticité mixte dans les réseaux Ethernet temps réel 802.1Q et avons exprimé le temps pire de de mise à jour cohérente de la criticité. Nous avons également étendu l'approche par trajectoire pour le calcul du pire temps de réponse de bout en bout dans un réseau Ethernet AFDX [LC14] et Audio Video Bridging (AVB) [LJ7].

Efficacité énergétique

En raison de l'augmentation des coûts énergétiques et des préoccupations environnementales, les systèmes centralisés de production d'énergie se restructurent pour tirer profit de la production décentralisée. Les microgrids sont considérés comme une solution possible pour déployer une pro-

duction distribuée qui inclut les ressources énergétiques distribuées (DER). Nous nous intéressons au problème de la gestion de l'énergie dans un microréseau industriel, notre approche consiste à diviser la gestion de l'énergie du microréseau en deux phases : du coté de l'offre et du coté de la demande. Du côté de l'offre, nous avons proposé des solutions pour la modélisation sources d'énergie distribuées et pour l'atténuation des fluctuations des DER en proposant un modèle basé sur les concepts de courbe de service de Network Calculus (NC) et le lissage Gaussien [LD7]. Nous déterminons la quantité minimale de puissance que les DER peuvent générer et leur agrégation nous donne la production d'énergie totale dans le microréseau avec ou sans batterie pour compenser les erreur de prédiction. Du côté de la demande, l'objectif est de réduire les coûts de l'énergie grâce à des approches de gestion de la demande (DSM) telles que la l'effacement énergétique (Demand Response : DR) et l'efficacité énergétique (EE). Comme les processus industriels sont des consommateurs avides d'énergie, nous nous sommes intéressés à la réduction de la consommation d'énergie des lignes de production synchrones/asynchrones de manière à ce que cela impacte le moins possible la débit de la production. Dans ce cadre nous avons proposé un framework, appelé DR-Mgmt [LC12, LC13], qui permet dans un premier temps de modéliser le comportement temporel des lignes de production par des automates et des filles d'attente temporelles. Ensuite, il cherche un ordonnancement optimal ou quasi-optimal en se basant sur des techniques d'optimisation combinatoire.

Organisation d'évènements scientifiques internationaux :

- Co-organisation avec MANIT Bhopal de la conférence internationale IEEE: Recent Innovation in Signal processing and Embedded System, RISE'2017, Bhopal, India, Oct. 2017.
- 2. Organisation de la conférence : 19th International Conference on Reliable Software Technologies ADA-Europe sur les systèmes critiques, Paris, Juin 2014.

10.2.2 Données chiffrées

| LRT | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Total |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Journaux | 6 | 9 | 8 | 8 | 12 | 6 | 49 |
| Actes de conférences | 20 | 18 | 23 | 29 | 22 | 14 | 126 |
| Livres et chapitres de livres | 1 | 5 | 1 | 2 | 1 | - | 10 |
| Brevet | - | - | - | - | 1 | - | 1 |
| Total | 27 | 32 | 32 | 39 | 36 | 30 | 186 |

10.2.3 Logiciels

L'équipe LRT développe naturellement des logiciels dans le cadre de projets collaboratifs. Parmis les activités de développement, les plus gros développement se concentrent sur les activités suivantes :

Le compositeur d'applications BeC3, un outil de construction de solutions logicielles pour l'IoT. Ces solutions sont de type "chorégraphies", c'est à dire qu'aucun objet n'a de vision globale de la logique à l'oeuvre, mais chacun utilise ses données et sa connaissances des états des objets partenaires pour prendre des décisions. Le site web (https://bec3.com/) recense 70 utilisateurs qui se sont inscrits. Concernant la partie technique, le site web (8 000 lignes de code java et javascript),

ses dépendances (D-Lite, 2 500 lignes de code java) utilise play et angularjs. La version python de la machine virtuelle est composée de 4 900 lignes de code et la version pour smartphone, en ionic cordova, représente 1 500 lignes de code java/javascript.

Le développement de la plateforme Java. Rémi Forax, membre de l'équipe LRT, est très actif dans la communauté mondiale de la plateforme Java. Nommé Java Champion en 2016 (une quarantaine de titulaires chaque année dans le monde), il a participé à l'implémentation des lambdas dans le langage, et travaille actuellement sur les types dynamiques. Il participe à de nombreuses conférences détaillant les nouvelles fonctionnalités. Son expertise est très souvent sollicitée en interne pour la conception et l'amélioration des architectures des logiciels produits.

10.2.4 Activité contractuelle

L'équipe a une activité contractuelle très soutenue, avec de nombreux partenariats académiques et industriels. Le plus souvent, une reflexion stratégique commune est mise en place pour choisir comment répondre aux différents appels. Parmi les contrats les plus importants que nous avons portés ou accompagnés pendant la période, on peut citer :

- Le projet Européen CELTIC SAN "Survivable Ad Hoc Network for 4G and beyond" (Dec. 2012 Nov. 2015) regroupe dix partenaires dont deux académiques français (CEA-LETI et UPEM) et huit industriels (Airbus DS France, C2 Tech Bilisim Teknolojileri A.S Turquie, Green Communication France, INDRA Sistemas Espagne, Mobilicom Israël, Montimage France, Smart Com Slovenia, et TTI Norte Espagne). Ce projet traite les aspects de communication Machine-à-Machine (M2M) dans la technologie 4G et en particulier LTE-A. Coté LIGM, nous avons contribué à la gestion de ressources dans les communications hybrides Devices-to-Devices (D2D)/M2M et classique (Human-to-Human communication H2H). Des solutions basées sur la théorie des graphes (graphe biparti) et la théorie des jeux (jeux évolutionnaires) pour optimiser la gestion des ressources réseau et la consommation d'énergie des machines (contrôle de puissances) ont été proposées.
- Le projet Européen ITEA2 (appel 6) SITAC, "Social Internet of Things for Apps by and for the Crowd" (Dec. 2012 Nov. 2015). Les approches Web associées à l'Internet des Objets ont permis de valider l'intérêt de l'utilisation des protocoles applicatifs usuels de l'Internet dans le cadre de l'IoT. SITAC se positionne sur des approches collaboratives et de partages de contenus à destination des objets, à l'image de ce que les internautes expérimentent avec le Web 2.0. Aussi les protocoles de messagerie instantannés seront évalués dans leur utilisation dans ce cadre, tandis que des approches de type logiciel libre (partage des codes, modification et redistribution) sont utilisées, non plus à destination des utilisateurs, mais plutot pour être déployés dynamiquement sur des objets, selon les besoins. Enfin, les données collectées par les IoTs font l'objet d'analyses permettant d'enrichir les usages de chacun au regard des tendances globales. Au sein de ce projet, l'équipe LRT a testé et amélioré sa plateforme IoT. Des passerelles applicatives ont été développées afin de permettre les intégrations avec d'autres univers économiques et industriels.
- Le projet FUI (appel 23) SCORPION, "SliCing Optimisé des Réseaux 5G pour l'Internet des Objets: Applications aux usages Energie" (Sept. 2017 Aout 2019). Ce projet regroupant 2 académiques (UPEM et Univ. La Rochelle) et 3 industriels (NOKIA, Vertical M2M, Virtual Open Systems) cible les réseaux mobiles 5G. L'objectif de ce projet est d'apporter des solutions pour gérer dynamiquement les ressources des slices de deux types d'objets connectés: les objets connectés (IoTs) massifs et les actionneurs avec une focalisation sur les usages énergétiques. En particulier, nous proposons de rendre le slicing 5G, plus dynamique et optimisé en utilisant les technologies SDN (Software Defined Networking) et NFV (Network Function Virtualisation) et des algorithmes basés sur l'apprentissage automatique des données hétérogènes. L'équipe LRT contribue par la mise en place d'une

- architecture de contrôleurs SDN distribués pour un contrôle optimisé des slices, ainsi que le développement d'une plateforme permettant la reconfiguration des objets connectés au niveau applicatif.
- Le projet FUI (appel 22) CEOS, "Reliable and secure system of inspections of pieces of works using mini-drones" (Mai 2017 Avril 2020). Ce projet s'intéresse au problème d'inspection par un drone de conduites d'eau, de clotures d'aéroport et de pylones électriques. L'objectif est de proposer une approche innovante pour l'execution concurrente de plusieurs applications de niveaux de criticité différents sur une même plateforme embarquée (application controle commande, application de navigation, application mission). La problématique actuelle est de devoir certifier au plus niveau d'exigence l'ensemble des applications (de criticité pourtant différentes) à partir du moment où elles s'executent sur la même plateforme. La solution retenue se base sur un hyperviseur temps réel certifié DAL-A (pikeOS de Sysgo), garantissant l'étanchéité des slots temporels attribués aux applications et permettant donc de certifier chaque application au niveau requis (mais pas plus). Dans ce projet, l'équipe LRT s'intéresse en particulier :
 - au problème de dimensionnement temps réel d'une telle plateforme : comment définir les motifs des slots temporels attribués aux applications et comment exprimer les conditions d'ordonnançabilité des applications executées dans leurs slots temporel. Un slot pouvant exécuter plusieurs applications (criticité mixte).
 - au problème de communication du drône avec la station de base. Nous proposons une solution basée sur la radio logicielle (SDR) permettant d'adapter dynamiquement la couche physique en fonction des situations (attaque par brouillage, environnement perturbé).

10.3 Analyse SWOT

Points forts

- Richesse des thématiques: L'équipe LRT réunit des compétences diverses et complémentaires dans le domaine des réseaux, logiciel et du temps-réel avec des activités de recherche appliquée. Ces activités sont totalement en phase avec les thématiques du projet I-Site sur la ville Intelligente. Le projet d'université U-Cible est cohérent pour les activités d'enseignement des membres de l'équipe LRT (Master SSIO UPEM, accent des formations sur le réseau et la sécurité à l'ESIEE).
- *Transfert vers l'industrie*: L'équipe LRT a développé plusieurs plate-formes expérimentales, et a bénéficié dans ce cadre de 2 contrats de maturation avec la SATT Ile-de-France Innov. Une start-up est en cours de création.
- *Publications* : L'équipe LRT a une activité significative de publication dans des conférences et revues de premier plan.
- *Attractivité*: L'équipe LRT a attiré depuis 2013 des enseignants/chercheurs de très bon niveau (3 professeurs, 3 maîtres de conférences). Alliance très serrée (quoique non formalisée) avec des équipes de recherche de pointe reconnues internationalement.

Points à améliorer

- Lien entre les différents groupes de l'équipe LRT:
 - Les interactions entre le groupe logiciel et les autres équipes reste à améliorer. Considérer le langage java pour des cibles embarquées et pour des objets communicants (IoT), ou pour la virtualisation des réseaux pourrait permettre de créer ce lien qui reste cependant à développer.
 - Les interactions entre le groupe réseau et le groupe temps-réel se sont pour l'instant principalement focalisées sur les thèmes de l'efficacité énergétique. Avec l'arrivée

- de la 5G, la prise en compte de contraintes temps réel pour la 5G sera à développer (ordonnancement, latences de communications courtes)
- Le co-encadrement de thèses entre des membres de groupes différents reste à développer.
 Les thèses d'Alemayehu Addisu et celle de Varun Deshpande sont les seuls exemples pour l'instant (co-encadrement H. Badis et L. George)
- Améliorer l'ancrage local de l'équipe LRT :
 - Les interactions avec les autres équipes du site restent à améliorer. Pour l'instant deux thèses sont en cours en co-encadrement avec l'équipe A3SI (deux thèse co-encadrées par L. George et Eva Dokladalova).
 - un projet collaboratif I-Site (Western) en collaboration avec l'ESYCOM, l'Ifsttar et COSYS/LEOST qui vient tout juste de débuter.
 - L'implication de membres de l'équipe LRT dans les différents comité de l'I-Site reste à développer.

Risques liés au contexte

— Charges administratives : des enseignants-chercheurs de l'équipe LRT sont très impliqués à haut niveau localement : Gilles Roussel (Président de l'UPEM), Serge Midonnet (Directeur de l'IGM), Etienne Duris (Directeur adjoint de l'ESIPE), Laurent George (directeur du département Informatique à l'ESIEE) et Nadjib Aitsaadi (co-Responsable à l'ESIEE de deux filières d'ingénieurs i) Réseaux et Sécurité par apprentissage et ii) CyberSécurité). Ces charges diverses affectent de facto le potentiel de recherche.

Possibilités liées au contexte

- Deux Projets I-Site sur la ville Intelligente sont acceptés: CRISISLab sur la dynamique des risques et des crises en milieu urbain (Sep. 2018 Aout.2021), et WESTERN sur les réseaux de capteurs et gestion de l'eau (Juin 2018 Juillet 2020).
- Création d'une université Cible (U-Cible) regroupant l'UPEM et l'ESIEE sous une même tutelle permettant ainsi de faciliter la gestion de l'équipe LRT.

10.4 Projet scientifique à cinq ans

L'équipe doit continuer dans sa lancée sur le développement et l'implémentation d'architectures embarquées pour des systèmes communicants dans les réseaux mobiles de nouvelle génération.

10.4.1 Thème Logiciel

La montée en puissance des approches logicielles dans les réseaux est une tendance très actuelle. Qu'il s'agisse de virtualiser la topographie du réseau à travers une approche SDN (Software Defined Networking), ou bien de dynamiser les services nécessaires au bon fonctionnement de l'ensemble via les approches NFV (Network Functions Virtualisation), toute l'architecture du réseau est touchée par ce transfert entre le matériel et le logiciel. Dans ce cadre, les travaux du groupe Logiciel et notamment ceux concernant les machines virtuelles (qu'il s'agisse des fonctionnalités au coeur de Java ou de l'architecture logicielle, comme de la définition de micro-machines adaptées à l'IoT) vont permettre des expérimentations dans les évolutions permises par cette abstraction.

Le groupe logiciel va concentrer ses efforts sur les effets de cette "softwarisation". En termes de programmabilité, l'IoT se caractérise à la fois par des contraintes très importantes en espace mémoire et une grande diversité de matériels et architectures. Cette hétérogénéité a pour conséquence l'absence de langage de programmation universel, outre le langage C. L'expertise de l'équipe sur la plateforme Java permet d'envisager l'étude d'une approche de "downsizing" qui permettrait à la fois de bénéficier de l'environnement puissant et répandu du langage Java capable de générer un code C compilable sur les IoT du marché. Le groupe logiciel de LRT explorera ce "downsizing" via

l'utilisation de méthodes de "*TreeShaking*" qui, partant du l'imbrication de la plateforme Java et du source du programme à créer, devraient permettre l'élimination de toutes les parties inutiles. S'il est atteint, ce "*downsizing*" soulèvera un ensemble de problèmes à résoudre. Tout d'abord concevoir et implémenter un nouveau modèle de chargement des modules, puis un changement dans le modèle d'initialisation des classes de Java. Une fois ce problème traité, la compatibilité entre l'ancien modèle et la nouvelle proposition devra être analysée, et des solutions et outils devraient permettre de bénéficier des atouts du nouveau modèle sans rompre avec l'ancien. Les travaux menés sur la qualification des redondances dans les codes sources pourront participer à l'optimisation indispensable pour répondre aux besoins des IoT.

10.4.2 Thème Réseaux

Le contexte de l'I-Site sur le thème de la ville intelligente va mettre en exergue le besoin de passerelles embarquées communicantes à haute performance pour les véhicules autonomes. Le contexte est celui de l'interaction forte du véhicule connecté qui reçoit et/ou envoie des informations de sureté par ses connexions à des réseaux (Cloud, Egde, Fog), à des réseaux IoT (exp, capteurs de pollution, d'état du sol, enfouis dans le sol, etc.) et la prise en compte de ces informations dans l'architecture du réseau embarqué du véhicule (freinage d'urgence, obstacle, etc.). La passerelle de communication devient un élément critique pour les véhicules autonomes et connectés. La problématique principale est celle du dimensionnement de la passerelle et l'intégration d'algorithmes efficaces pour la gestion des ressources en prenant en compte des informations de niveau de criticité très différents.

Les pistes exploratoires sont les suivantes :

- Les avantages et les limites de la démarche de "softwarisation" peuvent aussi s'étendre à la mobilité, notamment grâce aux travaux sur la télécommunication mobile et les réseaux 5G. L'activité autour du Fog computing et du Edge computing mobilise à la fois des compétences réseaux et la conception d'outils logiciels capables de s'y substituer. Dans ce domaine, les acquis de deux branches de l'équipe LRT (Réseau et Logiciel) vont pouvoir mutualiser leurs efforts dans ce sens.
- La prise en compte de contraintes de sécurité dans les réseaux 5G par des approches SDN/NFV, pour permettre une reconfiguration dynamique de la topologie du réseau, ainsi que l'isolation du trafic malveillant en le confinant dans un *slice* réseau dédié, est une piste à étudier. Plus généralement, l'intégration de contraintes de sécurité dans les thématiques de recherche de l'équipe LRT est un sujet en cours d'exploration dans le réseau C-RAN (un projet de recherche collaborative international ANR/CRSNG a été déposé dans ce sens et en cours d'évaluation), ainsi que l'IoT avec Blockchain pour la problématique de QoS pour le *mining* des données et la gestion des clés publiques (une thèse est en cours).
- L'extension de nos travaux sur le tranchage de réseaux 5G (network slicing) dans le contexte de l'IoT. Nous envisageons de travailler sur l'allocation dynamique des ressources au niveau des slices instanciés/créés en se basant sur une estimation et une prédiction des ressources requises pour un service IoT bien défini, ainsi que sur le contrôle de chaque slice en mettant en place une architecture de contrôleurs SDN distribués.

10.4.3 Thème Temps-réel

Pour l'ordonnancement temps réel sur cibles embarquées :

- Nous allons poursuivre nos travaux sur l'ordonnancement temps réel avec une source d'énergie renouvelable en étudiant les solutions applicables au contexte de IoT où la source de consommation est principalement liée à la communication des objets communicants.
- Nous allons poursuivre des travaux initiés sur l'ordonnancement temps réel de systèmes hypervisés à criticité mixte (ordonnancement hierachique), une approche initiée dans le cadre

- du projet CEOS sur les drônes de surveillance pour le dimensionnement des slots temporel attribués aux machines virtuelles gérées par un hyperviseur sur une architecture monocoeur aux contextes multicoeur et manycoeur.
- Nous allons poursuive nos travaux sur l'ordonnancement à priorité duale (Dial Priority Scheduling : DPS), dans le cadre de notre collaboration avec l'ULB de Bruxelles. Souhaitons intégrer un algorithme DPS au système Hyperos de l'ULB et étendre les analyses d'ordonnançabilité des systèmes hypervisés avec un ordonnancement local DPS.

Pour l'efficacité énergétique :

- Nous allons poursuivre nos travaux sur l'ordonnancement de chaînes de production, pour des chaînes de production plus complexes (asynchrones, intégrant des contraintes de criticité pour certaines productions). Ces travaux s'orientent vers des approches d'optimisation du taux de production sous contrainte énergétique (modélisation d'une chaîne de production à l'aide de graphes d'états, approches ILP pour la caractérisation de chemin de parcours dans un graphe d'état respectant un contrainte d'échéance de demande d'effacement énergétique). Nous allons également étendre nos travaux vers des approches fournissant des analyses de performance en moyenne par des approches de modélisation de files d'attentes stochastiques (chaines de Markov).
- Nous allons étendre le contexte des travaux sur l'efficacité énergétique actuellement centré sur l'Industrie 4.0 au contexte de quartiers résidentiels, où la connaissance de la puissance consommée par les équipements domestiques n'est pas naturellement accessible. Nous avons initié des travaux sur la désagrégation de sources au niveau des compteurs électriques intelligents par des approches de data science. Nous souhaitons proposer des solutions applicables aux contextes résidentiels.

10.4.4 Synergies entre les thèmes

La montée en puissance du logiciel dans les réseaux 5G et l'intégration de contraintes temps-réel de plus en plus fortes permet la convergence des différentes perspectives citées ci-dessus. Plus précisément, les synergies entre les différents thèmes de l'équipe LRT peuvent être facilement établies dans les approches d'ordonnancement virtualisé sur des cibles embarquées (hyperviseur temps réel) au contexte des routeurs 5G pour la co-existance de réseaux hétérogènes d'opérateurs (le *network slicing* est une première étape), ainsi que dans le thème de sécurité définie par logiciel pour les réseaux d'accès cloud radio (C-RAN).

10.5 Organisation de la vie d'équipe

L'équipe est bi-localisée à l'UPEM et à l'ESIEE. Des séminaires d'équipes sont organisés régulièrement alternativement à l'UPEM et à l'ESIEE donnant lieu (en plus d'une animation d'équipe classique) à des présentations de chercheurs, des thésards, à la présentation des appels projets auxquels l'équipe souhaite répondre.

10.6 Recommandation de l'AERES en 2013

L'unité de l'équipe se fait autour des applications plutôt qu'autour d'outils et méthodes communs. Il s'agit là d'un choix peu ordinaire. Il n'existe, par exemple, pas de conférence majeure unifiant les différents axes de l'équipe. La vie de l'équipe est donc importante et, afin de créer une identité commune, la nécessité d'un séminaire où l'ensemble des membres se retrouve est grande. De plus, cultiver des liens sur des actions concrètes avec les autres équipes du laboratoire (en particulier A3SI) serait un gage de solidité.

Nous avons bien créé un séminaire commun pour dynamiser la vie de l'équipe. Nous avons toujours à l'esprit d'essayer de lier les thèmes quand cela s'avère pertinent, et nous avons plusieurs travaux qui vont dans ce sens, même si cela pourrait être développé davantage. Les liens avec les autres équipes sont encore embryonnaires (co-encadrement avec l'équipe Signal, travaux communs en cours avec A3SI), mais il y a beaucoup à faire au sein de l'équipe, et aussi beaucoup d'opportunités pluridisciplinaires avec l'acceptation de l'I-SITE FUTURE.

Il est important que le laboratoire encadre et soutienne cette équipe encore frêle par des recrutements de qualité de nouveaux professeurs expérimentés. La direction du LIGM et de l'ESIEE affichent le recrutement prioritaire sur les axes de l'équipe. Idéalement, il faudrait un professeur en réseau et un professeur en algorithmique temps-réel. Il est crucial de préparer ces recrutements afin de recruter des personnalités qui aideront l'équipe à porter son projet de recherche ambitieux.

Le laboratoire a bien tenu ses engagements en recrutant trois rang A dans l'équipe sur la période évaluée : Laurent George (Temps Réel, 2014), Nadjib Aitsaadi (Réseaux, 2016) et Rami Langar (Réseaux, 2016). Elle n'a plus la fragilité du début, en 2013, et prend son essor scientifiquement avec notamment une visibilité internationale qui s'est fortement développée et tout en bénéficiant un ancrage local important. L'équipe participe à de nombreux projets académiques comme industriels, est sollicité pour des comités éditoriaux et des comités de programmes, et encadre de nombreux doctorants.

10.7 Annexe : sélection des produits et des activités de recherche

Dans toute cette partie, qui présente l'annexe 4 de l'équipe, nous avons veillé à effectuer une sélection dans chacune des rubriques, pour ne présenter que nos contributions les plus notables et les plus pertinentes. De nombreux autres produits et activités de la recherche, jugés plus secondaires, ne sont donc pas listés ci-dessous.

10.7.1 Production de connaissances, rayonnement et attractivité scientifique

Remarque : nous avons choisi de sélectionner 20% globalement sur toutes les publications de l'équipe, et non 20% par type de publication.

10.7.1.1 Journaux / Revues

Articles scientifiques (49 au total)

- [LJ1] <u>Yasmina Abdeddaïm</u>, <u>Younès Chandarli</u>, Robert I. Davis, and <u>Damien Masson</u>. Response time analysis for fixed priority real-time systems with energy-harvesting. *Real-Time Systems*, 52(2):125–160, 2016.
- [LJ2] <u>Sylvain Cherrier</u> and Yacine Ghamri-Doudane. Fault-recovery and coherence in internet of things choreographies. *International Journal of Information Technologies and Systems Approach*, 10(2), 2017.
- [LJ3] <u>Sylvain Cherrier</u>, Ismail Salhi, Yacine Ghamri-Doudane, <u>Stéphane Lohier</u>, and Philippe Valembois. BeC3: Behaviour Crowd Centric Composition for IoT applications. *Springer Mobile Networks and Applications (MONET) Journal*, 19(1):18–32, 2014.
- [LJ4] Michel Chilowicz, Étienne Duris, and Gilles Roussel. Viewing functions as token sequences to highlight similarities in source code. *Science of Computer Programming*, 78(10):1871–1891, 2013.
- [LJ5] Robert Davis, Alan Burns, Sanjoy K. Baruah, Thomas Rothvoß, <u>Laurent George</u>, and Oliver Gettings. Exact comparison of fixed priority and EDF scheduling based on speedup factors for both pre-emptive and non-pre-emptive paradigms. *Real-Time Systems*, 51(5):566 601, 2015.
- [LJ6] <u>Alemayehu Desta</u>, <u>Laurent George</u>, Pierre Courbin, and Vincent Sciandra. Smoothing of renewable energy generation using Gaussian-based method with power constraints. *Energy Procedia*, 134:171 180, 2017.
- [LJ7] Xiaoting Li and <u>Laurent George</u>. Deterministic delay analysis of AVB switched ethernet networks using an extended trajectory approach. *Real-Time Systems*, 53(1):121 186, 2017.
- [LJ8] Mohammed Yazid Lyazidi, Nadjib Aitsaadi, and Rami Langar. A dynamic resource allocation framework in LTE downlink for cloud-radio access network. *Computer Networks*, 140:101–111, 2018.
- [LJ9] <u>Ermis Papastefanakis</u>, Xiaoting Li, and <u>Laurent George</u>. A mixed criticality approach for the security of critical flows in a network-on-chip. *ACM SIGBED Review*, 13(4):67 72, 2016.
- [LJ10] Guillaume Phavorin, Pascal Richard, Joël Goossens, Claire Maiza, <u>Laurent George</u>, and Thomas Chapeaux. Online and offline scheduling with cache-related preemption delays. *Real-Time Systems*, pages 1–38, 2017.
- [LJ11] Manar Qamhieh, Laurent George, and Serge Midonnet. Stretching algorithm for global scheduling of real-time DAG tasks. *Real-Time Systems*, 2018.
- [LJ12] <u>Manar Qamhieh</u> and <u>Serge Midonnet</u>. Simulation-based evaluations of DAG scheduling in hard real-time multiprocessor systems. *ACM SIGAPP applied computing review : a publication of the Special Interest Group on Applied Computing*, 14(4):12, 2014.

[LJ13] <u>Abderrezak Rachedi</u>, <u>Hakim Badis</u>, and Abderrahim Benslimane. How MIMO crosslayer design enables QoS while detecting non-cooperative nodes in wireless multi-hop networks. *Journal of Network and Computer Applications*, 46:395–406, 2014.

Articles de synthèse / revues bibliographiques

Sans objet.

10.7.1.2 Ouvrages

Direction et coordination d'ouvrages / édition scientifique Chapitres d'ouvrage (10 au total)

[LCO1] <u>Hakim Badis</u> and <u>Abderrezak Rachedi</u>. Modelling tools to evaluate the performance of wireless multi-hop networks. In *Modeling and simulation of computer networks and systems: Methodologies and applications*. Elsevier Science Ltd, 2015. Chapter 23.

10.7.1.3 Colloques / congrès, séminaires de recherche

Éditions d'actes de colloques / congrès (7 au total)

Aucun sélectionné.

Articles publiés dans des actes de colloques / congrès (126 au total)

- [LC1] Yasmina Abdeddaïm, Younès Chandarli, Robert I. Davis, and Damien Masson. Schedulability analysis for fixed priority real-time systems with energy-harvesting. In *International Conference on Real-Time Networks and Systems (RTNS 2014)*, pages 311–320, 2014.
- [LC2] Yasmina Abdeddaïm, Younès Chandarli, and Damien Masson. The optimality of PFPasap algorithm for fixed-priority energy-harvesting real-time systems. In *Euromicro Conference on Real-Time Systems (ECRTS 2013)*, pages 47–56, 2013.
- [LC3] <u>Yasmina Abdeddaïm</u> and Maxim Dorin. Probabilistic schedulability analysis for fixed priority mixed criticality real-time systems. In *Design*, *Automation and Test in Europe* (*DATE 2017*), pages 596–601, 2017.
- [LC4] Muhammad Ali Awan, <u>Damien Masson</u>, and Eduardo Tovar. Energy efficient mapping of mixed criticality applications on unrelated heterogeneous multicore platforms. In *IEEE International Symposium on Industrial Embedded Systems (SIES 2016)*, pages 63–72, 2016.
- [LC5] <u>Hakim Badis</u> and <u>Abderrezak Rachedi</u>. Performance evaluation of MIMO-based MAC/-PHY cross-layer design in multi-hop ad hoc networks. In *IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob 2015)*, pages 542–548, 2015.
- [LC6] <u>Hakim Badis</u> and <u>Abderrezak Rachedi</u>. Markov chain-based performance analysis of mimo-aware media access control protocol. In *IEEE International Conference on Communications (ICC 2017)*, pages 1061–1066, 2017.
- [LC7] **Sylvain Cherrier**, Yacine Ghamri-Doudane, **Stephane Lohier**, and **Gilles Roussel**. SALT: a Simple Application Logic description using Transducers for Internet of Things. In *IEEE International Conference on Communications (ICC 2013)*, pages 3006–3011, 2013.
- [LC8] <u>Sylvain Cherrier</u>, Yacine Ghamri-Doudane, <u>Stéphane Lohier</u>, and <u>Gilles Roussel</u>. Fault-recovery and coherence in Internet of Things choreographies. In *IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT 2014)*, pages 532–537, 2014.
- [LC9] Salvatore Costanzo, Ilhem Fajjari, Nadjib Aitsaadi, and Rami Langar. DEMO: SDN-based Network Slicing in C-RAN. In *IEEE Annual Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2018)*, pages 1–2, 2018.

- [LC10] Salvatore Costanzo, Ilhem Fajjari, <u>Nadjib Aitsaadi</u>, and <u>Rami Langar</u>. Dynamic network slicing for 5G IoT and eMBB services: A new design with prototype and implementation results. In *Cloudification of the Internet of Things (CIoT 2018)*, 2018.
- [LC11] Salvatore Costanzo, Ilhem Fajjari, Nadjib Aitsaadi, and Rami Langar. A network slicing prototype for a flexible cloud radio access network. In IEEE Annual Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2018), pages 1–4, 2018.
- [LC12] Alemayehu Desta, Hakim Badis, and Laurent George. Demand response scheduling in production lines constrained by available power. In *International Workshop on Integrating Communications, Control, and Computing Technologies for Smart Grid (ICT4SG 2018)*, 2018.
- [LC13] <u>Alemayehu Desta</u>, <u>Hakim Badis</u>, <u>Laurent George</u>, and Pierre Courbin. An efficient production scheduling based on queuing theory in systems with synchronous part transfer during a demand response event. In *IEEE International Conference on Smart Grid Communications (SmartGridComm 2017)*, pages 546–552, 2017.
- [LC14] Xiaoting Li, <u>Olivier Cros</u>, and <u>Laurent George</u>. The Trajectory approach for AFDX FIFO networks revisited and corrected. In *IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications (RTCSA 2014*), pages 1–10. IEEE, 2014.
- [LC15] Mohammed Yazid Lyazidi, Nadjib Aitsaadi, and Rami Langar. Resource allocation and admission control in ofdma-based cloud-ran. In *IEEE Global Communications Conference* (GLOBECOM 2016), pages 1–6, 2016.
- [LC16] Mohammed Yazid Lyazidi, Lorenza Giupponi, Josep Mangues-Bafalluy, Nadjib Aitsaadi, and Rami Langar. A novel optimization framework for c-ran bbu selection based on resiliency and price. In *IEEE 86th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall 2017)*, pages 1–6, 2017.
- [LC17] Salma Matoussi, Ilhem Fajjari, Salvatore Costanzo, N. Aitsaadi, and <u>Rami Langar</u>. A User Centric Virtual Network Function Orchestration for Agile 5G Cloud-RAN. In *IEEE International Conference on Communications (ICC 2018)*, 2018.
- [LC18] Ermis Papastefanakis, Xiaoting Li, and Laurent George. Deterministic scheduling in Networks-on-Chip using the Trajectory approach. In *IEEE 18th International Symposium on Real-Time Distributed Computing (ISORC 2015)*, pages 60–65, 2015.
- [LC19] Jerome Pilliet, <u>Rémi Forax</u>, and <u>Gilles Roussel</u>. DualStack: improvement of invokedynamic implementation on Android. In *International Workshop on Java Technologies for Real-time and Embedded Systems (JTRES 2015)*, pages 1–8, 2015.
- [LC20] Manar Qamhieh and Serge Midonnet. Schedulability analysis for directed acyclic graphs on multiprocessor systems at a subtask level. In *International Conference on Reliable Software Technologies (ADA-Europe 2014)*, pages 119–133. ADA-Europe, 2014.
- [LC21] <u>Abderrezak Rachedi</u> and <u>Hakim Badis</u>. BadZak: An hybrid architecture based on virtual backbone and software defined network for Internet of vehicles. In *IEEE International Conference on Communications (ICC 2018)*, pages 1–7, 2018.
- [LC22] <u>Gilles Roussel</u>, <u>Rémi Forax</u>, and Jerome Pilliet. Android 292: implementing invokedynamic in Android. In *International Workshop on Java Technologies for Real-time and Embedded Systems (JTRES 2014*), pages 76–86, 2014.
- [LC23] Luca Santinelli, Zhishan Guo, and Laurent George. Fault-aware sensitivity analysis for probabilistic real-time systems. In *IEEE Defect and Fault Tolerance in VLSI and Nanotechnology Systems Symposium (DFT 2016)*, pages 69–74, 2016.

10.7.1.4 Organisation de colloques / congrès (36 au total)

Les principales participations des membres de l'équipe à l'organisation d'événements internationaux sont les suivantes.

- **2018 :** Publication and registration chair of IEEE International Wireless Communications and Mobile Computing conference (IWCMC) A. Rachedi.
- **2018**: Demonstration co-chair of Innovations in Cloud, Internet and Networks conference (ICIN), Paris, France, Fev. 2018 N. Aitsaadi.
- **2017 :** TPC co-chair : IEEE Recent Innovation in Signal processing and Embedded System (RISE), Bhopal, India, Oct. 2017 L. George.
- **2017 :** TPC co-chair : 10th Workshop on Compositional Theory and Technology for Real-Time Embedded Systems (CRTS'2017), workshop of RTSS'2017 L. George
- **2017**: Demonstration co-chair in IEEE/IFIP International Symposium on Integrated Network Management (IM), Lisbon, Portugal, May 2017 N. Aitsaadi.
- 2016: Track co-chair of "Cloud Networks" of Selected Area on Communications Symposium in IEEE Global Communications conference (GLOBECOM), Washington DC, USA, Dec. 2016 - N. Aitsaadi.
- 2016: Symposium co-chair of Next Generation Networks and Internet in IEEE ICC 2016 R. Langar.
- **2016**: Publicity co-chair in IEEE MASS 2016 N. Aitsaadi.
- **2014**: Conference/TPC co-chair in International Conference on Reliable Software Technologies (ADA-Europe), Paris, France, June 23-27, 2014 L. George.
- **2013 :** General chair of Euromicro Conference on Real-Time Systems (ECRTS), Paris, July 2013 L. George.
- **2013**: TPC co-chair in 1st workshop on Real-Time Mixed Criticality Systems (ReTi-MiCS'2013), workshop of RTCSA'2013 conference L. George.

10.7.1.5 Produits et outils informatiques

Logiciels (8 au total)

- Participation au développement de la plateforme JAVA : Rémi Forax, membre de l'équipe LRT, est très actif dans la communauté mondiale de la plateforme Java. Il a notamment contribué à l'implémentation des lambdas (JSR 335) et travaille sur les types dynamiques (JSR 292).
- Site web BeC3 (http://bec3.com) pour le déploiement de code pour machine virtuelle
 D-Lite (écrit en java/angularjs) (8100 lignes) + machine virtuelle
 D-LITe (une version en java (2600 lignes), une en python (4900 lignes), une version pour smartphones (1500 lignes))
- Simulateur de BadZak, plus de 500 lignes, quatre participants au développement (2 stagiaires et deux permanents), utilisé par la SATT Ile-de-France.

Bases de données

Sans objet.

Outils d'aide à la décision

Sans objet.

Outils présentés dans le cadre de compétitions de solveurs

Sans objet.

10.7.1.6 Développements instrumentaux et méthodologiques Prototypes et démonstrateurs

 BeC3, une plateforme pour la programmation universelle des objets connectés, et la création d'application IoT. Utilisée pour les projets européens ITEA2 Web of Objects (WOO) et Social Internet of things for And by the Crowd (SITAC), et le projet FUI SCORPION³.

- Mise en place d'une plateforme de déchargement de calcul (offloading) dans le Cloud permettant d'optimiser les applications Android en sélectionnant d'une manière automatique une ou plusieurs méthodes à décharger dans le Cloud ⁴ dans le cadre du projet FUI PODIUM (Fev. 2016 Janv. 2019).
- Mise en place d'une plateforme expérimentale à base de radio logicielle (SDR) pour implémenter deux types de solutions ⁵ dans le cadre du projet FUI ELASTIC Networks (Dec. 2015 May 2018) :
 - Une solution "Réseau d'accès radio en tant que service" (RANaaS) qui instantie à la demande des RAN virtuels sur une infrastructure physique commune. Notre prototype développé déploie de manière dynamique des fonctions de bandes de base (BBU) soit sur le site d'accès soit sur le cloud dans l'architecture C-RAN selon un algorithme d'optimisation implémenter sous forme d'une application northbound SDN.
 - Une solution de tranchage de réseaux 5G "network slicing" qui gère le partage du spectre radio entre plusieurs "slices". Cette solution est implémentée au moyen d'une application northbound SDN qui permet de créer et configurer dynamiquement différents "slices".
- Plateforme de sélection des relayeurs pour la communication véhicules-à-X (Infrastructure, piéton, véhicules, drones). Cette plateforme est en cours de développement au LIGM, suite au dépôt de brevet avec la SATT Ile-de-France. Elle est financée par un projet de valorisation de la SATT Ile-de-France, suite à la manifestation d'intérêt et l'engagement de certains industriels comme Continental, Valéo et Renault.

Plateformes et observatoires

Sans objet.

10.7.1.7 Autres produits propres à une discipline Créations artistiques théorisées

Sans objet.

Mises en scènes

Sans objet.

Films

Sans objet.

10.7.1.8 Activités éditoriales

Participation à des comités éditoriaux (journaux scientifiques, revues, collections, etc.) (18 au total)

Les principaux comité éditoriaux auxquels participent les membres de l'équipe sont les suivants.

- R. Langar, Editorial board member (Associate Editor), Journal of Network and Systems Management (JONS) depuis Janvier 2018.
- L. George, revue ISTE Openscience, Informatique temps réel, membre du comité de rédaction
- A. Rachedi, Associate Editor dans la revue IEEE Access, (2015-Présent).
- A. Rachedi, Associate Editor dans la revue Security and Privacy éditée par Wiley. (2017-Présent)

^{3.} https://bec3.com

^{4.} https://uloof.lip6.fr

^{5.} https://sdr-lab.lip6.fr

- A. Rachedi, Editorial board member dans la revue International Journal of Communication Systems (IJCS), éditée par Wiley, (2012-Présent).
- A. Rachedi, Editorial board member dans la revue Wireless Communications and Mobile Computing (WCMC), éditée par Wiley, (2011-2015).
- R. Langar, Guest Editor du numéro spécial du journal ELSEVIER Vehicular Communications portant sur le thème "Vehicular Cloud Networking" publié en Avril 2016.
- L. George, Guest Editor with Alan Burns: multiprocessor scheduling, Springer Real-Time Systems publié en Mars 2013, Vol. 49, Issue 2, pp 137–139.
- L. George, Guest Editor with Tullio Vardanega, Springer Lecture Notes in Computer Science, Reliable Software Technologies (Ada-Europe), Juin 2014.
- N. Aitsaadi, Guest Editor: special issue "Cloudification of the Internet of Things" dans le journal Springer Annals of Telecommunications
- A. Rachedi, Guest editor dans la revue IEEE Transactions on Industrial Informatics(TII).
 Titre: "Smart Grid and Renewable Energy Resources: Information and Communication Technologies with Industry Perspective", Dec. 2017.
- A. Rachedi, Guest Editor dans la revue Elsevier Ad Hoc Networks. Titre: "Cognitive radio based smart grid: The future of the traditional electrical grid", May 2016.
- A. Rachedi, Guest Editor dans la revue Elsevier Future Generation Computer Systems Journal.
 Titre: "Tactile Internet: Technologies, Test Platforms, Trials, and Applications", 2018

Direction de collections et de séries

Sans objet.

Participation à des comités de programme

Les chercheurs de l'équipe sont membres de plusieurs comités de programmes, en particulier : IEEE ICC (2013 à 2018), IEEE GLOBECOM (2013 à 2017), IEEE/IFIP NOMS (2016, 2018), IEEE/IFIP IM 2017, IEEE RISE'2017.

10.7.1.9 Activités d'évaluation

Évaluation d'articles et d'ouvrages scientifiques (relecture d'articles / reviewing)

Les membres de l'équipe sont très régulièrement sollicités pour évaluer des articles dans les conférences et les journaux de leur domaine.

Évaluation de projets de recherche

L'équipe est régulièrement sollicité pour évaluer des projets ANR, ANRT, FNR (Luxembourg), FNRS (Belgique), CRSNG (Canada) et European Science Foundation (ESF).

R. Langar a également participé à l'évaluation mi-parcours des projets ANR en Septembre 2017.

Évaluation de laboratoires (type Hcéres)

— L. George, Participation au comité d'évaluation AERES de l'ONERA, Dec. 2014.

Responsabilités au sein d'instances d'évaluation

- N. Aitsaadi, Membre du Comité de Pilotage (COPIL) Groupe Télécoms Systematic, depuis Janvier 2018.
- A. Rachedi, Membre expert international chez COMSATS Institute of Information Technology (CIIT), Pakistan, depuis 2016.

10.7.1.10 Contrats de recherche financés par des institutions publiques ou caritatives Contrats européens (ERC, H2020, etc.) et internationaux (NSF, JSPS, etc.) (4 au total)

— CELTIC SAN, "Survivable Ad Hoc Network for 4G and beyond". Porteur: CASSIDIAN, France. Durée: 36 mois (Dec. 2012 – Nov. 2015). Budget LIGM: 318 K€. Responsable LIGM: Yacine G. Doudane, Participant: A. Rachedi.

- ITEA2 (appel 6) SITAC, "Social Internet of Things for Apps by and for the Crowd". Porteur: Gemalto, France. Durée: 36 mois (Dec. 2012 Nov. 2015). Aide globale: 15 ME, Budget LIGM: 493 K€, Responsable LIGM: Yacine G. Doudane, Participant: S. Cherrier.
- ITEA2 (appel 6) CarCode, "Software platform for traffic-service ICT ecosystems and business opportunities". Porteur: Easy Innova, Espagne. Durée: 36 mois (Dec. 2012 Nov. 2015).
 Budget LIGM: 451 K€, Responsable LIGM: Yacine G. Doudane, Participant: S. Cherrier.
- ITEA2 (appel 5) WoO, "Web of Objects", Porteur : Thales, France. Durée 36 mois (Dec. 2011 Nov. 2014). Aide globale : 12 ME, Budget LIGM : 370 K€, Responsable LIGM : Yacine G. Doudane, Participant : S. Cherrier.

Contrats nationaux (ANR, PHRC, FUI, INCA, etc.) (10 au total)

- FUI (appel 23) SCORPION, "SliCing Optimisé des Réseaux 5G pour l'Internet des Objets : Applications aux usages Energie", Porteur : NOKIA Bell-Labs, France. Durée : 24 mois (Sept. 2017 Aout 2019). Aide globale : 912 K€, Budget LIGM : 150 K€. Responsable LIGM : R. Langar.
- FUI (appel 22) CEOS, "Reliable and secure system of inspections of pieces of works using mini-drones", Porteur: Thales Communications & Security, France. Durée: 36 mois (Mai 2017 Avril 2020). Aide globale: 1950 K€, Budget LIGM: 270 K€. Responsable LIGM: L. George.
- FUI (appel 20) PODIUM, "PlatefOrme pour Déchargement sécurIsé dans le cloUd Mobile",
 Porteur : Thales Communications & Security, France. Durée : 36 mois (Fév. 2016 Janvier 2019). Aide globale : 1532 K€, Budget LIP6/LIGM : 267 K€. Responsable LIP6/LIGM : R. Langar.
- FUI (appel 20) ELASTIC networks, "Plateforme de test C-RAN pour les réseaux mobiles nouvelle génération", Porteur : ERCOM, France. Durée : 30 mois (Oct. 2015 Mars 2018).
 Aide globale : 1307 K€, Budget LIP6/LIGM : 247 K€. Responsable LIP6/LIGM : R. Langar.

Contrats avec les collectivités territoriales

Sans objet.

Contrats financés dans le cadre du PIA (3 au total)

- Projet SATT-Innov II-de-France: BadZAk Geographic data dissemination and transportation in vehicular networks with hybrid wireless access. Durée: 12 mois (Mars 2018 Mars 2019).
 Responsable LIGM: A. Rachedi/H. Badis. Budget LIGM: 150 K€.
- Projet SATT-Innov II-de-France: BeC3 Behaviour Crowd Centric Composition. Durée: 9
 mois (Octobre 2016 Juin 2017). Responsable LIGM: S. Cherrier. Budget LIGM: 100 K€.
- Projet collaboratif I-Site FUTURE WESTERN: Wireless sEnsor networks for the STructural hEalth monitoring of urban infRastructures in the coNtext of water damage. Partenaires: ESYCOM, COSYS/LEOST, LIGM, Ifsttar. Durée: 36 mois (Juin 2018 Juillet 2020). Responsable LIGM: L. George.

Contrats financés par des associations caritatives et des fondations (ARC, FMR, FRM, etc.)

Sans objet.

10.7.1.11 Post-doctorants et chercheurs seniors accueillis

Post-doctorants

- Zahra Movahedi du 01/01/2015 au 30/11/2015;
- Alemayehu Desta du 01/10/2017 à 01/10/2020;
- Zine-Eddine Djeffal du 01/09/2014 au 31/08/2015;
- Ghalem Boudour du 01/10/2012 au 30/09/2013.

Chercheurs seniors accueillis

Les chercheurs suivants on été accueillis dans l'équipe :

- Raouf Boutaba (Professeur, Université de Waterloo, Canada), 1 mois en 2018.
- Mounir Hamdi (Professeur, Hong Kong University of science and technology), 1 mois en 2014.

Il y a eu de nombreux autres chercheurs accueillis sur des périodes plus courtes.

10.7.1.12 Indices de reconnaissance

Prix

- R. Langar: "Best Paper Award" dans les conférences IEEE/IFIP CNSM 2014, IFIP PEMWN 2016. "Top 3 Paper Award" dans la conférence IEEE/IFIP Wireless Days 2014.
- Y. Abdeddaïm, D. Masson: "Best Paper Award" dans la conférence International Conference on Real-Time and Network Systems, RTNS 2014.
- A. Rachedi : Prix du meilleur Workshop de la conférence IWCMC 2013 (Best Workshop Award).

Distinctions

 A. Rachedi : Sélectionné éditeur associé du mois de Novembre 2017 de la revue IEEE Access.

Appartenance à l'IUF

Sans objet.

Responsabilités dans des sociétés savantes

- R. Langar, Chair de IEEE Technical Committee on Information Infrastructure and Networking (TCIIN)⁶.
- N. Aitsaadi, Secretaire de IEEE Technical Committee on Information Infrastructure and Networking (TCIIN).
- L. George, membre du bureau IEEE Computer, France.

Invitations à des colloques / congrès à l'étranger

Sans objet.

Séjours dans des laboratoires étrangers

- Rami Langar a effectué de nombreux séjours invités, notamment à la School of Information and Commun. Engineering, Beijing Univ. of Posts and Telecommunications (BUPT) et Tsinghua University (THU), Chine (2014) et à la School of Computer Science, Univ. Waterloo, Ontario, Canada (2013).
- Damien Masson a effectué un séjour de 6 mois à CISTER, Porto, Portugal en 2015.

10.7.2 Intéraction avec l'environnement

10.7.2.1 Brevets, licences et déclarations d'invention

Brevets déposés

Sans objet.

Brevets acceptés

[LB1] <u>Abderrezak Rachedi</u> and <u>Hakim Badis</u>. Brevet : Procédé et ensemble permettant à des terminaux utilisateurs finaux d'échanger par l'intermédiaire d'un réseau multi-sauts sans fil de proximité de communication à architecture dynamique (FR1761613), 2017.

Brevets licenciés

Sans objet.

Déclaration d'invention

Sans objet.

10.7.2.2 Interactions avec les acteurs socio-économiques

Contrats de R&D avec des industriels

Sans objet.

Bourses Cifre

- Desta Alemayehu, encadré par L. George, de 2014 à 2017, chez Metron
- Papastefanakis Ermis, encadré par L. George de 2013 2017, chez THALES Communication.
- Bouzidi Hocine, encadré par R. Langar, thèse débutée en 2017, avec NOKIA-Bell Labs.
- Ugur Yigit, encadré par A. Rachedi et A. Zaidi (Signal), thèse débutée en 2016, avec Huawei.

Créations de laboratoires communs avec une / des entreprise(s)

Sans objet.

Création de réseaux ou d'unités mixtes technologiques

Sans objet.

Créations d'entreprises, de start-up

Sans objet.

10.7.2.3 Activités d'expertise scientifique

Activités de consultant

Sans objet.

Participation à des instances d'expertise (type Anses) ou de normalisation

Sans objet.

Expertise juridique

Sans objet.

Rapports d'expertises techniques, produits des instances de normalisation

Sans objet.

10.7.2.4 Produits destinés au grand public

Émissions radio, TV, presse écrite

Sans objet.

Produits de vulgarisation : articles, interviews, éditions, vidéos, etc.

— « Last Project », méthode d'enseignement qui mêle piratage et pédagogie, dans VousNousIIs l'e-mag de l'éducation. ⁷

Produits de médiation scientifique

Sans objet.

Débats science et société

Sans objet.

^{7.} http://www.vousnousils.fr/2016/10/24/last-project-piratage-pedagogie-594828

10.7.3 Implication dans la formation par la recherche

10.7.3.1 Produits des activités pédagogiques et didactiques Ouvrages

— Stephane Lohier, Dominique Présent. Réseaux et Transmissions. Dunod, 2016.

E-learning, moocs, cours multimedia, etc.

Pour leurs enseignements, les chercheurs de l'équipe s'appuient régulièrement sur les plateformes d'E-Learning utilisées à l'UPEM.

10.7.3.2 Productions scientifiques (articles, ouvrages, etc.) issues des thèses (65 au total)

Remarque : comme pour les autres équipes, nous avons choisi de présenter un article par doctorant ayant publié pendant la période évaluée.

- [LD1] <u>Yasmina Abdeddaïm</u>, <u>Younès Chandarli</u>, Robert I. Davis, and <u>Damien Masson</u>. Response time analysis for fixed priority real-time systems with energy-harvesting. *Real-Time Systems*, 52(2):125–160, 2016.
- [LD2] Rim Ben Messaoud and Yacine Ghamri-Doudane. QoI and Energy-Aware Mobile Sensing Scheme: A Tabu-Search Approach. In *IEEE Vehicular Technology Conference (VTC-Fall 2015)*, pages 1–6, 2015.
- [LD3] <u>Ibtissem Boulanouar</u>, <u>Stéphane Lohier</u>, <u>Abderrezak Rachedi</u>, and <u>Gilles Roussel</u>. Dta: Deployment and tracking algorithm in wireless multimedia sensor networks. *Ad Hoc & Sensor Wireless Networks*, 28(1-2):115–135, 2015.
- [LD4] El <u>Hocine Bouzidi</u>, Hung Luong, Abdelkader Outtagart, Abdelkrim Hebbar, and <u>Rami</u> <u>Langar</u>. Online-based learning for predictive network latency in software-defined networks. In *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2018)*, 2018.
- [LD5] Sylvain Cherrier, Yacine Ghamri-Doudane, Stephane Lohier, Ismail Salhi, and Philippe Valembois. BeC3: Behaviour Crowd Centric Composition for IoT applications. *Mobile Networks and Applications*, 19(1572-8153):18–32, 2013.
- [LD6] Olivier Cros, Frédéric Fauberteau, Xiaoting Li, and Laurent George. Mixed-criticality over switched Ethernet networks. volume 35 of Workshop of Ada-Europe Conference on Challenges of Mixed Criticality Approaches and Benefits for the Industry (WMCIS 2014), 2014.
- [LD7] Alemayehu Desta, Laurent George, Pierre Courbin, and Vincent Sciandra. Smoothing of renewable energy generation using gaussian-based method with power constraints. *Energy Procedia*, 134:171 180, 2017.
- [LD8] Nadia Haddadou, Abderrezak Rachedi, and Yacine Ghamri-Doudane. A job market signaling scheme for incentive and trust management in vehicular ad hoc networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(8):3657–3674, 2015.
- [LD9] Safa Hamdoun, Abderrezak Rachedi, and Abderrahim Benslimane. RSSI-based Localization Algorithms using Spatial Diversity in Wireless Sensor Networks. *International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, 19(3-4):157–167, 2015. Accepted for publication in International Journal of Ad Hoc and Ubiquitous Computing (IJAHUC).
- [LD10] <u>Junaid Ahmed Khan</u> and Yacine Ghamri-Doudane. STRIVE: Socially-aware Three-tier Routing in Information-centric Vehicular Environment. In *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2016)*, pages 1–7, 2016.
- [LD11] Mohamed Ali Moussa, Yosra Marnissi, and Yacine Ghamri-Doudane. A primal-dual algorithm for data gathering based on matrix completion for wireless sensor networks. In *IEEE International Conference on Communications (ICC 2016)*, pages 1–5, 2016.

- [LD12] <u>Ermis Papastefanakis</u>, Xiaoting Li, and <u>Laurent George</u>. Deterministic scheduling in Networks-on-Chip using the Trajectory approach. In *IEEE 18th International Symposium on Real-Time Distributed Computing (ISORC 2015)*, pages 60–65, 2015.
- [LD13] Manar Qamhieh and Serge Midonnet. Schedulability analysis for directed acyclic graphs on multiprocessor systems at a subtask level. In *International Conference on Reliable Software Technologies (ADA-Europe 2014)*, pages 119–133. ADA-Europe, 2014.
- [LD14] Nazih Salhab, Salah Elfalou, Salah-Eddine Elayoubi, Rana Rahim, and Rami Langar. Optimization of the Implementation of Network Slicing in 5G RAN. In *IEEE Middle East and North Africa Communications Conference (MENACOMM 2018)*, pages 1–6, 2018.

10.7.3.3 Efficacité de l'accompagnement des étudiants et qualité de leur encadrement (financement, durée des thèses, taux d'abandon)

Les financements sont d'origines variées (allocation doctorales des tutelles, thèses CIFRE, financements sur projets, ...). La durée moyenne des thèses soutenues dans l'équipe est de 42,8 mois.

Au cours de la période concernée, cinq thèses ont été interrompues pour des raisons très diverses. Younes Maaouni (L. George, 2015, 2ème année) était trop loin d'avoir le niveau pour continuer, comme en a attesté une commission ad hoc (avec un président extérieur à l'ED). Jefferson Mangue (J. Cervelle, R. Forax, 2017, 1ère année) a eu une opportunité de monter son entreprise, et a donc changé d'avis en fin de premiere année. Pour des raisons personnelles, Sayed Ali Marandi (Y. Ghamri-Doudane, S. Lohier, 2015, 2ème année) a préféré interrompre sa thèse pour en commencer une en Suisse. Asma Nafti (L. George, 2017, 2ème année) était en co-tutelle avec l'INSAT (Tunis) qui a décidé d'arrêter la thèse par manque d'implication. Quant à Jérôme Pillet (Roussel, Forax, 2017, 5ème année), il avait de quoi soutenir, avec plusieurs publications, mais n'a jamais réussi à terminer son manuscrit malgré un accompagnement personnalisé : il a trouvé un emploi au cours de sa cinquième année et a abandonné l'idée de terminer la rédaction de sa thèse.

10.7.3.4 Suivi des doctorants en liaison avec les écoles doctorales et attention portée à l'insertion professionnelle des docteurs

Le suivi des doctorants est institutionnalisé au niveau de l'école doctorale, où sont organisés des comités de suivi individuels. Chaque directeur de thèse suit l'insertion professionnelle des docteurs, même s'il n'y a aucune difficulté dans le domaine pour trouver un emploi. Les doctorants de l'équipe trouvent en général soit une position académique, dans l'enseignement supérieur ou un emploi dans le secteur privé.

10.7.3.5 Labellisation nationale ou internationale des formations (Erasmus mundus p. ex.) Sans objet.

10.7.3.6 Accompagnement des séminaires de doctorants par des chercheurs; degré de participation des doctorants à la vie de l'entité de recherche

Les doctorants sont régulièrement invités à présenter leurs travaux liés aux articles acceptés dans des conférences ou journaux internationaux. Les nouveau doctorants sont invités à présenter leur thématique de recherche après avoir réalisé un premier état de l'art.

10.7.3.7 Mobilisation des chercheurs dans le montage de formation de niveau master

A. Rachedi a monté la spécialité SSIO du Master d'Informatique de l'UPEM, de nombreux membres de l'équipe y enseignent et participent au renouvellement des cours chaque année.

N. Ait-Saadi a monté la nouvelle filière Cyber-sécurité du cycle ingénieur d'ESIEE Paris (niveau M1 et M2) en 2018, pour une ouverture de la filière en septembre 2018.

11 Modèles et Algorithmes

11.1 Présentation de l'équipe

11.1.1 Introduction

Au sein du laboratoire assez généraliste qu'est le LIGM, l'équipe *Modèles et Algorithmes* (MoA) se caractérise par une identité culturelle forte, celle de l'informatique fondamentale et de la conception et de l'analyse des algorithmes.

L'équipe MoA regroupe des chercheurs d'horizons variés : analyse d'algorithmes, bioinformatique, géométrie combinatoire, complexité paramétrée, bases de données, linguistique, ... Elle couvre donc un large spectre allant de l'informatique mathématique à la bioinformatique appliquée, tout en maintenant des spécialités algorithmiques bien marquées. De par ses récents recrutements, elle s'ouvre désormais aussi à d'autres thématiques, liées à la géométrie algorithmique, les bases de données ou la complexité paramétrée. L'équipe MoA s'est significativement renforcée durant la période 2013-2018 avec 6 arrivées pour seulement 2 départs (qui sont deux promotions professeur).

L'équipe est structurée en trois grands thèmes de recherche :

- 1. Automates et logique;
- 2. Algorithmique;
- 3. Linguistique pour le traitement automatique des langues.

Le thème *Automates et logique* regroupe les travaux se basant sur la théorie des automates, la logique et la théorie des modèles finis ou infinis. Le thème *Algorithmique* couvre un large spectre et concerne les travaux qui se retrouvent autour de l'analyse d'algorithmes, la géométrie algorithmique et combinatoire, l'algorithmique pour la bioinformatique, l'algorithmique du texte et la complexité paramétrée. Le thème *Linguistique pour le traitement automatique des langues* recouvre des activités de description syntaxique et sémantique, la production de bases de données lexicales et grammaticales, et des applications de celles-ci au traitement automatique des langues. Le thème *Linguistique pour le traitement automatique des langues* (ex-équipe Informatique Linguistique) a été intégré au sein de l'équipe MoA à la toute fin de la précédente période évaluée.

L'équipe MoA est donc assez hétérogène, mais elle rassemble avant tout des chercheurs possédant une culture informatique commune, à savoir l'algorithmique et la théorie des automates. La structuration en trois thèmes de recherche n'est de toute façon pas rigide (les chercheurs ne sont aucunement enfermés dans un des trois thèmes) et cette hétérogénéité voulue et revendiquée par ses membres est de fait une des forces de l'équipe MoA; par choix, il n'existe par exemple qu'un seul séminaire pour toute l'équipe. La diversité des thèmes de recherche permet en effet des échanges continuels et fructueux qui participent à la grande polyvalence de l'équipe et favorisent grandement l'intégration des nouveaux chercheurs.

Les membres de l'équipe MoA ont une activité de publication soutenue (148 articles dans des journaux, 164 articles dans des conférences internationales) et ils publient dans les journaux et conférences internationales de premiers plans de leurs thématiques : COCOON, CPM, ESA, FSTTCS, ICALP, ICDT, ISAAC, LATIN, LICS, RECOMB, STACS et SoCG.

11.1.2 Effectifs Membres permanents

| Béal | Marie- Pierre | PR UPEM | Membre nommée du CNU 27 (-2015) Directrice du laboratoire jusqu'en 2015 |
|-------------------|------------------|--|--|
| Blin | Guillaume | MdC UPEM | Promu PR U. Bordeaux (2014) |
| Bulteau | Laurent | CR CNRS | Arrivé en 2015 |
| Carayol | Arnaud | CR CNRS | Responsable adjoint de l'équipe |
| Caucal | Didier | DR CNRS | |
| Colin de Verdière | Éric | DR CNRS | Arrivé en 2016 |
| Constant | Mathieu | MdC UPEM | Promu PR U. Lorraine (2016) |
| Crochemore | Maxime | PR Émérite UPEM Émérite King's Colleg | Docteur Honoris causa U. Helsinki |
| G (| 01: : | | |
| Curé | Olivier | MdC UPEM | |
| David | Claire | MdC UPEM | Responsable L3 informatique (2012-) Membre nommée du CNU 27 (2015-) |
| Fagnot | Isabelle | MdC P7 | Wemore nonlinee du CNO 27 (2013-) |
| Francis | Nadime | MdC UPEM | Arrivé en 2017 |
| Gambette | Philippe | MdC UPEM | Allive cii 2017 |
| Goaoc | Xavier | PR UPEM | Responsable du Master (2014-) |
| Goade | Mavioi | IUF junior (2014-) | Responsable du Master (2014-) |
| Heymann | Jean-Pierre | IE CNRS | Retraité depuis 2017 |
| Hubard | Alfredo | MdC UPEM | Arrivé en 2016 |
| Jugé | Vincent | MdC UPEM | Arrivé en 2017 |
| Kucherov | Gregory | DR CNRS | |
| Kyriacopoulou | Tita | PR UPEM | Directrice dpt d'Info. IUT (2016-) |
| Labarre | Anthony | MdC UPEM | |
| Laporte | Éric | PR UPEM | |
| Meyer | Antoine | MdC UPEM | Responsable mention Info. du L (2014-) |
| Nakamura | Takuya | IE CNRS | |
| Nicaud | Cyril | PR UPEM | Directeur du laboratoire (2015 -) |
| Perrin | Dominique | PR Émérite UPEM | Directeur de l'ESIEE (jusqu'en 2017) |
| Pivoteau | Carine | MdC UPEM | Coordinatrice des matières IUT (2016-) |
| Revuz | Dominique | MdC UPEM | |
| | | | |

| Rindone | Giuseppina | MdC UPEM | |
|----------|------------|----------|---|
| Rispal | Chloé | MdC UPEM | |
| Thapper | Johan | MdC UPEM | Responsable 1ère année ESIPE (2015-) |
| Vialette | Stéphane | DR CNRS | Responsable de l'équipe Chargé de mission CNRS INS2I (2015-) |
| Weller | Mathias | CR CNRS | Arrivé en 2017 |

Doctorants

| Nom | Prénom | Directeur(s) | Dates | Titre |
|-----------|-----------|---|---------------|--|
| Amarni | Ahmed | MP. Béal | 2010- 2015 | Compression guidée par automate et noyaux rationnels |
| Auger | Nicolas | C. NicaudC. Pivoteau | 2014- | Analyse réaliste d'algorithmes standards |
| Basset | Nicolas | E. Asarin (IRIF) D. Perrin | 2010- 2013 | Volumetry of timed languages and applications |
| Belabbess | Badre | O. Curé | 2016- | Automatisation des détections d'anomalies en temps réel par combinaison de traitements numé- riques et sémantiques |
| Brinda | Karel | G. Kucherov | 2013- 2016 | Novel computational techniques for mapping and classifying Next- Generation Sequencing data |
| Carnino | Vincent | C. Nicaud | 2011- 2014 | Autour des automates : génération aléatoire et contribution à quelques extensions |
| Cetro | Rosa | É. Laporte | 2009- 2013 | Lexique-grammaire et Unitex : quels apports pour une description terminologique bilingue de qualité : analyse sur deux corpus comparables de médecine thermale |
| Comin | Carlo | R. Rizzi (Italie) S. Vialette | 2014- 2017 | Complexité dans les Jeux Infinis sur les Graphes et les Réseaux de Contraintes Temporelles |
| de Félice | Sven | C. Nicaud | 2010- 2014 | Automates codéterministes et au- tomates acycliques : analyse d'al- gorithmes et génération aléatoire |
| Dolce | Francesco | D. Perrin | 2013- 2016 | Codes bifixes, combinatoire des mots et systèmes dynamiques symboliques |

| Heller | Pawel | MP. Béal | 2014- 2017 | Dick shifts |
|-------------|--------------|----------------------------|---------------|--|
| Kerdjoudj | Fadhela | O. Curé | 2011- 2015 | Gestion de l'incertitude dans le processus d'extraction de connaissances à partir de textes |
| Kyriakoglou | Revekka | D. Perrin | 2015- | Morphismes itérés, combinatoire des mots et systèmes dynamiques symboliques |
| Lhez | Jérémy | O. Curé | 2014- | Filtrage, stockage et raisonne- ment sur de grands volumes de triplets RDF ordonnancés |
| Magnard | Thomas | É. Colin de Verdière | 2017- | Plongeabilité des graphes sur les 2-complexes simpliciaux |
| Martinez | Cristian | T. Kyriacopoulou | 2013- 2017 | Grammaires locales étendues : principes, mise en oeuvre et applications pour l'extraction de l'information |
| Morel | Paul | X. Wu (USA) S. Vialette | 2011- 2014 | MSPT : Motion Simulator for Proton Therapy |
| Ren | Xiang Nan | O. Curé | 2015- | Filtrage sémantique et génération de résumés en temps réel à partir de flux de données massives |
| Neou | Both Emerite | S. Vialette | 2013- 2017 | Recherche de motif dans les permutations |
| Penelle | Vincent | D. Caucal A. Meyer | 2012- 2015 | Réécriture d'arbres de piles et traces de systèmes à compteurs |
| Ryzhikov | Andrew | D. Perrin | 2017- | Problèmes de complexité en théorie des automates |
| Salikhov | Kamil | G. Kucherov | 2013- 2017 | Efficient algorithms and data structures for indexing DNA sequence data |

ATER et postdoctorants

- Matthieu Chapelle (2012-2013, ATER)
- Hanane Tafat Bouzid (2012-2013, ATER)
- Eduardo Ferraz (2013, postdoctorant 3 mois)
- Alfredo Hubard (2013-2014, postdoctorant)
- Thomas Egret, (2013-2014, ingénieur sur Super BQR OCS ¹ 5 mois)
- Matthew Hague (2013, postdoctorant 6 mois)
- Maciek Sykulski (2014-2015, postdoctorant)
- Vincent Penelle (2015-2016, demi-ATER)
- Tim Smith (2015-2016, postdoctorant)
- Emerite Neou Both (2015-2016, demi-ATER)
- Pavel Heller (2017-2018, ATER)

^{1.} Le Super BQR est un programme de soutien à la recherche sur projets porté par l'UPEM.

— Jeremy Lhez (2017-2018, ATER)

Évolution de l'équipe (permanents)

Durant la période évaluée, deux maîtres de conférences de l'équipe MoA ont été promus professeur des universités. À ces deux départs de l'UPEM s'ajoutent deux postes UPEM, le poste de Dominique Perrin (PR UPEM) qui a pris sa retraite et celui de Sébastien Paumier (MdC UPEM) immobilisé depuis 2012 suite à une disponibilité. Néanmoins, l'équipe MoA s'est significativement développée. En effet, depuis 2013, l'équipe a bénéficié de l'arrivée de 6 enseignants-chercheurs et chercheurs (3 maîtres de conférences, 2 CR CNRS et 1 DR CNRS). Ces nouvelles recrues ont incontestablement renforcé les thèmes de recherche mais également développé de nouvelles compétences importantes au sein de l'équipe à l'interface de l'algorithmique, de la géométrie discrète et des bases de données.

Arrivées.

Laurent Bulteau (CR CNRS, octobre 2015), Éric Colin de Verdière (DR CNRS, octobre 2016), Alfredo Hubard (MdC UPEM, septembre 2016), Nadime Francis (MdC UPEM, septembre 2017), Vincent Jugé (MdC UPEM, septembre 2017) et Mathias Weller (CR CNRS, octobre 2017).

Départs.

Guillaume Blin (août 2014, promu PR Université de Bordeaux) et Matthieu Constant (août 2016, promu PR Université de Lorraine).

Jean-Pierre Heymann (IE CNRS, thème *Linguistique pour le traitement automatique des langues*) est parti à la retraite en 2017.

11.1.3 Interactions locales et nationales

L'équipe MoA a des liens naturels avec l'équipe Combinatoire du LIGM avec notamment une collaboration entre Samuele Giraudo et Stéphane Vialette sur les mélanges de permutations et l'organisation conjointe de l'école thématique ALEA en 2014. Elle possède également des liens avec l'équipe A3SI, en particulier autour des méthodes topologiques et autour de la géométrie combinatoire.

Durant ce quinquennal, les interactions avec les mathématiciens du LAMA, le laboratoire de mathématiques UPEC-UPEM, se sont considérablement renforcées, en particulier au travers d'un groupe de travail rassemblant les géométries différentielles, systoliques, convexes et algorithmiques. Ce groupe de travail, doté de 100K€ par le Labex Bézout, a donné lieu au dépôt d'un projet ANR commun, une organisation d'école, des co-encadrements, ...

La quasi-totalité des membres de l'équipe sont membres du GdR Informatique-Mathématiques au sein duquel ils participent aux groupes de travail *ALEA* (co-dirigé par Cyril Nicaud depuis mars 2018), *Automates, logique, jeux et algèbre, Combinatoire des mots, algorithmique du texte et du génome, Géométrie algorithmique, Graphes* et *SDA2*. La partie bioinformatique de l'équipe est membre du GdR Bionformatique Moléculaire.

Au niveau national, nous avons des liens de recherches privilégiés avec de nombreux laboratoires tels que le DIENS (Paris), GIPSA-lab (Grenoble), IMJ-PRG (Paris), INSA (Toulouse), IRIF (Paris), LaBRI (Bordeaux), LS2N (Nantes), LIP (Lyon), LIPN (Villetaneuse), LIRMM (Montpellier), LRI (Paris-Saclay), LSV (Paris-Saclay), LIX (Paris-Saclay) ou encore le Loria (Nancy).

Les membres de l'équipe sont régulièrement invités à participer à des comités de sélection et à des jurys de thèses ou d'habilitation. Ils sont également régulièrement appelés comme experts pour l'ANR ou ses contre-parties dans d'autre pays (Brésil, Belgique, Pologne, UK,...).

L'équipe est fortement impliquée dans les instances de recherche aussi bien au niveau local que national.

Au niveau local, Marie-Pierre Béal a été directrice du LIGM jusqu'en 2015 et Cyril Nicaud l'est devenu ensuite. Dominique Perrin a été directeur de l'ESIEE jusqu'en août 2017. À noter que l'équipe MoA a une très forte implication dans la gouvernance du Labex Bézout. En effet, Éric Colin de Verdière est sur le point de prendre la direction du Labex Bézout; il était auparavant responsable de l'axe *Images et Géométrie* et cette responsabilité sera désormais assurée par Alfredo Hubard. Enfin, Xavier Goaoc a été le porteur du projet d'EUR Bézout déposé en 2017.

Au niveau national, Marie-Pierre Béal a été membre du Conseil National des Universités (CNU) section 27 jusqu'en 2015 et Claire David en est membre depuis novembre 2015. Stéphane Vialette est chargé de mission CNRS à l'INS2I depuis 2015.

11.1.4 Rayonnement international

L'équipe a des relations privilégiées avec de nombreuses universités et instituts de premier plan de par le monde : Ben-Gurion University of the Negev (Israël), Carnegie Mellon (USA), Charles University (République Tchèque), IST Austria (Autriche), HSE (Russie), Humboldt-Universität zu Berlin (Allemagne), KAIST (Corée du Sud), King's College London (UK), National University of Singapore, RHUL University (UK), UBC Vancouver (Canada), University of Oxford (UK), University of Warsaw University of Illinois Urbana-Champaign (USA), Université de Helsinki (Finlande), University of Ljubljana (Slovenia), Université de Vérone (Italie), Université de Zurich (Suisse), Université du Québec à Montréal (Canada), Université de Montréal (Canada), RWTH Aachen University (Allemagne),

Les membres de l'équipe sont régulièrement invités pour présenter leurs travaux ou à participer aux comités de programmes des meilleures conférences de leurs domaines, citons par exemple COCOON, CPM, ESA, FSTTCS, ICALP, ICDT, ISAAC, LATIN, LICS, MFCS, PODS, RECOMB, STACS et SoCG.

Du point de vue éditorial, les membres participent aux comitiés éditoriaux de plusieurs journaux tels que Algorithms for Molecular Biology, European Journal of Combinatorics ou Theoretical Computer Science. On notera que Éric Laporte a été directeur de la revue Lingvisticae Investigationes et de la collection Lingvisticae Investigationes Supplementa jusqu'en 2016, et que Éric Colin de Verdière est le directeur exécutif de la revue European Journal of Combinatorics.

Parmi les distinctions obtenues par les membres de l'équipe, on notera que Xavier Goaoc a été nommé membre junior de l'Institut Universitaire de France (IUF) en 2014 et que Maxime Crochemore est devenu docteur *Honoris causa* de l'Université de Helsinki en 2013.

L'équipe a reçu trois prix du meilleur article (EGC et SoCG x2) et deux prix du meilleur article étudiant (CSR et ICALP). On notera également que Claire David a reçu le prestigieux *test of time award* à PODS 2016 pour l'article PODS 2006 *Two-Variable Logic on Data Tree and XML Reasoning* écrit en collaboration avec Mikolaj Bojanczyk, Anca Muscholl, Thomas Schwentick et Luc Segoufin.

11.1.5 Formation par la recherche

Les membres de l'équipe interviennent naturellement dans le Master mention Informatique de l'UPEM dans deux des quatre parcours types (*Informatique Fondamentale* et *Logiciel*). Ce master est la principale source locale pour recruter des étudiants en thèse.

Xavier Goaoc, responsable du Master Mention Informatique de l'IGM, a initié une évolution du parcours type *Informatique Fondamentale* (effective dès la rentrée 2018-2019) vers un parcours type entièrement mutualisé et commun aux masters mention Informatique et mention Mathématiques et Applications. Les cours seront assurés conjointement avec nos collègues mathématiciens et s'adresseront à des étudiants en mathématiques et en informatique.

Nous intervenons aussi dans d'autres formations de master susceptibles d'amener des étudiants aux sensibilités proches de nos thématiques de recherches. Ainsi Éric Colin de Verdière, Philippe

Gambette, Gregory Kucherov, Anthony Labarre, Cyril Nicaud et Stéphane Vialette sont responsables de trois cours au Master Parisien de Recherche en Informatique (MPRI). Didier Caucal intervient au Master Logique Mathématique et Fondements de l'Informatique (LMFI) Paris Diderot depuis 2015. Enfin Arnaud Carayol a donné un cours au Master Informatique (ENS Lyon) entre 2014 et 2016.

De manière plus ponctuelle, les membres de l'équipe MoA donnent des cours doctoraux à l'étranger comme par exemple Cyril Nicaud et Carine Pivoteau à l'école CIMPA ² organisée à Madagascar en 2016 ou Éric Laporte à l'Université Fédérale du Rio Grande du Sud (Brésil).

L'équipe MoA est aussi très mobilisée autour de la question de la formation doctorale. Cyril Nicaud est membre du conseil de l'école doctorale MSTIC. Philipe Gambette est membre du conseil académique et du conseil de formation doctorale d'UPE depuis 2016 et membre du CA de l'Association nationale des docteurs depuis 2013. Enfin, Éric Laporte est responsable des comités de suivi doctoral mis en place depuis 2017.

Les membres de l'équipe MoA ont organisé plusieurs écoles de formation.

- Journées ALEA³, mars 2014,
- École de printemps d'informatique théorique "algorithmique pour la bioinformatique" ⁴, mai 2014,
- École d'hiver sur les aspects combinatoire et algorithmique de la convexité⁵, janvier 2015,
- École d'été sur les aspects discrets et algorithmiques de la géométrie de basse dimension ⁶,
 IHP, juin 2018.

11.2 Produits et activités de recherche

L'équipe Modèles et Algorithmes (MoA) est articulée autour de 3 thèmes de recherche :

- Automates et logique (11 permanents en juin 2018),
- Algorithmique (15 permanents en juin 2018),
- Linguistique pour le traitement automatique des langues (3 permanents en juin 2018).

Par souci de lisibilité, le bilan scientifique de l'équipe est présenté suivant ces trois thèmes.

11.2.1 Bilan scientifique - Automates et logique

M.-P. Béal, A. Carayol, D. Caucal, O. Curé, C. David, N. Francis, V. Jugé, A. Meyer, D. Perrin, G. Rindone et C. Rispal.

Un des thèmes fédérateurs de l'équipe MoA regroupe les travaux se basant sur la théorie des automates, la logique et la théorie des modèles finis ou infinis.

11.2.1.1 Bases de données

O. Curé, C. David et N. Francis.

Ce groupe travaille à la fois sur les aspects théoriques et pratiques des bases de données. Il s'intéresse particulièrement aux problèmes liés aux graphes de données et aux bases de données incomplètes.

Claire David et Nadime Francis ont travaillé sur des questions de décidabilité et de complexité de problèmes liés à l'échange de données et la cohérence de contraintes pour des données semi-structurées de type graphes et arbres [MC16] et [MJ15]. Leurs principaux collaborateurs sont Leonid Libkin (Univ Edinburgh UK) et Filip Murlak (Univ Warsaw PL).

^{2.} http://cimpa-madagascar.org/

^{3.} http://gt-alea.math.cnrs.fr/alea2014/

^{4.} http://igm.univ-mlv.fr/AlgoB/EPIT2014

^{5.} http://wiki-math.univ-mlv.fr/gemecod/doku.php/winterschool2015)

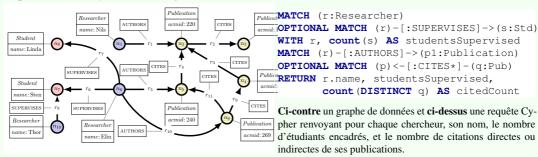
^{6.} http://geomschool2018.univ-mlv.fr/

En collaboration avec l'entreprise Neo4j et ses collègues d'Édimbourg, Nadime Francis a également participé au développement de la sémantique formelle du langage de requêtes Cypher pour les graphes de données [MC20].

Avec ses doctorants, et ses collaborateurs, Olivier Curé a mené des travaux sur la gestion de bases de connaissances représentées sous la forme de graphes DAG (RDF). Ces recherches concernent la distribution du stockage et du requêtage de grands graphes ainsi que les capacités à inférer depuis des schémas sémantiquement riches. Il a également travaillé sur l'optimisation de l'exécution de requêtes et l'intégration d'inférences dans la cadre de la gestion de flux de données [MC15, MD20]. Ces travaux ont de forts liens avec l'industrie par le biais de trois thèses CIFRE avec les entreprises Atos et GeolSemantics.

Sémantique formelle de Cypher [MC20]

En partenariat avec Neo Technology, leader du marché des bases de données graphes, nous avons établi une sémantique dénotationnelle du noyau en lecture de Cypher, le langage de requête de leur système Neo4j.



Une telle sémantique, c'est-à-dire une formalisation mathématique rigoureuse du comportement attendu d'une requête écrite en Cypher, est importante tant d'un point de vue industriel qu'académique. Cela permet en effet d'établir un standard unique permettant la compatibilité des implémentations de Cypher et d'y détecter d'éventuelles erreurs ou oublis en distinguant clairement les choix conceptuels des effets de bords dûs à l'implémentation. Cela fournit également une base saine pour maintenir le système, en étudier les propriétés théoriques, faciliter l'ajout de fonctionnalités et mettre en évidence les possibilités d'optimisation.

L'absence d'une sémantique formelle pour SQL se fait fortement sentir dans le cas des systèmes relationnels où l'on observe l'existence d'implémentations divergentes et où la majorité des études théoriques se basent sur l'algèbre relationnelle dont la sémantique ne correspond à aucune de ces implémentations.

11.2.1.2 Théorie algorithmique des modèles infinis

A. Carayol, D. Caucal, V. Jugé, A. Meyer et C. Rispal.

Le thème central de ce groupe est l'étude des objets de l'informatique fondamentale par le prisme des structures infinies qu'ils définissent : graphes de calculs, arbres d'appels de programmes récursifs, graphes de Cayley,.... Bien que de nature fondamentale, ces travaux trouvent des applications naturelles en vérification. Ainsi Arnaud Carayol et Matthew Hague ont développé C-SHORe ⁷ un *Model-checker* de programmes fonctionnels d'ordre supérieur.

Dans le cadre du projet PANO, Didier Caucal a introduit une généralisation des nombres automatiques basée sur les arbres définis par des automates à pile déterministes. Avec Chloé Rispal, ils ont généralisé la classe des langages *visibly pushdown* introduite par Rajeev Alur. Leur généralisation exploite la richesse de la structure des graphes infinis définis par les automates à pile et permet d'étendre la notion à l'ordre supérieur [MC11]. Les langages *visibly pushdown* joue un

^{7.} http://cshore.cs.rhul.ac.uk/#Home

rôle important en vérification et leur généralisation à l'ordre supérieur n'avait jusque là produit que des résultats négatifs. Antoine Meyer a étudié un extension avec comptage des logiques temporelles [MJ26].

Arnaud Carayol a étendu le modèle classique d'automate pour les arbres infinis en incorporant des aspects quantitatifs (version probabiliste, topologique,...) et introduit un cadre général permettant de conserver la correspondance entre automates et jeux [MC10]. Il a en particulier établi la décidabilité du problème du vide pour les automates d'arbres avec condition de parité enrichis avec la possibilité de tester l'égalité entre les sous-arbres frères [MC9]. Dans le cas des arbres finis, ce type d'automates a servi à résoudre une question ouverte depuis longtemps sur les homomorphismes d'arbres.

Longs mots évitant l'inévitable

Le problème de l'équivalence des automates à pile déterministes, qui consiste à décider si deux tels automates acceptent le même langage, joue un rôle crucial en vérification car il capture l'équivalence syntaxique des programmes récursifs. La terminaison du meilleur algorithme connu pour ce problème repose sur un théorème classique de combinatoire garantissant l'apparition de motifs, appelés les motifs de Zimin, dans tout mot suffisamment long.

$$Z_1 = x_1$$
, $Z_2 = x_2x_1x_2$, $Z_3 = x_3x_2x_1x_2x_3x_2x_1x_2$, ... $Z_{n+1} = Z_nx_{n+1}Z_n$.

Un mot correspond au n-ième motif de Zimin Z_n si il est obtenu en remplaçant les symboles x_i par des mots non-vides.

L'étude précise de la complexité de l'algorithme d'équivalence fait intervenir la plus grande taille $\ell_{k,n}$ d'un mot sur un alphabet à k lettres qui ne contienne pas le n-ième motif de Zimin Z_n . Jusqu'à très récemment, la meilleur borne inférieure connue pour la quantité $\ell_{k,m}$ était doublement exponentielle en k et m. Dans [MC8], Arnaud Carayol et Stefan Goeller ont montré que pour toute taille d'alphabet $k \ge 2$ et pour tout $n \ge 4$, on peut construire un mot sur un alphabet à k lettres dont la taille est une tour d'exponentielles de hauteur n-2 qui évite le n-ième motif de Zimin.

Depuis son arrivée récente, Vincent Jugé a travaillé sur la vérification de systèmes dynamiques temporisés. Il a en particulier utilisé la logique au second-ordre monadique pour résoudre le problème du vide pour des sous-classes de systèmes temporisés.

11.2.1.3 Systèmes dynamiques

M.-P. Béal, D. Perrin, G. Rindone.

Marie-Pierre Béal, Dominique Perrin et Giuseppina Rindone ont travaillé sur plusieurs sujets liés au codage, à la dynamique symbolique et aux automates.

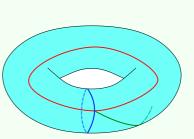
Les systèmes dynamiques symboliques minimaux font l'objet de nombreuses années d'une collaboration avec un groupe associant entre autres Valérie Berthé (IRIF), Clelia De Felice (Salerno), Julien Leroy (Liège) et Christophe Reutenauer (UQAM). Nous avons mis en évidence [MD5] une nouvelle classe de shifts minimaux de complexité linéaire (tree sets). Cette classe, définie par la propriété du graphe d'extension des mots d'être un arbre, apparait comme une généralisation naturelle commune des systèmes Sturmiens (aussi nommés Arnoux-Rauzy) et des échanges d'intervalles. Nous avons aussi établi un lien naturel entre certains shifts minimaux et des groupes discrets. Nous avons en particulier montré que le groupe engendré par les mots de retour dans un tree set est un groupe libre. Enfin, nous avons mis en évidence, dans [MJ6], un lien entre ces shifts et des codages de transformations sur des surfaces (voir encart). Nous avons utilisé ces représentations pour donner une interprétation du groupe engendré par les mots de retour comme le groupe fondamental d'une surface.

Marie-Pierre Béal a étudié les Dyck shifts qui sont issus des travaux de Wolfgang Krieger et qu'elle a caractérisés par leurs liens avec les visibly pushdown automata de Rajeev Alur [MD3].

Le groupe a aussi poursuivi ses thèmes traditionnels sur les problèmes liés à la synchronisation des automates : conjecture de Černý , road coloring problem (algorithme quadratique pour le road coloring), automates réversibles (lien avec les représentations complètement réductibles des séries rationnelles) [MJ4]. De la même façon, Dominique Perrin avec Christophe Reutenauer a continué à travailler sur la théorie des codes à longueur variable, en particulier, sur le lien entre codes comma-free et bases de Hall. Un nouvel algorithme de construction de codes comma-free maximaux [MJ30] a été obtenu comme extension de la présentation de Knuth des codes comma-free. Ces travaux ont été en partie effectués dans le cadre du contrat ANR Eginocs (2013-2016).

Groupes discrets et systèmes dynamiques symboliques

[MD5] Nous avons découvert une propriété d'une classe de systèmes dynamiques symboliques minimaux qui fait apparaître naturellement des bases du groupe libre. Ces bases sont formées par l'ensemble des mots de retour sur un mot donné. Cela fournit une interprétation du fait que ces ensembles de mots de retour sont toujours en nombre fixe. Nous avons aussi pu donner, dans certains cas, une interprétation géométrique de ces groupes libres à partir La surface associée au système du groupe fondamental d'une surface associée au système dynamique. Dans le cas d'un système correspondant au codage d'une rotation cette surface est un tore avec un trou.



engendré par une rotation.

Bilan scientifique - Algorithmique

G. Blin, L. Bulteau, É. Colin de Verdière, M. Crochemore, I. Fagnot, P. Gambette, X. Goaoc, A. Hubard, G. Kucherov, A. Labarre, C. Nicaud, C. Pivoteau, D. Revuz, J. Thapper, S. Vialette et M. Weller.

Le thème Algorithmique de l'équipe MoA recouvre l'analyse d'algorithmes, la géométrie algorithmique et combinatoire, l'algorithmique pour la bioinformatique, l'algorithmique du texte et l'algorithmique des graphes.

11.2.2.1 Analyse d'algorithmes

C. Nicaud et C. Pivoteau.

L'analyse d'algorithme est un domaine qui cherche à décrire finement les comportements des algorithmes dans les cas typiques, en mettant de l'aléa sur les entrées. Les travaux de Carine Pivoteau et Cyril Nicaud entrent majoritairement dans ce cadre, ainsi que des collaborations récentes avec Vincent Jugé qui vient d'être recruté et avec Philippe Duchon (LaBRI) qui a passé une année de délégation CNRS dans le groupe. Ces dernières années, ce petit groupe s'est focalisé sur plusieurs axes. Le premier est de renforcer la pertinence des analyses en intégrant des éléments d'architecture des ordinateurs dans les modèles théoriques étudiés; nous avons notamment proposé des alternatives plus efficaces à des algorithmes élémentaires (dichotomie,...) basées sur la compréhension des mécanismes de prédiction de branchements [MD1]. Toujours dans l'idée de mettre la théorie au service de la pratique, nous avons étudié en détail la complexité de l'algorithme de tri TimSort qui est utilisé dans Python, Java, ... En lien avec l'algorithmique du texte et la bio-informatique, nous avons également contribué à mieux comprendre les propriétés statistiques des textes aléatoires, et ainsi de la complexité en moyenne des algorithmes qui les manipulent [MC18, MC17]. Cyril Nicaud a également continué son travail de fond à l'interface entre les mathématiques et l'informatique sur les groupes aléatoires [MJ3] et sur les automates aléatoires [MC26].

Analyse de la prédiction de branchement

Lors de l'exécution d'un programme, les instructions sont découpées en plusieurs étapes. Ainsi, le processeur peut commencer à exécuter une instruction avant que la précédente soit terminée. En cas d'instruction conditionnelle (if, while, ...), si le processeur n'a pas le résultat de la condition, il ne sait pas qu'elle est l'instruction suivante : il y a un *branchement*. Pour essayer de pallier à ce problème, les processeurs modernes intègrent des mécanismes dynamiques de prédiction de branchement, pour tenter d'anticiper quelle branche va être sélectionnée. Cela produit un net gain en performance si les prédictions sont bonnes, mais un ralentissement si elle sont erronées car il faut "défaire" ce qui a été commencé.

Dans la littérature, il y a plusieurs analyses empiriques des performances d'algorithmes élémentaires (comme les tris) et quelques études théoriques qui intègrent ces mécanismes. Dans [MD1], nous proposons une approche théorique différente en intégrant les prédicteurs dès la conception des algorithmes. Nous montrons par exemple qu'il peut être plus efficace de ne pas couper au milieu dans la dichotomie, mais au quart, pour faciliter le travail de prédiction; cette étude est validée en pratique par des gains de performance en C et en Java sur des types primitifs.

11.2.2.2 Géométrie algorithmique et combinatoire

É. Colin de Verdière, X. Goaoc, A. Hubard.

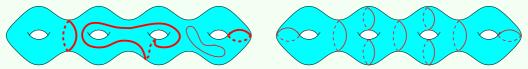
Un groupe spécialisé en géométrie algorithmique et combinatoire s'est récemment constitué au sein de l'équipe MoA avec les arrivées de Xavier Goaoc (recruté PU en septembre 2013), puis d'Alfredo Hubard (postdoc en 2013-2014 puis recruté MdC en septembre 2016) et d'Éric Colin de Verdière (arrivé suite à une promotion DR CNRS en octobre 2016).

Une direction de recherche fédératrice est l'étude des graphes sur les surfaces (est leurs généralisations en dimensions supérieures, les complexes simpliciaux dans les variétés. Cela implique des aspects géométriques (comparaison avec des métriques riemanniennes [MJ12], structures algébriques et géométrie tropicale, analyse de motifs d'intersection d'objets géométriques via leurs complexes simpliciaux d'intersection [MJ11], analyse de polytopes convexes et de ses ombres), topologiques (longueurs de certaines décompositions topologiques et rapport à la théorie des mineurs de graphes, théorie homologique des plongements, min-max du nombre de singularités et nombres de croisements d'un complexe dans une variété de même dimension), et algorithmiques (algorithmes sur des graphes paramétrés par le genre de la surface dans laquelle ils se plongent [MC12], calcul ou complexité de décompositions topologiques comme les shellings [MC23], algorithmique des surfaces normales plongées dans les 3-variétés [MC13]).

D'autres directions de recherche sont développées par une ou plusieurs personnes, parmi lesquelles l'analyse de structures géométriques aléatoires [MJ17], la géométrie des incidences [MC5], des questions d'équipartition ou d'isopérimétrie, . . .

Inégalités systoliques, cadres discrets et continus

La systole d'une surface S est la longueur de la plus courte courbe fermée non contractile. La figure de gauche montre une courbe contractile (en traits fins) et des courbes non contractiles (en traits épais) d'une surface de genre 4 (à 4 poignées). Une notion importante en géométrie, développée par Gromov depuis 1980, est celle d'inégalité systolique : une borne supérieure sur la systole en fonction du genre et de l'aire de S. Elle a un analogue combinatoire : la largeur en arêtes (edge-width) d'une surface triangulée S est le nombre d'arêtes d'un plus court circuit non contractile sur le graphe sommets-arêtes de S. Ce concept est central en théorie topologique des graphes, utilisé en particulier dans la théorie de Robertson et Seymour et dans l'algorithmique des graphes plongeables sur une surface donnée.



Dans un article [MJ12], Éric Colin de Verdière et Alfredo Hubard relient ces deux cadres et résolvent au passage une conjecture de 1993 : La largeur en arêtes d'une surface de genre g à n triangles est $O(\sqrt{n/g}\log g)$, ce qui est optimal. Ils s'intéressent ensuite au découpage d'une surface en éléments topologiquement simples (par exemple aux décompositions en pantalons, voir la figure, à droite), et montrent des bornes inférieures et supérieures sur la longueur nécessaire à la découpe, en s'inspirant du cas riemannien et en utilisant des cartes aléatoires. Ils donnent aussi un algorithme efficace pour calculer des décompositions en pantalons courtes, et généralisent certains de ces résultats à la dimension supérieure.

11.2.2.3 Algorithmique pour la bioinformatique

L. Bulteau, P. Gambette, G. Kucherov, A. Labarre, S. Vialette et M. Weller.

L'équipe MoA mène des recherches en algorithmique pour la bioinformatique centrées sur le séquençage haut débit, la phylogénie, la protonthérapie et la génomique comparative.

Séquençage haut débit. Dans le cadre du projet national ABS4NGS ("Investissement d'avenir"), nous avons mené plusieurs projets sur les méthodes de traitement des données de Séquençage Haut Débit (SHD). Nous avons étudié une approche nouvelle au problème de localisation de reads, appelée la localisation dynamique (dynamic mapping). Ce travail a donné lieu au logiciel expérimental DyMaS, ainsi qu'au logiciel Ococo destiné au calcul à la volée du consensus lors de la procédure de localisation (article en cours de soumission). Pour analyser la performance de méthodes de localisation de reads d'une façon systématique, nous avons proposé un format RNF (Read Naming Format) pour les reads simulés [MJ7], accompagné d'une suite logicielle, dénommée RNFTOOLS.

Nous avons également amélioré les méthodes de localisation de reads [MD14] et de calcul d'un graphe de chevauchement de reads [MC25] dans le cadre exact. Depuis 2014, nous travaillons sur un logiciel de classification métagénomique de données SHD dénommé PROPHYLE, avec une approche dite sans alignement.

Phylogénie. Nous étudions des problèmes combinatoires permettant de déterminer si un arbre phylogénétique est contenu dans un réseau phylogénétique fourni en entrée (TREE CONTAINMENT). Ce problème apparaît naturellement dans la comparaison de données d'évolution provenant de sources variées, lors de l'exploration d'un espace d'arbres ou de réseaux, par exemple dans des heuristiques de reconstruction de réseaux à partir de distances génétiques. Nous avons proposé des algorithmes polynomiaux basés sur de nouvelles décompositions des réseaux [MC21] ainsi que des algorithmes paramétrés, qui utilisent un nouveau paramètre intéressant en pratique, qui se compare avantageusement à d'autres paramètres usuels (comme le "niveau", précédemment utilisé

pour résoudre de nombreux problèmes de réseaux phylogénétiques). Une partie de ces résultats a été obtenue dans le cadre d'un projet PHC Merlion 2014-2015 en collaboration avec Louxin Zhang et Andreas Gunawan de la National University of Singapore. Nous avons également obtenu des résultats sur la complexité du problème si les longueurs de branche sont connues [MJ19]. Récemment, nous avons intégré l'incertitude dans le modèle d'évolution [MC4].

Dégrafement. L'idée clé de notre algorithme linéaire [MC29] consiste à *dégrafer* les sommets hybrides (voir images ci-contre), et résoudre le problème qui en résulte, où *N* devient un arbre dont les feuilles peuvent partager une même étiquette (un arbre "multi-étiqueté"). Pour ce cas, nous avons développé un algorithme efficace fondé sur la programmation dynamique. Nous travaillons actuellement à une implémentation pour tester si la supériorité du point de

vue de la complexité théorique se vérifie aussi en pratique.

Des recherches sur d'autres problèmes combinatoires sur les réseaux phylogénétiques ont été menées [MJ25, MJ18], et nous avons mis en place plusieurs outils logiciels ⁸, ainsi qu'une base

de données sur les inclusions de classes de réseaux phylogénétiques 9. Nos travaux sur TREE

CONTAINMENT ont également conduit à des actions de diffusion des connaissances, notamment lors de la Fête de la Science à l'UPEM, en 2016 et en 2017 ¹⁰.

Protonthérapie. Durant la thèse de Paul Morel (co-tutelle avec The University of Iowa, USA) financée par l'ANR BIRDS (Réseaux biologiques, Radiothérapie et Structures), nous avons étudié des problèmes algorithmiques liés aux traitements des tumeurs cancéreuses par protonthérapie. En particulier, nous avons développé un nouveau simulateur open source 4D MSPT (Motion Simulator for Proton Therapy) pour évaluer durant le traitement l'impact des mouvements spontanés d'un patient (battements du cœur, respiration, ...) sur les doses réellement reçues par les différents organes à proximité de la tumeur [MD17]. Des études théoriques et simulées ont également été proposées.

Génomique comparative. Nous menons des recherches en génomique comparative et en particulier sur le calcul de différentes distances d'évolution. Pour la distance d'inversion (probablement la distance d'évolution la plus classique), nous avons proposé un algorithme permettant de la calculer efficacement si les gènes ne sont ni signés ni dupliqués et un algorithme paramétré (FPT) si les gènes sont dupliqués [MJ8]. La distance *double-cut and join* (DCJ) est très largement utilisée aujourd'hui, et nous avons proposé un algorithme basé sur les distances intergéniques permettant de calculer un ensemble restreint de scénarios d'évolution probables, et ce avec la même complexité que l'algorithme de DCJ original [MJ9].

En collaboration avec Simona Grusea (INSA Toulouse), nous avons introduit et utilisé une bijection entre le groupe symétrique et les factorisations d'un cycle de longueur n+1. Ces recherches ont conduit à une méthode générique pour minorer toute distance d'édition entre permutations [MJ24] et énumérer toutes les permutations signées ou non dont le *breakpoint graph* associé contient un nombre de cycles fixé [MJ20]. Enfin, en collaboration avec Carlo Comin et Romeo Rizzi (Université de Vérone, Italie), nous avons proposé un modèle plus réaliste et un algorithme pour la recherche de scénarios d'évolution intégrant la connaissance d'ancêtres interdits car non viables biologiquement [MC14].

11.2.2.4 Algorithmique des structures combinatoires

L. Bulteau, M. Crochemore, I. Fagnot, G. Kucherov, A. Labarre et S. Vialette.

^{8.} http://phylnet.univ-mlv.fr/tools/

^{9.} http://phylnet.univ-mlv.fr/isiphync/

^{10.} http://igm.univ-mlv.fr/~gambette/EnsVulgarisation.php

Algorithmique du texte. L'algorithmique du texte a été marquée ces dernières années par la preuve positive par Bannai et al. (2014) d'une conjecture de Kolpakov et Kucherov (1999) sur les périodicités maximales apparaissant dans les séquences. La preuve est basée sur un concept sur les périodicités cubiques introduit par Crochemore et al. (2012). Les recherches se sont poursuivies pour évaluer la densité de tels motifs [MJ14], et les bornes sur des motifs partiellement répétitifs [MJ2], mais surtout pour développer des algorithmes plus généraux concernant des motifs approchés [MJ1] ou des alphabets non bornés.

Mise à jour en temps réel d'un index pour la recherche de motifs. La recherche d'un motif dans un texte (pattern matching) est une question algorithmique classique, sujet d'une multitude de travaux. Une version importante du problème considère que le texte arrive online, d'un flot de caractères, et nous devons pouvoir à tout moment localiser toutes les occurrences d'un motif arbitraire P présenté en requête. La question consiste donc à proposer une structure d'indexation du texte qui d'une part, supporterait la localisation en temps O(|P| + occ) (occ le nombre d'occurrences) et d'autre part, pourrait être mise à jour rapidement, idéalement en temps réel, c'est-à-dire en temps constant par caractère. Cette question fondamentale remonte aux premiers travaux dans le domaine du pattern matching à la fin des années 70 - début 80 (Slisenko, Galil). Depuis, quelques variantes du problème ont été étudiées, avec des résultats partiels obtenus, mais le problème dans sa généralité restait ouvert. Notons que l'arbre des suffixes à lui seul ne peut probablement pas fournir une solution : on conjecture que la mise à jour en temps réel de l'arbre des suffixes n'est pas possible.

Dans l'article [MJ21], nous avons résolu cette question en démontrant qu'une telle structure existe. La construction est basée sur l'arbre des suffixes mais elle est beaucoup plus complexe : notre approche se compose de plusieurs structures différentes, chacune supportant la recherche des motifs de certaines tailles.

Les études ont permis d'introduire de nouvelles méthodes adaptées à des données bruitées en génomique pour indexer des "reads" (fragments d'ADN utilisés lors du séquençage) et pour construire de phylogénies et pour identifier des motifs à partir d'information absente.

Une bonne partie des méthodes sous-jacentes utilise des algorithmes d'indexation de texte qui ont été généralisées à des séquences numériques. Elles sont aussi liées à des méthodes de compression pour lesquelles nous avons introduit de nouveaux outils comme le calcul efficace d'une occurrence précédente des motifs ou celui de la transformée de Burrows-Wheeler au moyen d'un algorithme économe en espace mémoire [MJ13].

Nous avons également étudié la reconnaissance des mots qui sont des carrés au sens du produit de mélange Ш (un opérateur bien connu en combinatoire des mots). Nous avons proposé une nouvelle modélisation basée sur des couplages parfaits sans inclusion dans des graphes permettant de prouver la NP-complétude du problème [MC28]. Poursuivant cette approche, nous avons étudié la reconnaissance des permutations qui sont des carrés au sens du produit de mélange (une permutation est un carré au sens du produit de mélange si elle est l'union disjointe de deux motifs ordre-isomorphes). Nous avons proposé une nouvelle modélisation basée sur des couplages orientés contraints à motifs exclus permettant de prouver la difficulté du problème [MC22].

Algorithmique des graphes. Nous avons étudié des problèmes essentiellement théoriques de décomposition de graphes, où la question est de partitionner les arêtes d'un graphe avec des contraintes de taille des parties et de connexité. Nous avons fourni une classification de la complexité du problème dans le cadre des sous-graphes de taille 3, en proposant des algorithmes polynomiaux ou des preuves de difficultés, en fonction des contraintes considérées [MC6].

En partenariat avec le groupe de Rolf Niedermeier à Berlin, nous avons également étudié un problème voisin de découpage de graphes, où il s'agit de partitionner les sommets d'un graphe

avec de nouvelles contraintes (obtenir des étoiles ou chemins). Nous avons également dressé une dichotomie entre les cas traitables en temps polynomial et les cas NP-difficiles [MJ34].

Dans l'ouvrage *Combinatorics, Geometry and Probability : A Tribute to Paul Erdös*, H. Wilf posait le problème suivant : Soit *A* une matrice carrée. Existe-t-il une permutation *P* de ses lignes et une permutation *Q* de ses colonnes de sorte que la matrice *PAQ* soit triangulaire? Un résultat préliminaire a été publié par DasGupta *et al.*, Discrete Applied Mathematics, en 1998. Dans [MC19], nous montrons que la preuve proposée par DasGupta *et al.* est erronée et prouvons que le problème est NP-complet.

Satisfaction de contraintes. Le problème de satisfaction de contraintes pondéré (VCSP) est un cadre général pour étudier la complexité des problèmes d'optimisation discrète. Dans deux articles [MJ32] et [MJ33], nous avons déterminé l'efficacité de certaines relaxations de programmation mathématique pour optimiser ce type de problèmes de manière exacte en temps polynomial. En particulier, nous avons démontré que chaque problème est soit résolu par le troisième niveau de la hiérarchie de Sherali-Adams, soit n'admet aucune représentation de taille polynomiale comme un programme linéaire ou semi-défini.

11.2.3 Bilan scientifique - Linguistique pour le traitement automatique des langues

M. Constant, J.-P. Heymann, P.T. Kyriacopoulou, É. Laporte et T. Nakamura.

Le thème Linguistique pour le traitement automatique des langues recouvre

- des activités de description syntaxique et sémantique,
- la production de bases de données lexicales et grammaticales,
- des applications de celles-ci au traitement automatique des langues.

VerbNet. Nous avons contribué au développement du VerbNet du français à partir du modèle du VerbNet de l'anglais, avec description des principales constructions syntaxiques des verbes et assignation des rôles thématiques aux arguments. Nous avons utilisé au maximum les ressources lexicales existantes du français. Le résultat de ce travail a une couverture quasiment équivalente à celle du VerbNet de l'anglais et encode les mêmes informations syntaxiques et sémantiques.

11.2.3.1 Description syntaxique et sémantique

La partie la plus en amont de ce thème aborde la description de constructions syntaxiques du français, ainsi que de propriétés syntaxiques et sémantiques d'entrées lexicales du français [MJ16], et l'utilisation de telles propriétés dans des arbres de décision. Cette recherche nous amène à publier sur les méthodes d'investigation dans ce domaine et sur les modes de représentation des résultats [MJ28].

11.2.3.2 Production de bases de données lexicales et grammaticales

Unitex/GramLab ¹¹ est une suite logicielle libre, multiplateforme, multilingue, fondée sur des dictionnaires et des grammaires pour l'analyse de corpus qui est développée par notre équipe et qui est enrichie par de nombreuses équipes à travers le monde.

Nous avons produit et étendu sur la plate-forme Unitex/GramLab :

- des bases lexicales de termes, par extraction à partir de corpus spécialisés,
- des bases lexicales avec informations morphosyntaxiques [MJ29]; un travail de ce type sur le chinois est en cours (non publié).

^{11.} http://unitexgramlab.org/fr

Notre contribution au projet Parseme-FR (2016-2018, ANR), porté par Matthieu Constant, inclut l'extension de bases de données d'expressions polylexicales. Par ailleurs, nous avons converti dans le format standard LMF une base lexicale avec informations syntaxiques et sémantiques. L'ensemble de ces activités nous amène à nous exprimer sur l'articulation entre ressources construites par les linguistes et applications informatiques, et sur les critères de qualité de ces ressources.

11.2.3.3 Analyse syntaxique probabiliste

Nous avons incorporé des bases de données lexicales et grammaticales à des analyseurs syntaxiques probabilistes entrainés sur des corpus annotés, et obtenu de meilleures performances sur les expressions polylexicales [MC7] et les entités nommées, à la fois en analyse syntaxique profonde et en analyse syntaxique de surface.

11.2.3.4 Extraction d'informations

La plupart de nos travaux d'extraction d'informations utilisent la plate-forme Unitex/ GramLab, pour laquelle nous développons du logiciel. Le programme Google Summer of Code a apporté un soutien financier à ce développement en 2016. La thèse de Cristian Martinez et le projet Cixplorer ont abordé l'extraction de citations contenues dans des textes scientifiques et techniques. Nous mettons au point des méthodes d'extraction orientées vers d'autres cibles spécifiques : entités nommées dans des corpus alignés [MC24], expressions polylexicales [MJ23], expressions d'opinion, et ce dans plusieurs langues. Ces activités ont donné lieu à plusieurs projets collaboratifs en particuliers 2 PEPS et 2 Super-BQR.

11.2.4 Données chiffrées

| MoA | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Total |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Journaux | 26 | 23 | 22 | 30 | 29 | 18 | 148 |
| Actes de conférences | 39 | 29 | 26 | 30 | 21 | 19 | 164 |
| Ouvrages | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 |
| Direction d'ouvrages | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| Chapitres d'ouvrages | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 2 | 5 |

11.2.5 Logiciels

Durant la période évaluée, un effort considérable a été produit pour améliorer le développement et la diffusion de logiciels au sein de l'équipe MoA. Les membres de l'équipe ont ainsi développé plus d'une quinzaine de logiciels dont le code source est librement disponible.

Unitex/GramLab ¹² est une suite logicielle libre, multiplateforme, multilingue, fondée sur des dictionnaires et des grammaires pour l'analyse de corpus. (LGPL). Le développement logiciel Unitex/GramLab est actuellement coordonné par Cristian Martinez. Environ 10 développeurs collaborent au logiciel. Le forum des utilisateurs recense 171 membres. Il est en diffusion gratuite sous licence libre LGPL depuis 2002. Cette plateforme a été abondamment enrichie pendant le quinquennal.

ProPhyle ¹³ est un logiciel de classification métagénomique de données de séquençage de génomes entiers. Il est le fruit de plusieurs années de travail et a fait partie de deux thèses soutenues dans la période de référence : celles de Karel Brinda (actuellement postdoc à l'Université de Harvard) et Kamil Salikhov. Bien que le logiciel continue à se développer, il est déjà utilisé dans

^{12.} http://unitexgramlab.org/fr

^{13.} https://prophyle.github.io/

plusieurs projets, à l'Université de Harvard et ailleurs. Il a également été utilisé dans le projet PEPS commun avec l'Institut Mondor de Recherche Biomédicale à l'Université Paris-Est Créteil.

NewtonGF ¹⁴ est une bibliothèque de calcul symbolique et numérique développée pour le logiciel de calcul formel Maple entre 2012 et 2018 par Carine Pivoteau et Bruno Salvy. Elle permet d'évaluer les séries génératrices de systèmes combinatoires à très grande précision en un temps quasi-optimal, et fournit ainsi les éléments indispensables à la mise en oeuvre des méthodes de génération aléatoire automatiques proposées par Flajolet et. al. Son efficacité en fait un outil de choix pour l'étude des objets combinatoires comme l'ont déjà mis en évidence N. Bonichon, M. Bousquet-Mélou, P. Dorbec et C. Pennarun dans leur travail sur les orientations planaires eulériennes. Enfin, cette bibliothèque fournit également le matériel nécessaire à l'aboutissement d'un autre projet d'envergure : l'analyse asymptotique automatique des systèmes combinatoires (travail en cours).

11.2.6 Activité contractuelle

Gregory Kucherov est *Principal Investigator* (PI) pour le projet d'Investissement d'avenir ABS4NGS cordonné par l'Institut Curie (2012 - 2017), 2M€ total.

Les membres de l'équipe MoA sont impliqués de façon significative dans 10 projets ANR. Parmi ces projets, trois sont portés par des membres du laboratoire.

- ANR PRC Aspag (2018-) Xavier Goaoc (coordinateur local), 393k€ au total
- ANR JCJC AMIS (2011-2014)Arnaud Carayol (porteur), Antoine Meyer et Chloé Rispal, 110k€
- ANR JCJC BIRDS (2011-2015) Guillaume Blin (porteur), Isabelle Fagnot, Stéphane Vialette, 160K€

L'équipe a aussi obtenu six PEPS, quatre PHC (avec la Suisse, la République Tchèque, Singapour et l'Allemagne), deux *Super BQR* ¹⁵ et un PICS.

11.2.7 Faits marquants scientifiques

- Un résultat marquant présenté dans [MJ31] porte sur la représentation de graphes de de Bruijn, une structure de stockage de reads pour l'assemblage de génomes. Nous avons proposé une méthode qui permet de réduire de l'ordre de 40% par rapport aux meilleures implémentations existantes la mémoire requise pour stocker les graphes de de Bruijn. Cette solution a été implémentée dans le logiciel MINIA ¹⁶ développé à l'IRISA Rennes.
- Arnaud Carayol en collaboration avec Stefan Goeller a obtenu la première borne inférieure non-élémentaire sur la taille d'apparition des facteurs de Zimin. Ce résultat de combinatoire des mots a été obtenu en utilisant une construction classique en vérification.
- Bien que récemment constitué, le groupe *Géométrie algorithmique et combinatoire* a acquis une reconnaissance nationale et internationale. Leurs résultats sont publiés dans les conférences et journaux phares de la géométrie algorithmique (SoCG, Discrete & Computational Geometry) et dans une moindre mesure de l'algorithmique (SoDA, SIAM J. on Computing, J. Graph Algorithms and Applications) et des mathématiques discrètes (Combinatorics Probability and Computing) et générales (Advances in Math., Transactions of the AMS, Israel J. of Math, . . .). De plus, ils ont rédigé un chapitre de présentation de l'état de l'art [MS1] (un second écrit en collaboration avec Nabil Mustafa de l'équipe A3SI est accepté sous conditions). Ces activités ont été soutenues par plusieurs projets, notamment l'ANR blanc Présage (coordonné par Xavier Goaoc) et le PHC Embeds avec la République Tchèque (accepté en 2015, renouvelé en 2017).

^{14.} http://perso.ens-lyon.fr/bruno.salvy/software/the-newtongf-package/

^{15.} Le Super BQR est un programme de soutien renforcé à la recherche sur projets porté par l'UPEM.

^{16.} http://minia.genouest.org/

— Le logiciel ProPhyle ¹⁷, fruit de plusieurs années de travail, a fait partie de deux thèses soutenues dans la période de référence : celles de Karel Brinda (actuellement postdoc à l'Université de Harvard) et Kamil Salikhov. Bien que le logiciel continue à se développer, il est déjà utilisé dans plusieurs projets, à l'Université de Harvard et ailleurs. Il a également été utilisé dans le projet PEPS commun avec l'Institut Mondor de Recherche Biomédicale à l'Université Paris-Est Créteil.

11.3 Analyse SWOT

Points forts

- Richesse des thématiques. L'équipe MoA réunit des compétences dans différents aspects de l'informatique fondamentale et de l'algorithmique : bioinformatique, complexité paramétrée, analyse d'algorithmes, automates, logique, base de données et linguistique.
- Attractivité forte. L'équipe MoA a attiré depuis 2013 des chercheurs et enseignants-chercheurs de très bon niveau : 3 maîtres de conférences (Alfredo Hubard, Nadime Francis et Vincent Jugé), 2 CR CNRS (Laurent Bulteau et Mathias Weller) et 1 DR CNRS (Éric Colin de Verdière).
- Publications. L'équipe a un niveau de publication soutenu (148 articles dans des journaux, 164 articles dans des conférences internationales) et publie régulièrement dans les meilleures conférences des domaines impliqués : COCOON, CPM, ESA, FSTTCS, ICALP, ICDT, ISAAC, LATIN, LICS, RECOMB, STACS, SoCG.
- Reconnaissance nationale et internationale. Les membres de l'équipe ont reçu de nombreuses invitations pour servir dans des comités de programme de conférences internationales. Xavier Goaoc est membre junior de l'Institut Universitaire de France (IUF) depuis 2014.
- *Recrutements externes*. L'équipe MoA n'a effectué que des recrutements externes durant la période évaluée. L'équipe a en particulier recruté deux chercheurs étrangers Alfredo Hubard (MdC UPEM, mexicain) et Mathias Weller (CR CNRS, allemand).
- Implication dans des structures de recherche nationales. Marie-Pierre Béal a été membre du Conseil National des Universités (CNU) section 27 jusqu'en 2015 et Claire David en est membre depuis novembre 2015. Stéphane Vialette est chargé de mission CNRS INS2I depuis 2015.
- Implication dans des structures locales. Marie-Pierre Béal a été directrice du LIGM jusqu'en 2015 et Cyril Nicaud a pris la suite. Dominique Perrin a été directeur de l'ESIEE jusqu'en août 2017.

Points à améliorer

- Absence de projets européens. L'équipe MoA ne participe à aucun projet européen H2020.
- Collaboration avec le thème Linguistique pour le traitement automatique des langues. Les collaborations avec le thème Linguistique pour le traitement automatique des langues au sein de l'équipe MoA sont encore trop faibles et doivent être développées.

Risques liés au contexte

- Recrutement de doctorants. En raison des spécificités des viviers locaux, les membres de l'équipe MoA peinent à recruter localement des doctorants ayant la formation initiale adéquate pour démarrer une thèse dans ses thématiques.
- Géométrie algorithmique. Xavier Goaoc a obtenu une mutation au LORIA et a quitté le laboratoire en septembre 2018. Il est l'un des piliers de notre initiative pour constituer un groupe spécialisé en géométrie algorithmique et combinatoire au sein de l'équipe MoA. Ce

- groupe a été renforcé par les arrivées d'Alfredo Hubard et d'Éric Colin de Verdière, mais il faudra rester vigilant.
- Implication dans l'administration de l'enseignement. Beaucoup de maîtres de conférences de l'équipe MoA ont des responsabilités importantes dans l'administration de l'enseignement. Il faut veiller à ce qu'ils puissent maintenir leur activité de recherche.
- Déménagement. Le déménagement du laboratoire sur l'année 2018 ainsi que les travaux du bâtiment Copernic depuis 2016 et jusqu'en 2019 impose la plus grande vigilance pour maintenir la cohésion de l'équipe MoA.

Possibilités liées au contexte

- *Labex Bézout*. L'équipe MoA est au cœur des thématiques du Labex Bézout et il faut que l'équipe MoA reste particulièrement active dans ce contexte.
- Laboratoire Analyse et Mathématiques Appliquées (LAMA). Les échanges avec le LAMA se sont grandement améliorés durant la période évaluée. Il faut veiller à maintenir et renforcer ces collaborations.
- UMI Relax. Nous avons initié une collaboration avec l'UMI Relax, une unité mixte internationale (UMI2000) du CNRS, Université de Bordeaux, École Normale Supérieure Paris-Saclay, Chennai Mathematical Institute et de l'Institute of Mathematical Sciences. Cette collaboration s'est traduite en 2018 par la venue pour 2 mois dans le laboratoire de deux stagiaires d'un niveau scientifique remarquable. Cette nouvelle collaboration est une opportunité pour attirer de futurs doctorants de très bon niveau au laboratoire qu'il faudra développer.

11.4 Projet scientifique à cinq ans

L'équipe MoA développe une approche scientifique centrée autour de l'informatique fondamentale et de la conception et de l'analyse d'algorithmes. Cela a produit quelques résultats remarquables ces dernières années. Les objectifs de notre projet scientifique sont doubles. D'une part, nous proposons d'approfondir nos travaux dans ces mêmes directions, tout en élargissant les thématiques et le spectre des problèmes combinatoires considérés; il s'agira également de pérenniser et de développer la nouvelle partie géométrie algorithmique et combinatoire de l'équipe. D'autre part, nous souhaitons intensifier et diversifier les collaborations entre les 3 thèmes de l'équipe MoA.

11.4.1 Automates et logique

11.4.1.1 Base de données

Claire David et Nadime Francis projettent de travailler sur les problématiques liées au traitement des bases de données incomplètes ou incohérentes. Cette thématique regroupe de nombreux cas d'applications typiques, tels que l'intégration et l'échange de données, la réparation de bases de données sous contraintes ou encore la prévention de fuites de données. Le principal défi dans ces différents contextes revient à trouver une bonne notion de réponse certaine, c'est-à-dire formaliser les informations que l'on peut déduire malgré l'incertitude des données. De nombreux cas résolus s'appuient sur des techniques de CSP pour calculer de manière ad-hoc les réponses certaines. Claire David et Nadime Francis souhaitent construire une connexion directe entre la notion de réponse certaine et les CSPs dans un cadre général. En plus de pérenniser des collaborations existantes en France et à l'étranger, ces problématiques intègrent naturellement Johan Thapper, spécialiste en CSP.

11.4.1.2 Théorie des modèles infinis

Une des perspectives principale dans la continuité des travaux du groupe est d'obtenir une caractérisation structurelle des arbres de Böhm définis par des schémas récursifs d'ordre supérieur.

Cette caractérisation est un verrou fort pour comprendre les différentes structures (ordinaux, arbres fins, graphes,...) définis grâce à des systèmes d'équations fonctionnels.

Un autre défi est de passer des problèmes de décision, où l'on cherche à savoir si une structure satisfait une propriété donnée, aux problèmes de synthèses, où l'on cherche à construire une structure satisfaisant la propriété.

Un autre champ d'investigation concerne les structures automatiques d'ordre supérieur qui n'ont pour l'instant été étudiées que du point de vue logique.

Enfin, l'arrivée de Vincent Jugé ouvre la perspective d'élargir les objets d'étude en allant des systèmes en temps discret vers les systèmes en temps continu.

11.4.1.3 Systèmes dynamiques

Les perspectives de travail dans ce domaine pour les 5 ans à venir comprennent :

- la poursuite de l'exploration des liens entre le domaine discret des automates, des langages et des mots et son extension à des objets continus (semigroupes profinis et systèmes dynamiques en particulier),
- la poursuite des avancées sur la conjecture de Černý, depuis la tentative infructueuse de A.
 Trahtman (dans laquelle nous avons découvert l'erreur).
- l'étude de la complexité des problèmes sur les automates (en particulier de l'approximation),
- la rédaction de nouveaux textes de synthèse (projets de monographie sur les semigroupes profinis et la dynamique symbolique et de monographie sur les groupes de dimension).

11.4.2 Algorithmes

11.4.2.1 Analyse d'algorithmes

Nous entendons continuer à explorer l'impact des éléments récents d'architecture des ordinateurs sur l'analyse et la conception des algorithmes. Notamment, nous prévoyons de revisiter de nombreuses solutions classiques utilisées en algorithmique du texte en se basant sur des modèles plus réalistes d'ordinateurs. Il s'agira naturellement d'aller collaborer avec des collègues d'autres laboratoires qui développent une activité en architecture des ordinateurs, qui n'est pas présente au LIGM.

11.4.2.2 Géométrie algorithmique et combinatoire

Un des membres de l'équipe, Xavier Goaoc, vient d'obtenir une mutation et quitte le LIGM en septembre 2018. Les projets de recherche du groupe incluent le prolongement des activités mentionnées précédemment, mais aussi l'ouverture vers d'autres directions. En particulier, les interactions avec les mathématiciens du LAMA ouvrent de nouvelles pistes de recherche prometteuses. On peut citer, par exemple, les questions systoliques : Alfredo Hubard et Éric Colin de Verdière les maîtrisent dans le cadre discret des surfaces maillées, et Stéphane Sabourau en est spécialiste dans le cadre continu. Diverses questions sont en cours d'étude, un stage co-encadré est proposé, et un cours de M2 sera co-enseigné l'an prochain.

Parmi les autres directions de recherche récemment ouvertes, on peut citer l'algorithmique à l'aide de formules d'inclusion-exclusion pour obtenir de meilleurs algorithmes de graphes, notamment dans le domaine de la coloration, grâce à des formules parcimonieuses (co-encadrement de thèse par Xavier Goaoc et Éric Colin de Verdière à partir de 2018).

11.4.2.3 Algorithmique pour la bioinformatique

Le projet du groupe intègre la poursuite de ses activités sur la conception d'algorithmes pour le séquençage haut débit, la phylogénie et la génomique comparative. Nous tenterons en particulier de nous appuyer fortement sur les nouvelles compétences en algorithmes paramétrés au sein du groupe pour développer des solutions efficaces en pratique. Des pistes prometteuses incluent le développement d'algorithmes innovants pour le séquençage haut débit, la caractérisation des réseaux

phylogénétiques et le développement des liens entre la génomique comparative et la combinatoire des classes de permutations (c'est l'objet du prochain Dagstuhl seminar 18451 "Genomics, Pattern avoidance and Statistical Mechanics" où nous exposerons nos pistes de recherche). Pour ce qui concerne le traitement efficace des données de séquençage d'ADN, nous allons travailler sur les méthodes basées sur le principe de "locality-sensitive hashing", qui permettent un nouveau passage à l'échelle grâce à la capacité de réduire la taille des données tout en préservant la relation de proximité. Ces méthodes, issues de recherches théoriques, ont tout récemment fait leur entrée en bioinformatique, appliquées avec succès à des jeux de données de plusieurs tera-octets. De très nombreuses questions sont à étudier, un sujet de thèse est actuellement proposé sur ce point.

Il s'agira aussi de se confronter à de nouveaux défis. Nous pouvons citer en particulier la recherche de classements consensuels (c'est-à-dire des classements servant de compromis entre différents classements et dont la qualité peut être quantifiée) appliquée aux bases de données biologiques massives. Une collaboration débute avec le LRI à Paris-Sud (Sarah Cohen Boulakia, Alain Denise, Adeline Pierrot, Christine Froidevaux, Pierre Andrieux) et l'Institut Français de Bioinformatique (Sandrine Perrin, Christophe Blanchet, Jean-François Gibrat) dans le cadre d'un projet Mastodons. Les problèmes que l'on cherche à résoudre pour obtenir des résultats significatifs en pratique sont NP-difficiles même dans des cadres très restreints, ce qui nous mène donc à nous concentrer sur l'élaboration d'algorithmes paramétrés efficaces. Les recherches menées seront à la fois théoriques et à finalité pratique : les algorithmes élaborés seront évalués et utilisés sur des bases de données massives reconnues, comme celles du National Center for Biotechnology Information (NCBI) ou de l'Institut Français de Bioinformatique (IFB).

11.4.2.4 Algorithmique du texte

La recherche va se poursuivre pour analyser les répétitions partielles dans les séquences (motifs à trous) et proposer de nouveaux algorithmes les concernant, pour développer des méthodes optimales de comparaisons approchées de séquences, pour continuer à explorer la possibilité de les comparer sans alignement.

Une partie des études concernera les structures fondamentales d'arbre de Lyndon, à l'origine de la solution de la conjecture sur les périodicités maximales, et d'arbre Cartésien qui intervient notamment en indexation.

11.4.2.5 Humanités numériques

Depuis quelques temps, nous développons un nouveau domaine d'application sur les humanités numériques, et plus précisément l'analyse comparative de textes en langue naturelle. Cet intérêt est nourri de l'observation que les humanités numériques s'apprêtent à vivre une mutation similaire à celle vécue par la bioinformatique avec le séquençage massif de génomes. Lors du *Symposium on Software and Digital Humanities* que nous avons co-organisé à l'Institute d'Études Avancées en mai 2016, nous avons présenté certains de nos travaux à la communauté de chercheurs du domaine. Nous avons par ailleurs commencé à nouer des collaborations avec des équipes de sciences humaines et sociales intéressées par des corpus numériques de textes, notamment dans le cadre des projets ANR APPEL (Analyse Pluridisciplinaire du Pétitionnement En Ligne) [MC2] et ANR/DFG Biolographes (Création littéraire et savoirs biologiques au dix-neuvième siècle).

A l'avenir nous souhaitons mettre au point de nouveaux outils d'interrogation de très grands corpus textuels, en particulier des corpus issus de Gallica, bibliothèque numérique ouverte de la Bibliothèque nationale de France et de plus de 300 partenaires. Plus spécifiquement, ces outils permettront une identification de relation d'intertextualité entre un texte requête et les documents du corpus. L'originalité principale de ces outils sera la capacité de passage à l'échelle de corpus contenant des milliards de mots. Cela sera rendu possible grâce aux techniques algorithmiques, appelées frugales, très économes en mémoire et rapides d'exécution. Ces outils permettront également la prise en compte des erreurs d'OCR dans les documents.

11.4.3 Linguistique pour le traitement des langues naturelles

Nous souhaitons conserver un large spectre d'activités, depuis la description linguistique en amont jusqu'à l'ingénierie linguistique en aval, notamment l'extraction d'informations. Cette diversité se justifie, en pratique, par le fait que ces deux points de vue fournissent un feedback mutuel qui améliore la qualité des résultats.

Dans les dernières années, les liens tissés avec d'autres équipes au sein d'UPE ont permis une interopérabilité de cinq outils d'analyse et de visualisation de textes : Unitex/GramLab, TreeCloud, TextObserver, CorText et l'analyse multifractale. Notre perspective est d'exploiter cette combinaison de techniques pour rendre plus performante l'analyse des corpus de textes écrits.

Nous cherchons aussi à renforcer notre compétence en extraction d'informations pour l'étendre aux langues à délimitation incomplète des mots. Notre savoir-faire se fonde sur des requêtes avancées, appelées grammaires locales, qui prennent en compte à la fois le contexte immédiat des formes cibles (requêtes longues) et les variations dans leur formulation (requêtes flexibles). Jusqu'à présent, ce type de requête a surtout été appliqué aux langues dans lesquelles l'élément de base est le mot-token, explicitement délimité graphiquement. Pour dépasser cette restriction, les principaux défis sont

- la complexité des bases de données lexicales nécessaires à l'analyse morphologique,
- la nécessité de sélectionner un découpage et un étiquetage en cas d'ambiguïté.

11.5 Organisation de la vie de l'équipe

La vie de l'équipe s'organise essentiellement autour d'un séminaire hebdomadaire le mardi après-midi précédé d'un repas avec l'orateur ouvert à tous les membres du laboratoire facilitant les échanges informels. Il s'agit d'un séminaire commun aux 3 thèmes de recherche de l'équipe MoA. Les doctorants sont fortement incités à y participer.

Le large spectre d'activités facilite les échanges au sein de l'équipe et incite les chercheurs et enseignants chercheurs à sortir de leur domaine premier de compétences. La politique du séminaire est de proposer des exposés accessibles au plus grand nombre donnés par des chercheurs experts. Cette politique a été mise en place (avec succès) pour redynamiser la fréquentation du séminaire.

11.6 Recommandations de l'AERES en 2013

La synergie des compétences, adossée à l'organisation en 5 thèmes distincts, semble difficile à gérer au fur et à mesure de la croissance de l'équipe.

Comme nous l'avons illustré tout au long de ce rapport, nous pensons que la richesse des thèmes couverts par l'équipe MoA est une de nos grandes forces. Le découpage en 3 thèmes adopté pour cette présentation est loin d'être rigide et de nombreuses interactions existent entre les thèmes.

- la conjecture de Černý a été abordée sous l'aspect algorithmique par Marie-Pierre Béal et Dominique Perrin et sous l'aspect probabiliste par Cyril Nicaud.
- Arnaud Carayol et Cyril Nicaud co-encadreront à partir de septembre 2018 la thèse de Florent Koechlin sur les liens entre combinatoire analytique et théorie des automates.
- Philippe Gambette et Tita Kyriacopoulou collaborent sur des thèmes de linguistiques et P. Gambette participe au développement de logiciels intégrés à la plateforme Unitex/GramLab.
- Cyril Nicaud et Xavier Goaoc ont collaboré sur les familles de permutations associées à des arrangements géométriques.
- Arnaud Carayol, Claire David et Nadime Francis ont initié un groupe de travail sur les automates et la logique qui a vocation à s'élargir à toute l'équipe.

Le rapport 2013 pointait aussi le fait que le thème *Graphes infinis et logique* (qui correspond aux thèmes *Base de données* et *Théorie algorithmique des modèles infinis* de ce rapport) était isolé par rapport aux autres thèmes de l'équipe. Les recrutements de Nadime Francis et Vincent Jugé sont venus renforcer ce thème et ses liens avec les autres thèmes. De part son expérience industrielle, Nadime Francis renforce le lien entre les aspects théoriques et pratiques sur les bases de données. Vincent Jugé quant à lui apporte une double expertise en vérification et en combinatoire qui renforce les liens entre ces thèmes.

Enfin, le rapport de 2013 faisait le même constat pour la thématique *Linguistique pour le traitement automatique des langues* et suggérait un rapprochement avec les autres thématiques. Un premier rapprochement avec le thème algorithmique a eu lieu au travers de plusieurs collaborations entre Philippe Gambette et Tita Kyriacopoulou [MD8]. Les perspectives sur les humanités numériques présentées dans le thème Algorithmique sont une formidable opportunité de développer de nouvelles collaborations entre ces deux thèmes.

Le comité d'experts suggère à l'équipe de réfléchir aux possibilités d'assurer une politique plus pérenne pour la maintenance des logiciels.

La majeure partie des logiciels développés au sein de l'équipe sont des prototypes et sont mis à disposition de la communauté sous licence libre. Une exception notable est la suite logiciel Unitex/GramLab. Nos efforts pour valoriser Unitex/GramLab n'ont en effet malheureusement pas porté leurs fruits. Le contrat à la SATT IdF-Innov porté par Éric Laporte en 2015-2016 ayant pour but de valoriser la partie langue arabe d'Unitex n'a pas eu les retombées escomptées. La difficulté s'explique principalement par le fait qu'Unitex/GramLab est un logiciel sous licence libre. Ces échecs nous ont amenés à changer notre stratégie de valorisation et à déposer une demande de brevet européen (2017, no EP17305646). De plus pour maintenir et pérenniser le développement du logiciel, le laboratoire a alloué la somme de 10 000 euros pour financer des gratifications de stage.

D'autre part, une reflexion plus générale est en cours au niveau du laboratoire pour le référencement et le suivi des logiciels de recherche, portée par Teresa Gomez-Diaz (voir 4.1.3).

11.7 Annexe : sélection des produits et des activités de recherche

Dans toute cette partie, qui présente l'annexe 4 de l'équipe, nous avons veillé à effectuer une sélection dans chacune des rubriques, pour ne présenter que nos contributions les plus notables et les plus pertinentes. De nombreux autres produits et activités de la recherche, jugés plus secondaires, ne sont donc pas listés ci-dessous.

11.7.1 Production de connaissances, rayonnement et attractivité scientifique

Remarque : nous avons choisi de sélectionner 20% globalement sur toutes les publications de l'équipe, et non 20% par type de publication.

11.7.1.1 Journaux / Revues

Articles scientifiques

- [MJ1] Mika Amit, <u>Maxime Crochemore</u>, Gad Landau, and Dina Sokol. Locating maximal approximate runs in a string. *Theoretical Computer Science*, 700:45–62, 2017.
- [MJ2] Golnaz Badkobeh and Maxime Crochemore. Computing maximal-exponent factors in an overlap-free word. *J. Comput. Syst. Sci.*, 82(3):477–487, 2016.
- [MJ3] Frédérique Bassino, Armando Martino, <u>Cyril Nicaud</u>, Enric Ventura, and Pascal Weil. Statistical properties of subgroups of free groups. *Random Structures and Algorithms*, 42:349–373, 2013.

- [MJ4] Marie-Pierre Béal and Dominique Perrin. A quadratic algorithm for road coloring. Discrete Applied Mathematics, 169(-):15–29, 2014.
- [MJ5] Valérie Berthé, Clelia De Felice, <u>Francesco Dolce</u>, Julien Leroy, <u>Dominique Perrin</u>, Christophe Reutenauer, and Giuseppina Rindone. Acyclic, connected and tree sets. *Monatshefte für Mathematik*, page 521–550, 2015.
- [MJ6] Valérie Berthé, Vincent Delecroix, <u>Francesco Dolce</u>, <u>Dominique Perrin</u>, Christophe Reutenauer, and Giuseppina Rindone. Return words of linear involutions and fundamental groups. *Ergodic Theory and Dynamical Systems*, 37:693–715, 2017.
- [MJ7] Karel Břinda, Valentina Boeva, and <u>Gregory Kucherov</u>. RNF: a general framework to evaluate NGS read mappers. *Bioinformatics*, 32(1):136–139, 2016.
- [MJ8] <u>Laurent Bulteau</u>, Guillaume Fertin, and Christian Komusiewicz. (Prefix) reversal distance for (signed) strings with few blocks or small alphabets. *Journal of Discrete Algorithms*, 37:44–55, 2016.
- [MJ9] <u>Laurent Bulteau</u>, Guillaume Fertin, and Eric Tannier. Genome rearrangements with indels in intergenes restrict the scenario space. *BMC Bioinformatics*, 17:426–433, 2016.
- [MJ10] Rosa Cetro, Marc M. Barbier, Philippe P. Breucker, Hilde Eggermont, Philippe Gambette, Tita Kyriacopoulou, Xavier Le Roux, Claude Martineau, and Nicolas N. Turenne. Vers une approche semi-automatique pour la définition de motifs d'argumentation utilisés dans les résumés de projets scientifiques du domaine de la biodiversité. Revue des Nouvelles Technologies de l'Information, RNTI-SHS-2:47–80, 2014.
- [MJ11] Éric Colin de Verdière, Grégory Ginot, and Xavier Goaoc. Helly numbers of acyclic families. *Advances in Mathematics*, 253:163–193, 2014.
- [MJ12] Éric Colin de Verdière, Alfredo Hubard, and Arnaud de Mesmay. Discrete Systolic Inequalities and Decompositions of Triangulated Surfaces. *Discrete and Computational Geometry*, 53(3):587–620, 2015.
- [MJ13] <u>Maxime Crochemore</u>, Roberto Grossi, Juha Kärkkäinen, and Gad M. Landau. Computing the burrows-wheeler transform in place and in small space. *J. Discrete Algorithms*, 32:44–52, 2015.
- [MJ14] <u>Maxime Crochemore</u> and Robert Mercas. On the density of lyndon roots in factors. *Theor. Comput. Sci.*, 656:234–240, 2016.
- [MJ15] Wojciech Czerwiński, <u>Claire David</u>, Filip Murlak, and Pawel Parys. Reasoning about integrity constraints for tree-structured data. *Theory of Computing Systems*, 62(4):941–976, 2018.
- [MJ16] Laurence Danlos, Quentin Pradet, Lucie Barque, <u>Takuya Nakamura</u>, and <u>Mathieu</u>

 <u>Constant</u>. Un Verbenet du français. *Traitement Automatique des Langues*, 57(1):25,
- [MJ17] Olivier Devillers, Marc Glisse, <u>Xavier Goaoc</u>, and Rémy Thomasse. Smoothed complexity of convex hulls by witnesses and collectors. *Journal of Computational Geometry*, 7(2):101–144, 2016.
- [MJ18] Philippe Gambette, Leo Van Iersel, Mark Jones, Manuel Lafond, Fabio Pardi, and Celine Scornavacca. Rearrangement Moves on Rooted Phylogenetic Networks. *PLoS Computational Biology*, 13(8):e1005611.1–21, 2017.
- [MJ19] **Philippe Gambette**, Leo Van Iersel, Steven Kelk, Fabio Pardi, and Celine Scornavacca. Do branch lengths help to locate a tree in a phylogenetic network? *Bulletin of Mathematical Biology*, 78(9):1773–1795, 2016.

- [MJ20] Simona Grusea and **Anthony Labarre**. The distribution of cycles in breakpoint graphs of signed permutations. *Discrete Applied Mathematics*, 161(10-11):1448–1466, 2013.
- [MJ21] <u>Gregory Kucherov</u> and Yakov Nekrich. Full-Fledged Real-Time Indexing for Constant Size Alphabets. *Algorithmica*, 79(2):387–400, October 2017.
- [MJ22] <u>Gregory Kucherov</u>, <u>Kamil Salikhov</u>, and Dekel Tsur. Approximate string matching using a bidirectional index. *Theoretical Computer Science*, 638:145–158, 2016.
- [MJ23] <u>Tita Kyriacopoulou</u> and Claude Martineau. Extraction de "segments complexes": enrichissement des dictionnaires. *Études de linguistique appliquée : revue de didactologie des langues-cultures*, octobre-décembre 2015(180):407–416, 2015.
- [MJ24] <u>Anthony Labarre</u>. Lower bounding edit distances between permutations. *Siam Journal on Discrete Mathematics*, 27(3):1410–1428, 2013.
- [MJ25] <u>Anthony Labarre</u> and Sicco Verwer. Merging partially labelled trees: hardness and a declarative programming solution. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, 11(2):389–397, March 2014.
- [MJ26] François Laroussinie, <u>Antoine Meyer</u>, and Eudes Petonnet. Counting CTL. *Logical Methods in Computer Science*, 9(1):3.1–3.34, 2013. 34 pages.
- [MJ27] Paul Morel, Ryan Thomas Flynn, Edgar Gelover, Guillaume Blin, Stéphane Vialette, Xiadong Wu, and Dongxu Wang. MSPT: An open-source motion simulator for proton therapy. Biomedical Physics & Engineering Express, 1(3):12 pp., 2015.
- [MJ28] <u>Takuya Nakamura</u>. On the possible origin of lexicon-grammar tables: speculations from an unpublished manuscript of Zellig Harris. In *Perspectives harrissiennes*. Cellule de recherche en linguistique, 2016.
- [MJ29] Alexis Amid Neme and **Eric Laporte**. Pattern-and-root inflectional morphology: the arabic broken plural. *Language Sciences*, 40:221–250, 2013.
- [MJ30] <u>Dominique Perrin</u> and Christophe Reutenauer. Hall sets, Lazard sets and comma-free codes. *Discrete Mathematics*, 341(1):232–243, 2018.
- [MJ31] <u>Kamil Salikhov</u>, Gustavo Sacomoto, and <u>Gregory Kucherov</u>. Using cascading Bloom filters to improve the memory usage for de Brujin graphs. *Algorithms for Molecular Biology*, 9(1):2, 2014.
- [MJ32] <u>Johan Thapper</u> and Stanislav Živný. The Power of Sherali–Adams Relaxations for General-Valued CSPs. *SIAM Journal on Computing*, 46(4):1241 1279, July 2017.
- [MJ33] <u>Johan Thapper</u> and Stanislav Živný. The Limits of SDP Relaxations for General-Valued CSPs. *ACM Transactions on Computation Theory*, 10(3):1 22, May 2018.
- [MJ34] René Van Bevern, Robert Bredereck, <u>Laurent Bulteau</u>, Jiehua Chen, Vincent Froese, Rolf Niedermeier, and Gerhard J. Woeginger. Partitioning Perfect Graphs into Stars. *Journal of Graph Theory*, 85(2):297–335, 2017.

Articles de synthèse / revues bibliographiques

[MS1] <u>Éric Colin de Verdière</u>. Computational topology of graphs on surfaces. In *Handbook of Discrete and Computational Geometry, third edition*. 2018.

11.7.1.2 Ouvrages

Direction et coordination d'ouvrages / édition scientifique

Aucun sélectionné.

Chapitres d'ouvrage

Aucun sélectionné.

11.7.1.3 Colloques / congrès, séminaires de recherche Éditions d'actes de colloques / congrès

- [MA1] Marie-Pierre Béal and Olivier Carton, editors. Developments in Language Theory 17th International Conference, DLT 2013, Marne-la-Vallée, France, June 18-21, 2013. Proceedings, volume 7907 of Lecture Notes in Computer Science. Springer, June 2013.
- [MA2] <u>Arnaud Carayol</u> and <u>Cyril Nicaud</u>, editors. *Implementation and Application of Automata* 22nd International Conference, CIAA 2017, Marne-la-Vallée, France, June 27-30, 2017, Proceedings, volume 10329 of Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2017.
- [MA3] Edleno Silva de Moura and Maxime Crochemore, editors. String Processing and Information Retrieval 21st International Symposium, SPIRE 2014, Ouro Preto, Brazil, October 20-22, 2014. Proceedings, volume 8799 of Lecture Notes in Computer Science. Springer, 2014.

Articles publiés dans des actes de colloques / congrès

- [MC1] Nicolas Auger, Cyril Nicaud, and Carine Pivoteau. Good predictions are worth a few comparisons. In Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science (STACS 2016), pages 1–14, 2016.
- [MC2] Christine Barats, Anne Dister, <u>Philippe Gambette</u>, Jean-Marc Leblanc, and Marie Peres. Appeler à signer une pétition en ligne: caractéristiques linguistiques des appels. In *International Conference on the Statistical Analysis of Textual Data (JADT 2018)*, pages 1–6, 2018.
- [MC3] Marie-Pierre Béal and Pavel Heller. Generalized Dyck Shifts. In *International Computer Science Symposium in Russia (CSR 2017)*, pages 99–111, 2017.
- [MC4] Matthias Bentert, Josef Malík, and <u>Mathias Weller</u>. Tree Containment With Soft Polytomies. In *Scandinavian Workshop on Algorithm Theory (SWAT 2018)*, pages 1–14, 2018.
- [MC5] Boris Bukh, Xavier Goaoc, Alfredo Hubard, and Matthew Trager. Consistent Sets of Lines with no Colorful Incidence. In *International Symposium on Computational Geometry* (SoCG 2018), pages 1–20, 2018.
- [MC6] <u>Laurent Bulteau</u>, Guillaume Fertin, <u>Anthony Labarre</u>, Romeo Rizzi, and Irena Rusu. Decomposing Cubic Graphs into Connected Subgraphs of Size Three. In *International Computing and Combinatorics Conference (COCOON 2016)*, 2016.
- [MC7] Marie Candito and Mathieu Constant. Strategies for Contiguous Multiword Expression Analysis and Dependency Parsing. In *Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL 2014)*, pages 1–11, 2014.
- [MC8] <u>Arnaud Carayol</u> and Stefan Göller. On Long Words Avoiding Zimin Patterns. In *Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science (STACS 2017)*, pages 1–13, Hannover, Germany, 2017.
- [MC9] <u>Arnaud Carayol</u>, Christof Löding, and Olivier Serre. Automata on Infinite Trees with Equality and Disequality Constraints Between Siblings. In *Annual IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS 2016)*, pages 227–236, 2016.
- [MC10] **Arnaud Carayol** and Olivier Serre. How Good Is a Strategy in a Game with Nature? In *Annual IEEE Symposium on Logic in Computer Science (LICS 2015)*, page 12, 2015.
- [MC11] <u>Didier Caucal</u> and <u>Chloé Rispal</u>. Recognizability for automata. In *Developments in Language Theory (DLT 2018)*, 2018.

- [MC12] Vincent Cohen-Addad, Éric Colin de Verdière, and Arnaud de Mesmay. A Near-Linear Approximation Scheme for Multicuts of Embedded Graphs with a Fixed Number of Terminals. In Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA 2018), pages 1439–1458, 2018.
- [MC13] **Éric Colin de Verdière** and Salman Parsa. Deciding contractibility of a non-simple curve on the boundary of a 3-manifold. In *Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms* (SODA 2017), pages 2691–2704, 2017.
- [MC14] <u>Carlo Comin, Anthony Labarre</u>, Romeo Rizzi, and <u>Stéphane Vialette</u>. Sorting With Forbidden Intermediates. In *International Conference on Algorithms for Computational Biology (AlCoB 2016)*, pages 133–144, 2016.
- [MC15] Olivier Curé, Hubert Naacke, Tendry Randriamalala, and Bernd Amann. LiteMat: A scalable, cost-efficient inference encoding scheme for large RDF graphs. In *IEEE International Conference on Big Data (Big Data 2015)*, pages 1823–1830, 2015.
- [MC16] <u>Claire David</u>, <u>Nadime Francis</u>, and Filip Murlak. Consistency of injective tree patterns. In *Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science (FSTTCS 2014)*, pages 279–290, 2014.
- [MC17] Philippe Duchon and <u>Cyril Nicaud</u>. On the Biased Partial Word Collector Problem. In *Latin American Symposium on Theoretical Informatics (LATIN 2018)*, pages 413–426, 2018.
- [MC18] Philippe Duchon, <u>Cyril Nicaud</u>, and <u>Carine Pivoteau</u>. Gapped Pattern Statistics. In *Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching (CPM 2017)*, pages 1–12, 2017.
- [MC19] Guillaume Fertin, Irena Rusu, and <u>Stéphane Vialette</u>. Obtaining a Triangular Matrix by Independent Row-Column Permutations. In *International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2015)*, pages 165–175, 2015.
- [MC20] Nadime Francis, Alastair Green, Paolo Guagliardo, Leonid Libkin, Tobias Lindaaker, Victor Marsault, Stefan Plantikow, Mats Rydberg, Petra Selmer, and Andrés Taylor. Cypher: An Evolving Query Language for Property Graphs. In *International Conference on Management of Data (SIGMOD 2018)*, pages 1433–1445, 2018.
- [MC21] Philippe Gambette, Andreas D.M. Gunawan, Anthony Labarre, Stéphane Vialette, and Louxin Zhang. Locating a Tree in a Phylogenetic Network in Quadratic Time. In Annual International Conference on Research in Computational Molecular Biology (RECOMB 2015), pages 96–107, 2015.
- [MC22] <u>Samuele Giraudo</u> and <u>Stéphane Vialette</u>. Unshuffling Permutations. In *Latin American Symposium on Theoretical Informatics (LATIN 2016)*, pages 509–521, 2016.
- [MC23] <u>Xavier Goaoc</u>, Pavel Paták, Zuzana Patáková, Martin Tancer, and Uli Wagner. Shellability is NP-complete. In *International Symposium on Computational Geometry (SoCG 2018)*, pages 1–15, 2018.
- [MC24] Cvetana Krstev, Anđelka Zečević, Duško Vitas, and <u>Tita Kyriacopoulou</u>. NERosetta for the Named Entity Multi-lingual Space. In *Language & Technology Conference (LTC 2013)*, pages 327–340, 2013.
- [MC25] <u>Gregory Kucherov</u> and Dekel Tsur. Improved Filters for the Approximate Suffix-Prefix Overlap Problem. In *International Symposium on String Processing and Information Retrieval (SPIRE 2014)*, pages 139–148, 2014.
- [MC26] <u>Cyril Nicaud</u>. Fast Synchronization of Random Automata. In *Approximation, Randomization, and Combinatorial Optimization. Algorithms and Techniques (APPROX/RANDOM 2016)*, pages 1–12, 2016.

- [MC27] Xiangnan Ren, Olivier Curé, Hubert Naacke, Jérémy Lhez, and Ke Li. Strider R: Massive and Distributed RDF Graph Stream Reasoning. In *IEEE International Conference on Big Data (Big Data 2017)*, pages 1–10, 2017.
- [MC28] Romeo Rizzi and <u>Stéphane Vialette</u>. On recognizing words that are squares for the shuffle product. In *International Computer Science Symposium in Russia (CSR 2013)*, pages 235–245, 2013.
- [MC29] <u>Mathias Weller</u>. Linear-Time Tree Containment in Phylogenetic Networks. In *RECOMB Comparative Genomics Satellite Conference (RECOMB-CG 2018)*, 2018.

11.7.1.4 Organisation de colloques / congrès (21 au total)

Les membres de l'équipe ont participé à l'organisation de nombreux groupes de travail internationaux ou journées nationales. Nous ne présentons ici que les conférences internationales.

- Developments in Language Theory ¹⁸ (DLT), UPE, juin 2013.
- Symposium on String Processing and Information Retrieval (SPIRE), octobre 2014.
- Symposium on Software and Digital Humanities II ¹⁹, Paris, mai 2016.
- International Conference on Implementation and Application of Automata ²⁰ (CIAA), juin 2017.
- International Conference on Probabilistic, Combinatorial and Asymptotic Methods for the Analysis of Algorithms (AoFA) ²¹, Paris, juin 2014.
- Research in Computational Molecular Biology ²² (RECOMB), avril 2018.

11.7.1.5 Produits et outils informatiques

Logiciels (16 au total)

Le code source de tous les logiciels est disponible librement. Par soucis de concision, nous ne précisons ici que les membres permanents du LIGM impliqués dans le développement. Les nombreux prototypes réalisés par les membres de l'équipe lors de leurs travaux de recherche ne sont pas comptabilisés.

- Unitex/GramLab ²³ est une suite logicielle libre, multiplateforme, multilingue, fondée sur des dictionnaires et des grammaires pour l'analyse de corpus. (LGPL). Le développement logiciel d'Unitex/GramLab est actuellement coordonné par Cristian Martinez.
- TreeCloud ²⁴ est un logiciel de visualisation de textes sous forme d'arbres de mots intégré au logiciel Unitex. Philippe Gambette.
- Phylnet Tools ²⁵: scripts de manipulation et de dessin de réseaux phylogénétiques, implémentés dans le cadre du projet MERLION. Philippe Gambette.
- iPhocomp ²⁶: évaluation automatique de la complexité phonétique de mots en français.
 Philippe Gambette.
- ISIPhyNC, the Information System on Inclusions of Phylogenetic Network Classes ²⁷: base de données de classes de réseaux phylogénétiques, avec déduction automatique de propriétés sur les sous-classes et les sur-classes, inspirée d'ISGCI pour les classes de graphes. Philippe Gambette.

^{18.} https://dlt2013.sciencesconf.org/

^{19.} https://www.paris-iea.fr/fr/evenements/symposium-on-software-and-digital-humanities-ii

^{20.} http://ciaa17.univ-mlv.fr/

^{21.} http://www.aofa14.upmc.fr/

^{22.} http://recomb2018.fr/

^{23.} http://unitexgramlab.org/fr

^{24.} http://www.treecloud.org

^{25.} http://phylnet.univ-mlv.fr/tools/

^{26.} http://igm.univ-mlv.fr/~gambette/iPhocomp/

^{27.} http://phylnet.univ-mlv.fr/isiphync/

- MSPT ²⁸. Simulateur permettant d'étudier l'impact des mouvements spontanés durant le traitement par protonthérapie (The university of Iowa et Université Paris-Est Marne-la-Vallée).
 Paul Morel.
- **PPattern** ²⁹ : Bibliothèque haskell pour étudier la combinatoire et la complexité de la recherche de motifs dans les permutations. Stéphane Vialette.
- ProPhyle ³⁰. Logiciel de classification métagénomique de données de séquençage de génomes entiers. Gregory Kucherov.
- Dymas ³¹ Suite logicielle pour la simulation de localisation dynamique de lectures d'ADN.
 K. Brinda, Gregory Kucherov.
- Ococo ³² Logiciel de calcul de consensus pour la localisation online de lectures d'ADN.
 Gregory Kucherov.
- **RNFtools** ³³ : un package logiciel supportant le format RNF (Read Naming Format) pour la simulation de données de séquençage haut débit. Gregory Kucherov.
- Bibliothèque NewtonGF³⁴. Outils pour la combinatoire analytique : oracle des générateurs de Boltzmann et calcul numérique des singularités des systèmes combinatoires. Carine Pivoteau.
- **C-SHORe** ³⁵ : *Model-checker* de programmes fonctionnels d'ordre supérieur. Matthew Hague, Arnaud Carayol.
- Strider ³⁶ est un système distribué pour la gestion de flux RDF (réalisé dans le cadre du projet FUI 17 Waves). Olivier Curé.
- Scouter³⁷ analyse des flux de données du Web pour contextualiser des anomalies dans des réseaux tels que la distribution d'eau potable (réalisé dans le cadre du projet FUI 17 Waves). Olivier Curé.
- **Ramsses** ³⁸ aide la conception de systèmes analysant des flux de données (réalisé dans le cadre du projet FUI 17 Waves). Olivier Curé.

Bases de données (3 au total)

- Le lexique-grammaire du français est une base de données lexicales en développement continu dans le cadre de la plateforme Unitex/GramLab. Il comprend une centaine de tables.
- Who is who in phylogenetic networks ³⁹: base de données de 700 publications sur les réseaux phylogénétiques, leurs auteurs et les mots-clés associés, 100 visites mensuelles.
- **Corpus Biolographes** ⁴⁰ : base de données de 319 textes du 19e siècle relatifs aux savoirs biologiques, développée en collaboration dans le cadre du projet ANR/DFG Biolographes.

Outils d'aide à la décision

40. http://corpus.biolographes.eu

Sans objet.

^{28.} https://github.com/simulproton/mspt
29. https://github.com/vialette/ppattern
30. https://prophyle.github.io/
31. https://github.com/karel-brinda/dymas
32. https://github.com/karel-brinda/ococo
33. http://karel-brinda.github.io/rnftools/
34. http://perso.ens-lyon.fr/bruno.salvy/software/the-newtongf-package/
35. http://cshore.cs.rhul.ac.uk/#Home
36. https://github.com/renxiangnan/strider
37. https://badrebelabbess.github.io/Scouter-1/
38. https://bwww.waves-rsp.org/
39. http://phylnet.univ-mlv.fr

Outils présentés dans le cadre de compétitions de solveurs

Le logiciel ProPhyle a été présenté au Mosaic Community Challenge.

11.7.1.6 Développements instrumentaux et méthodologiques

Prototypes et démonstrateurs

Sans objet.

Plateformes et observatoires

Sans objet.

11.7.1.7 Autres produits propres à une discipline

Créations artistiques théorisées

Sans objet.

Mises en scènes

Sans objet.

Films

Sans objet.

11.7.1.8 Activités éditoriales

Participation à des comités éditoriaux (journaux scientifiques, revues, etc) (9 au total)

- Éric Colin de Verdière est directeur exécutif de la revue European Journal of Combinatorics.
- Olivier Curé est membre du comité éditorial de la revue Journal on Data Semantics.
- Gregory Kucherov est membre du comité éditorial de la revue Algorithms for Molecular Biology
- Eric Laporte a été directeur de la revue Lingvisticae Investigationes jusqu'en 2016 et membre du comité éditorial de la revue TAL jusqu'en 2015.
- Dominique Perrin est éditeur des revues Theoretical Computer Science, Advances in Applied Mathematics, Semigroup Forum et de la collection Pure and Applied Mathematics (Elsevier) jusqu'en 2017.

Direction de collections et de séries

Eric Laporte a été directeur de la collection Lingvisticae Investigationes Supplementa jusqu'en 2016.

Participation à des comités de programme (91 au total)

Marie-Pierre Béal est membre des comités de pilotage des conférences STACS (2011-2017) et DLT (2011-). Maxime Crochemore est membre des comités de pilotage des conférences CPM (1991-), SPIRE (2015-2017), WORDS (2013-) et LSD-LAW (1997-2017).

- ▶ 2013, 16 participations au total dont : DLT (Marie-Pierre Béal chair, Arnaud Carayol), FICS (Arnaud Carayol chair), FSTTCS (Arnaud Carayol), ISAAC (Xavier Goaoc), IWOCA (Maxime Crochemore), SoCG (Xavier Goaoc), SOFSEM (Gregory Kucherov).
- ▶ 2014, 21 participations au total dont: CP (Johan Thapper), CPM (Gregory Kucherov), DLT (Marie-Pierre Béal), IWOCA (Maxime Crochemore, Gregory Kucherov), ICDT (Claire David), MFCS (Marie-Pierre Béal), PODS (Claire David), STACS (Stéphane Vialette), SPIRE (Gregory Kucherov, Maxime Crochemore chair).
- ▶ 2015, 14 participations au total dont : CPM (Gregory Kucherov), DLT (Gregory Kucherov), ESWC 2015 (Olivier Curé, track chair) MFCS (Marie-Pierre Béal).
- ▶ 2016, 20 participations au total dont : CPM (Maxime Crochemore, Stéphane Vialette), DLT (Marie-Pierre Béal, Gregory Kucherov), FOSACS (Arnaud Carayol), ICALP (Arnaud Carayol),

ICDT (Claire David), IWOCA (Stéphane Vialette), LATIN (Gregory Kucherov), PODS (Claire David), SOFSEM (Marie-Pierre Béal), SPIRE (Gregory Kucherov), STACS (Gregory Kucherov).

- ▶ 2017, 9 participations au total dont : CIAA (Arnaud Carayol chair, Cyril Nicaud chair), ISMB/ECCB (Gregory Kucherov). LICS (Dominique Perrin).
- ▶ 2018, 11 participations au total dont: CPM (Maxime Crochemore, Gregory Kucherov), DLT (Marie-Pierre Béal), ICDT (Claire David), SEA (Maxime Crochemore), SoCG (Xavier Goaoc track chair), STACS (Arnaud Carayol), SPIRE (Gregory Kucherov).

11.7.1.9 Activités d'évaluation

Évaluation d'articles et d'ouvrages scientifiques (relecture d'articles / reviewing)

Les membres de l'équipe ont une activité de relecture soutenue, notamment pour les conférences et journaux de référence de leurs domaines.

Évaluation de projets de recherche

Marie-Pierre Béal, Arnaud Carayol, Olivier Curé, Philippe Gambette, Éric Laporte, Cyril Nicaud, Johan Thapper ont été sollicités comme experts au près de l'ANR. Plus ponctuellement, les membres de l'équipe ont expertisé pour des agences telles que Fonds de la Recherche Scientifique, National Science Center of Poland, Netherlands Organisation for Scientic Research, Estonian Research Council, Israel Science Foundation, Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada. Cyril Nicaud réalise régulièrement des expertises pour l'ANRT.

Évaluation de laboratoires (type Hcéres)

- Marie-Pierre Béal a été membre du comité de visite AERES pour l'examen du laboratoire LIP à Lyon en tant que représentante du CNU en 2014.
- Marie-Pierre Béal a été membre du comité de visite HCERES pour l'examen du laboratoire GREYC à Caen en tant que représentante du CNU en 2015.
- Marie-Pierre Béal a été membre d'un comité de visite (informel) pour préparer une évaluation à mi-parcours du laboratoire LITIS à Rouen en 2014.

Responsabilités au sein d'instances d'évaluation

Cyril Nicaud a été membre du comité d'évaluation SIMI2 de l'ANR en 2013. Dans le cadre de ses fonctions à l'INS2I, Stéphane Vialette a participé à différentes instances d'évaluation telles que PEPS CNRS, Bourses DGA, PEDR CNRS, Infinity,...

11.7.1.10 Contrats de recherche financés par des institutions publiques ou caritatives Contrats européens (ERC, H2020, etc.) et internationaux (NSF, JSPS, NIH, etc.)

Sans objet.

Contrats nationaux (ANR, PHRC, FUI, INCA, etc.) (20 au total)

- ANR Presage (méthodes PRobabilistes pour l'Éfficacité des Structures et Algorithmes GEométriques) (2011-2015) Xavier Goaoc (porteur) (400K€ total)
- ANR Eqinocs (Entropie et quantité d'information dans les modèles des systèmes computationnels) (2012-2016) Dominique Perrin, Marie-Pierre Béal. (374K € total).
- ANR JCJC LiFoundation (2018-2022) (166K€). Arnaud Carayol.
- ANR JCJC AMIS (2011-2014) (110K€). Arnaud Carayol (porteur), Antoine Meyer et Chloé Rispal.
- ANR JCJC BIRDS (2011-2015) Guillaume Blin (porteur), Isabelle Fagnot, Stéphane Vialette (160K€)
- ANR MAGNUM 2010-2014, (550k€ total) Cyril Nicaud, Carine Pivoteau
- ANR JCJC MealyM 2013-2017 (200k€ total) Cyril Nicaud
- ANR PRC Aspag (2018-) (393k€ total) Xavier Goaoc (coordinateur local).

- ANR SoS (Structures on Surfaces) (254k€ total), coordonné par Nancy et Luxembourg,
 2018-2022. Éric Colin de Verdière, Alfredo Hubard. Montant affecté au LIGM: 123K€.
- ANR JCJC CAAPS (Combinatorial Analysis of Polytopes and Polyhedral Subdivisions), 2017-2021. Alfredo Hubard. (164K€ total)

Les membres de l'équipe ont également obtenu le financement de 6 PEPS, 4 PHC et un PICS.

Contrats avec les collectivités territoriales

- Unitex-Arabic (contrat SATT IdF-Innov) (2014-2015) (Eric Laporte)
- Projet région Réunion "PANO : Présentation automatique des nombres". Porté par l'université de la Réunion. Didier Caucal, Antoine Meyer). 2016.

Contrats financés dans le cadre du PIA

— Projet d'Investissement d'avenir ABS4NGS cordonné par l'Institut Curie (2012 - 2017),
 2M€ total, Gregory Kucherov (PI).

Contrats financés par des associations caritatives et des fondations (ARC, FMR, FRM, etc.) Sans objet.

11.7.1.11 Post-doctorants et chercheurs seniors accueillis Post-doctorants

- Eduardo Ferraz (2013, postdoctorant 3 mois)
- Alfredo Hubard (2013-2014, postdoctorant)
- Matthew Hague (2013, postdoctorant 6 mois)
- Maciek Sykulski (2014-2015, postdoctorant)
- Tim Smith (2015-2016, postdoctorant)

Chercheurs seniors accueillis

- Jorge Baptista, Univ. d'Algavre, Faculté des Sciences Humaines et Sociales, 2015.
- Imre Bárány, Renyi institute Budapest et University College London, 4 mois, 2015 et 2016.
- Djamal Belazzougui, CERIST Algérie, 1 mois, 2018.
- Michael Berlinkov, Russie, 2 mois, 2015 et 2017. em Boris Bukh, Carneggie-Mellon Univ., 2 fois 1 mois, 2017 et 2018.
- Philippe Duchon (LaBRI) délégation CNRS pour l'année universitaire 2016-2017.
- Zoltan Esik, Szeged University, 1 mois, 2015.
- Pawel Gawrychowski, Université de Wroclaw, Pologne, 1 mois, 2014.
- Roman Kolpakov, Université de Moscou, 2 mois, 2015.
- Cvetana Krstv, Univ. de Belgrade, 2 mois, 2013 et 2016.
- Jesus de Loera, Univ. Calif. Davis, 2 mois, 2015 et 2016.
- Yakov Nekrich, 4 mois 2012-2013.
- Joro Ny Aina Ranaivoarison, Université d'Antananarivo, 1 mois, 2015.
- Romeo Rizzi, Université de Vérone, 1 mois, 2015.
- Dusko Vitas, Univ de Belgrade, 1 mois, 2014.
- Uli Wagner, IST Austria, Vienne, 2 mois, 2014 et 2015.

11.7.1.12 Indices de reconnaissance

Prix

- Claire David a reçu le test of time award à PODS 2016 pour l'article PODS2006 : Two-Variable Logic on Data Tree and XML Reasoning écrit en collaboration avec Mikolaj Bojanczyk, Anca Muscholl, Thomas Schwentick et Luc Segoufin.
- Olivier Curé, meilleur article appliqué, EGC'18.
- Vincent Penelle, best student paper, CSR'15.
- Nicolas Basset, best student paper, ICALP'13.

— Xavier Goaoc, best paper, SoCG'16 et SoCG'18.

Distinctions

- Gregory Kucherov, Marie-Curie Intra-European Fellowship for Career Development pour chercheur confirmé (2012-2014) à l'Université Ben-Gurion en Israel.
- Maxime Crochemore, Docteur Honoris causa, Université de Helsinki, 2013.

Appartenance à l'IUF

Xavier Goaoc est membre junior de l'Institut Universitaire de France (IUF) depuis 2014.

Responsabilités dans des sociétés savantes

Sans objet.

Invitations à des colloques / congrès à l'étranger (16 au total)

Les membres de l'équipe ont reçu 16 invitations à présenter leurs travaux dans des conférences ou groupes de travail internationaux. Dont, en particulier, lors des événements suivants.

- *Cyril Nicaud*, International Meeting on Probabilistic, Combinatorial and Asymptotic Methods for the Analysis of Algorithms (AofA), 2013.
- Cyril Nicaud, International Symposium on Mathematical Foundations of Computer Science (MFCS), 2014.
- Dominique Perrin, International Conference on Words (WORDS), 2015.
- Maxime Crochemore, Combinatorial Pattern Matching (CPM), 2015.
- Cyril Nicaud, Automata: from Mathematics to Applications (AutoMathA), 2015.
- Dominique Perrin, Computability in Europe (CiE), 2016.
- Gregory Kucherov, Combinatorial Pattern Matching (CPM), 2016.
- Gregory Kucherov, Computability in Europe (CiE), special session Algorithmics for biology, 2017.
- *Stéphane Vialette*, International Symposium on String Processing and Information Retrieval (SPIRE), 2017.
- Dominique Perrin, Developments in Language Theory (DLT), 2018.

Séjours dans des laboratoires étrangers (23 au total)

Les séjour les plus significatifs de notre activité sont les suivants.

- Laurent Bulteau, TU Berlin, Allemagne, 2 semaines
- Arnaud Carayol, RWTH Aachen University, Allemagne, 2 semaines
- Arnaud Carayol, RHUL University, UK, 1 semaine
- Claire David, Université d'Edimbourgh, UK, 5 semaines
- Claire David, Université de Varsovie, Pologne, 5 semaines
- Claire David, University of Bayreuth, Allemagne, 1 semaine.
- Eric Colin de Verdière, Charles University, Prague, République Tchèque, 1 semaine
- Xavier Goaoc, KAIST, Daejeon, Corée du Sud, 2+3 semaines
- Xavier Goaoc, CMI, Chennai, Inde, 1 semaine
- Xavier Goaoc, Charles University, Prague, République Tchèque, 2 semaines
- Gregory Kucherov, Ben-Gurion University, Israel, 4-5 mois
- Gregory Kucherov, UMI Poncelet, Innopolis, SkolTeck, Russie, 8 semaines
- Cyril Nicaud, KAIST, Daejeon, Corée du Sud, 2 semaines
- Johan Thapper, University of Oxford, Royaume-Uni, 4 semaines
- Stéphane Vialette, Université de Vérone, Italie, 1 semaine
- Stéphane Vialette, Durham University, UK, 2 semaines

11.7.2 Intéraction avec l'environnement

11.7.2.1 Brevets, licences et déclarations d'invention

Brevets déposés

— Demande de brevet européen No EP17305646. 2017 (10%) - Extraction de l'information tolérante au bruit (Inventeurs : C. Martinez, T. Kyriacopoulou, C. Martineau et A. Schoen).

Brevets acceptés

Sans objet.

Brevets licenciés

Sans objet.

Déclaration d'invention

Sans objet.

11.7.2.2 Interactions avec les acteurs socio-économiques

Contrats de R&D avec des industriels

— Olivier Curé, Contrat avec la société MD101, 2400 euros, 2017-2019.

Bourses Cifre

- Fadhela Kerdjoudj, sous la direction d'Olivier Curé, avec GeolSemantics, de 2011 à 2015, 15 K€.
- Badre Belabbess, sous la direction d'Olivier Curé, avec Atos, début en 2015, 33 K€.
- Xiangnan Ren, sous la direction d'Olivier Curé, avec Atos, début en 2016, 33 K€.

Créations de laboratoires communs avec une / des entreprise(s)

Sans objet.

Création de réseaux ou d'unités mixtes technologiques

Sans objet.

Créations d'entreprises, de start-up

Sans objet.

11.7.2.3 Activités d'expertise scientifique

Activités de consultant

- Olivier Curé a été consultant pour le projet Graph culture du ministère de la culture et de la communication.
- Tita Kyriacopoulou a été consultant pour la société Amabis (1 mois).
- Éric Laporte est membre du comité consultatif de la société Swiss Innovation Valley.

Participation à des instances d'expertise (type Anses) ou de normalisation

Sans objet.

Expertise juridique

Sans objet.

Rapports d'expertises techniques, produits des instances de normalisation

Sans objet.

11.7.2.4 Produits destinés au grand public

Émissions radio, TV, presse écrite

Produits de vulgarisation : articles, interviews, éditions, vidéos, etc.

- Le Parisien, 17/10/2014 Ils roulent pour la recherche, Faustine Léo 41
- Le Monde, 27/03/2013 Nos petites madeleines, Sandrine Blanchard 42

Produits de médiation scientifique

- Xavier Goaoc est membre du comité éditorial de la rubrique Objet du mois du site Images des mathématiques.
- Philippe Gambette et Anthony Labarre ont participé à plusieurs ateliers de médiations scientifiques à destination d'élèves du primaire et du secondaire.

Débats science et société

Sans objet.

11.7.3 Implication dans la formation par la recherche

11.7.3.1 Produits des activités pédagogiques et didactiques

Ouvrages

— Olivier Curé, Guillaume Blin. *RDF Database Systems, 1st Edition : Triples Storage and SPARQL Query Processing.* Morgan Kaufmann, pp.248, 2014.

E-learning, moocs, cours multimedia, etc.

Le projet *Premier Langage*, porté par Dominique Revuz, vise à développer un dispositif d'amélioration des pratiques pédagogiques à destination des enseignants et des apprenants en programmation. Ce projet a bénéficié à travers le programme IDEA d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre du programme Investissements d'avenir (référence ANR-11-IDFI-0022) en complément d'un apport de l'UPEM. Cette aide a permis pendant les années 2016-2018 de développer le serveur d'exercices aléatoires PL. Nous sommes aujourd'hui dans une nouvelle phase de développement et de diffusion et ceci dans le cadre du projet sur initiative *WIMS-évolution* qui a été retenu en Juin 2018, ce projet soutiendra le développement de la plateforme sur les deux prochaines années 2019-2020.

11.7.3.2 Productions scientifiques (articles, ouvrages, etc.) issues des thèses (64 au total)

Remarque : comme pour les autres équipes, nous avons choisi de présenter un article par doctorant ayant publié pendant la période évaluée.

- [MD1] Nicolas Auger, Cyril Nicaud, and Carine Pivoteau. Good predictions are worth a few comparisons. In Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science (STACS 2016), pages 1–14, 2016.
- [MD2] Nicolas Basset. A maximal entropy stochastic process for a timed automaton. In *International Colloquium on Automata, Languages, and Programming (ICALP 2013)*, pages 61–73, 2013.
- [MD3] Marie-Pierre Béal and Pavel Heller. Generalized Dyck Shifts. In *International Computer Science Symposium in Russia (CSR 2017)*, pages 99–111, 2017.
- [MD4] <u>Badre Belabbess</u>, Musab Bairat, <u>Jérémy Lhez</u>, Zakaria Khattabi, Yufan Zheng, and **Olivier Curé**. Scouter: A Stream Processing Web Analyzer to Contextualize Singula-

^{41.} http://www.leparisien.fr/espace-premium/seine-et-marne-77/

ils-roulent-pour-la-recherche-17-10-2014-4218749.php

^{42.} http://www.lemonde.fr/idees/article/2013/03/27/nos-petites-madeleines_3148785_3232.html

- rities. In International Conference on Extending Database Technology (EDBT 2018), 2018.
- [MD5] Valérie Berthé, Clelia De Felice, <u>Francesco Dolce</u>, Julien Leroy, <u>Dominique Perrin</u>, Christophe Reutenauer, and Giuseppina Rindone. Acyclic, connected and tree sets. *Monatshefte für Mathematik*, page 521–550, 2015.
- [MD6] <u>Karel Brinda</u>, Maciej Sykulski, and <u>Gregory Kucherov</u>. Spaced seeds improve k-merbased metagenomic classification. *Bioinformatics*, 2015.
- [MD7] <u>Vincent Carnino</u> and Sylvain Lombardy. Factorizations and universal automaton of omega languages. *International Journal of Foundations of Computer Science*, 25(8):1111–1125, 2014.
- [MD8] Rosa Cetro, Marc M. Barbier, Philippe P. Breucker, Hilde Eggermont, Philippe Gambette, Tita Kyriacopoulou, Xavier Le Roux, Claude Martineau, and Nicolas N. Turenne. Vers une approche semi-automatique pour la définition de motifs d'argumentation utilisés dans les résumés de projets scientifiques du domaine de la biodiversité. Revue des Nouvelles Technologies de l'Information, RNTI-SHS-2:47–80, 2014.
- [MD9] Éric Colin de Verdière, Thomas Magnard, and Bojan Mohar. Embedding graphs into two-dimensional simplicial complexes. In *International Symposium on Computational Geometry (SoCG 2018)*, Budapest, Hungary, 2018.
- [MD10] <u>Carlo Comin</u> and Romeo Rizzi. Improved Pseudo-polynomial Bound for the Value Problem and Optimal Strategy Synthesis in Mean Payoff Games. *Algorithmica*, 77(4):995–1021, April 2017.
- [MD11] Sven De Felice and Cyril Nicaud. Average Case Analysis of Brzozowski's Algorithm. *International Journal of Foundations of Computer Science*, 27(02):109–126, 2016.
- [MD12] <u>Francesco Dolce</u> and <u>Dominique Perrin</u>. Neutral and tree sets of arbitrary characteristic. <u>Theoretical Computer Science</u>, 658(part A):159–174, 2017.
- [MD13] Houda Khrouf, <u>Badre Belabbess</u>, Laurent Bihanic, Gabriel Képéklian, and <u>Olivier Curé</u>. WAVES: Big Data Platform for Real-time RDF Stream Processing. In *International Workshop on Stream Reasoning (SR 2016)*, pages 37–48, 2016.
- [MD14] <u>Gregory Kucherov</u>, <u>Kamil Salikhov</u>, and Dekel Tsur. Approximate string matching using a bidirectional index. *Theoretical Computer Science*, 638:145–158, 2016.
- [MD15] Roberto Leonarduzzi, Patrice Abry, Stéphane Jaffard, Herwig Wendt, Lucie Gournay, <u>Tita Kyriacopoulou</u>, Claude Martineau, and <u>Cristian Martinez</u>. P-leader multifractal analysis for text type identification. In *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2017)*, pages 4661–4665, 2017.
- [MD16] <u>Jérémy Lhez</u>, <u>Xiangnan Ren</u>, <u>Badre Belabbess</u>, and <u>Olivier Curé</u>. A Compressed, Inference-enabled Encoding Scheme for RDF Stream Processing. In *International Conference on The Web Semantic (ESWC 2017)*, pages 79–93, 2017.
- [MD17] Paul Morel, Ryan Thomas Flynn, Edgar Gelover, Guillaume Blin, Stéphane Vialette, Xiadong Wu, and Dongxu Wang. MSPT: An open-source motion simulator for proton therapy. Biomedical Physics & Engineering Express, 1(3):12 pp., 2015.
- [MD18] <u>Both Emerite Neou</u>, Romeo Rizzi, and <u>Stéphane Vialette</u>. Pattern Matching for Separable Permutations. In *International Symposium on String Processing and Information Retrieval (SPIRE 2016)*, pages 260–272, October 2016.
- [MD19] <u>Vincent Penelle</u>. Rewriting Higher-Order Stack Trees. In *International Computer Science Symposium in Russia (CSR 2015)*, pages 364–397, 2015.

- [MD20] Xiangnan Ren, Olivier Curé, Hubert Naacke, Jérémy Lhez, and Ke Li. Strider R: Massive and Distributed RDF Graph Stream Reasoning. In *IEEE International Conference on Big Data (Big Data 2017)*, pages 1–10, 2017.
- [MD21] Andrew Ryzhikov and Marek Szykula. Finding short synchronizing words for prefix codes. In *International Symposium on Mathematical Foundations of Computer Science* (MFCS 2018), pages 1–14, 2018.

11.7.3.3 Efficacité de l'accompagnement des étudiants et qualité de leur encadrement (financement, durée des thèses, taux d'abandon)

La plupart des financement de thèse viennent d'allocations ministérielles données par nos tutelles, de contrats publics, d'allocations spéciales normaliens. On notera toutefois trois thèses CIFRE sur la période. La durée moyenne des thèse est de 43 mois.

11.7.3.4 Suivi des doctorants en liaison avec les écoles doctorales et attention portée à l'insertion professionnelle des docteurs

Le suivi des doctorants est institutionnalisé au niveau de l'école doctorale, où sont organisés des comités de suivi individuels. Éric Laporte est le responsable de l'organisation de ces suivis.

- 11.7.3.5 Labellisation nationale ou internationale des formations (Erasmus mundus p. ex.)

 Sans objet.
- 11.7.3.6 Accompagnement des séminaires de doctorants par des chercheurs; degré de participation des doctorants à la vie de l'entité de recherche

Nicolas Auger a été élu au conseil de l'école doctorale en 2016.

11.7.3.7 Mobilisation des chercheurs dans le montage de formation de niveau master

Xavier Goaoc, responsable du Master Mention Informatique de l'IGM, a initié une évolution du parcours type *Informatique Fondamentale* (effective dès la rentrée 2018-2019) vers un parcours type entièrement mutualisé commun aux masters mention Informatique et mention Mathématiques et Applications. Les cours seront assurés conjointement avec nos collègues mathématiciens et s'adresseront à des étudiants en mathématiques et en informatique.

12 Signal et communication

12.1 Présentation de l'équipe

12.1.1 Introduction

Les travaux de l'équipe relèvent principalement du traitement du signal et des images au sens large (mathématiques appliquées, communications numériques, problèmes inverses, théorie de l'information), avec une composante méthodologique marquée et des liens forts avec les mathématiques appliquées relevant des statistiques, probabilités, optimisation, analyse convexe. A travers différentes actions locales (ANR, co-direction de thèse), l'équipe entretient des liens forts avec le laboratoire de mathématiques (LAMA) et participe ainsi à l'animation du labex Bézout.

L'équipe est internationalement reconnue pour ses travaux en matrices aléatoires en lien avec les applications en sciences de l'ingénieur (communications numériques et traitement statistique du signal), pour ses travaux en théorie de l'information et pour ses travaux en optimisation en application avec le traitement d'image.

Quoique de petite taille (8 permanents en régime moyen), l'équipe a, sur la période considérée, vu deux de ses membres (par ailleurs Fellows IEEE) reçus à l'IUF; un de ses membres a constamment occupé le poste de DU adjoint du LIGM; un de ses membres a fait partie du CoNRS (section 7) pour une mandature et s'occupe actuellement du Labex Bézout, un autre a été membre du CNU en 2015/16; enfin un membre de l'équipe a créé et dirige actuellement un GDR (sections 7 et 41 du CNRS).

La création d'une activité de recherche en traitement du signal à l'UPEM remonte à 1995, avec entre autre le recrutement de Philippe Loubaton, toujours en poste actuellement. Philippe Loubaton a monté la thématique autour des matrices aléatoires et leurs applications (communications numériques et traitement statistique du signal) en 2001. Cette thématique s'est renforcée avec les arrivées de Jamal Najim en 2012 (actuellement directeur adjoint du LIGM) et de Walid Hachem en 2017 (tous deux DR CNRS). Antoine Chevreuil est également actif sur cette thématique depuis fin 2017.

Jean-François Bercher et Abdellatif Zaidi animent la thématique théorie de l'information (en particulier en ce qui concerne l'étude de mesures informationnelles et de transmission sur canaux dépendant de paramètres aléatoires et compression distribuée de source). Pour Abdellatif Zaidi, qui est en détachement à temps plein au sein du"Mathematical and Algorithmic Sciences Laboratory"

de Huawei France depuis Janvier 2015, il a été jugé préférable d'inclure dans ce rapport ses activités sur 2013-2014, même s'il a continué à publier activement depuis son détachement.

Jean-Christophe Pesquet et Emilie Chouzenoux sont actifs sur la thématique problèmes inverses, optimisation convexe et non convexe avec applications au traitement des images et à l'imagerie. Jean-Christophe Pesquet, longtemps un pilier de l'équipe a quitté l'université en 2016.

Walid Hachem, arrivé en mutation en 2017, est actif sur la thématique "matrices aléatoires et applications" et effectue également des recherches dans les domaines de l'optimisation convexe et de l'approximation stochastique et de leurs applications en apprentissage statistique.

Enfin, François-Xavier Vialard (CEREMADE, Dauphine) a été récemment recruté professeur et rejoindra officiellement l'équipe en septembre 2018, soit juste après la période évaluée.

12.1.2 Effectifs

L'équipe comprend 8 permanents, dont 2 CNRS. Le poste de PR 61 laissé vacant par Jean-Christophe Pesquet en 2017 a été pourvu au concours en 2018 avec le recrutement de François-Xavier Vialard, qui arrivera après la période évaluée. Tous les membres de l'équipe sont habilités.

| BERCHER | Jean-François | PR ESIEE | Doyen (2016-20) (cf. détails en section 12.1.3) à l'ESIEE |
|------------|-----------------|----------|---|
| CHEVREUIL | Antoine | MdC UPEM | |
| CHOUZENOUX | Emilie | MdC UPEM | Délégation INRIA (2016-18) |
| HACHEM | Walid | DR CNRS | Arrivée en 2017, directeur adjoint GDR ISIS |
| LOUBATON | Philippe | PR UPEM | Membre du CoNRS section 7 (2012-16), IUF (2012-16) |
| NAJIM | Jamal | DR CNRS | Directeur GDR MEGA (2017-21), chef d'équipe |
| PESQUET | Jean-Christophe | PR UPEM | IUF senior (2016-20), départ en 2016 |
| ZAIDI | Abdellatif | MdC UPEM | Détachement chez HUAWEI depuis 2015, membre du CNU (2015-16) |

Doctorants

| Nom | Prénom | Directeur(s) | Dates | Titre |
|-----------|-----------|------------------------|---------|---|
| Abboud | Feriel | Pesquet, Chouzenoux | 2013-17 | Restauration super-résolution de séquences d'images, applications aux documents d'archives TV. |
| El Gheche | Mireille | Pesquet | 2010-14 | Méthodes proximales convexes pour la minimisation des Phi-divergences. Applications à la stéréo vision. |
| Hiltunen | Sonja | Loubaton | 2012-15 | Systèmes MIMO pour formes d'ondes mono-porteuses et canal sélectif en présence d'interférences. |
| Marnissi | Yosra | Pesquet, Chouzenoux | 2013-17 | Méthodes bayésiennes pour la résolution des problèmes inverses de grande dimension en traitement signal/images. |
| Pham | Gia-Thuy | Loubaton | 2013-17 | Applications des grandes matrices aléatoires aux traitements du signal de grandes dimensions. |
| Pham | May-Quyen | Pesquet | 2011-15 | Représentations parcimonieuses pour la res- tauration et l'analyse quantitative de champs d'ondes en sismiques. |

| Pirayre | Aurélie | Pesquet | 2013-17 | Reconstruction et classification par optimi- sation dans des graphes avec a priori pour les réseaux de gènes et les images. |
|------------------|------------|-------------------------------|-----------|---|
| Repetti | Audrey | Pesquet, Chouzenoux | 2011-15 | Algorithmes d'optimisation en grande dimension : applications à la résolution de problèmes inverses. |
| Tieplova | Daria | Loubaton, Pastur (Ukraine) | 2017 | Applications des grandes matrices aléatoires à l'analyse des séries temporelles multivariables. |
| Tian | Peng | Najim, Merlevède (LAMA | 2015 - 18 | Grandes matrices aléatoires et processus à mémoire longue. |
| Ugur | Yigit | Rachedi (LRT), Zaidi | 2016 | Codage distribué de sources dans les systèmes de communications CRAN. Approches Théorie de l'Information et réseaux de points. |
| El Soussi (*) | Mohieddine | Zaidi, Vandendorpe | 2010-14 | Network coding for the multiple access relay channel |
| Smirani (*) | Sinda | Zaidi, Duhamel, Kamoun | 2011-15 | Étude du codage réseau au niveau de la couche physique pour les canaux bidirectionnels à relais |

^(*) non membres du laboratoire mais co-encadrés par un membre du laboratoire.

ATER et Postdocs

Audrey Repetti, Feriel Abboud, Sonja Hiltunen, Rawa Masmoudi ont occupé un poste d'ATER au LIGM dans l'équipe pendant un an.

Yuling Zheng (de novembre 2015 à septembre 2016) a effectué un postdoc avec Émilie Chouzenoux sur le développement d'approches de type Bayes variationnelles pour la restauration d'images. Alessandro Benfenati (de mars 2016 à avril 2017) a effectué un postdoc avec Emilie Chouzenoux sur la proposition de nouvelles approches d'optimisation pour la résolution de problèmes d'estimation de matrices de covariance associées à des modèles graphiques gaussiens.

12.1.3 Interactions locales et nationales

L'équipe collabore de façon soutenue avec les chercheurs de l'équipe A3SI de l'ESIEE (Hugues Talbot, Giovani Chierchia, Laurent Najman), à travers des projets ANR (DIAMOND, GRAPHSIP, MAJIC), CNRS (NextGenBP, TABASCO) et des co-encadrements de thèse.

L'équipe entretient de nombreuses interactions sur la thématique des matrices aléatoires et de la statistique en grande dimension avec le laboratoire de mathématiques LAMA à travers des ANR (DIONISOS 2012-16 et HIDISTA 2017-21) auxquelles ont participé Cristina Butucea et Florence Merlevède, professeurs au LAMA. Une thèse en cotutelle est actuellement encadrée par Jamal Najim et Florence Merlevède.

Le CEA NEUROSPIN, et l'IFPEN sont des partenaires industriels privilégiés de l'équipe (projets ANR, co-tutelle de thèse, contrats). Mentionnons également des collaborations avec l'INA (co-encadrement de thèse), Saint-Gobain (co-encadrement de stage M2), Thalès (co-encadrement de thèse), Thalès Alenia Space (contrat).

Les membres de l'équipe sont très impliqués localement. Jean-Christophe Pesquet a été directeur d'unité adjoint du LIGM (UMR 8049) entre 2013 et 2016, Jamal Najim lui a succédé en 2016. Philippe Loubaton a été directeur du labex Bézout entre 2014 et 2018. Emilie Chouzenoux a été chef de département DUT MMI Meaux - IUT de Marne la Vallée. Jean-François Bercher est responsable à l'ESIEE de la filière "Télécommunication" jusqu'en 2014, puis "Data, réseaux et

internet des objet" depuis. Il est doyen ¹ du corps professoral permanent de l'ESIEE depuis le 1er janvier 2016 (élu en octobre 2015 pour un mandat de 4 ans).

Au niveau national, Jamal Najim a proposé la création du GDR MEGA (Matrices et Graphes Aléatoires) qu'il dirige de 2017 à 2021, Philippe Loubaton a été membre du CoNRS (section 7) de 2012 à 2016, Abdellatif Zaidi a été membre du CNU (section 61) en 2015-16 et Walid Hachem est directeur adjoint du GDR ISIS depuis 2013.

Philippe Loubaton a été membre sénior de l'IUF de 2012 à 2017 et Jean-Christophe Pesquet est membre senior de l'IUF depuis 2016.

12.1.4 Rayonnement international

Les travaux de l'équipe sont reconnus internationalement et les membres sont régulièrement sollicités comme conférenciers invités, ou pour faire partie de comités de programme, de comités éditoriaux ou de comités techniques.

On peut notamment signaler que Jean-Christophe Pesquet a été membre du comité de GRETSI à trois reprises et Area Chair d'European Signal Processing Conference à quatre reprises. Emilie Chouzenoux est membre élue (2017) du comité technique "Signal Processing Theory and Methods" de la IEEE Signal Processing Society et depuis 2018 du comité technique "Signal and Data Analytics for Machine Learning" de EURASIP. Abdellatif Zaidi est éditeur associé pour IEEE Trans. on Wireless Communications (depuis 2016), pour EURASIP JWCN (2011-14). Jamal Najim a co-organisé la série de conférences "Random Matrices and Their Applications" en 2015 (Hong Kong) et 2018 (Kyoto) (série qu'il a initiée en 2010 et 2012 à Télécom Paristech).

Les membres de l'équipe sont régulièrement invités à donner des conférences plénières ou invitées : Jean-François Bercher (Entropy 2018), Emilie Chouzenoux (journée GDR ISIS 2015), Philippe Loubaton (colloque en l'honneur des 95 ans de V.A. Marcenko - 2017), Jamal Najim (conférence LINSTAT, 2014).

Côté distinctions notables, Philippe Loubaton a obtenu le grand prix Emilia Valori de l'Académie des Sciences en 2018; Abdellatif Zaidi a reçu le N# Best Paper Award pour son article [SJ12] "On Cooperative Multiple Access Channels with Delayed CSI at Transmitters", IEEE Trans. on Inf. Theory, 2014, avec S. Shamai (Shitz).

12.1.5 Formation par la recherche

Trouver des bons doctorants sur les thématiques de l'équipe est difficile localement et les membres de l'équipe donnent régulièrement des cours dans des masters recherche hors UPEM.

Jamal Najim intervient depuis plusieurs années dans le master M2 de mathématiques de l'UPEM. Emilie Chouzenoux et Jamal Najim interviennent au master MVA à l'ENS Cachan. Walid Hachem intervient dans le master M2 Datasciences (Ecole Polytechnique, Télécom ParisTech, UPSud, ENSAE).

Les membres de l'équipe participent régulièrement à des écoles thématiques sur leur discipline. Jamal Najim a donné des cours dans plusieurs écoles d'été, à destination de doctorants et chercheurs (Ecole d'été Gretsi à Peyresq - 2014, Swiss doctoral school in mathematics - 2014, Ecole de printemps à Tunis - 2015). Philippe Loubaton a organisé une école d'été à Télécom Paristech - 2016, et a été directeur scientifique de l'Ecole d'été Gretsi à Peyresq - 2014.

^{1.} Ce poste correspond à une décharge administrative de 50%. Le doyen est chargé de la valorisation, représentation et gestion courante et prévisionnelle du corps professoral permanent (y compris les CDD), soit environ 100 enseignants-chercheurs.

12.2 Produits et activités de recherche de l'équipe

12.2.1 Bilan scientifique

12.2.1.1 Contributions méthodologiques et applicatives à la théorie des grandes matrices aléatoires

Antoine Chevreuil, Walid Hachem, Philippe Loubaton et Jamal Najim travaillent sur ce thème au sein de l'équipe, et ont encadré plusieurs doctorants sur ces thématiques (Gia-Thuy Pham, Sonja Hiltunen, Peng Tian, Daria Tieplova). Les travaux associés ont été publiés dans les meilleures revues de probabilité (Annals of Probability, Annals of Applied Probability, Electronic Journal of Probability, etc.) et d'electrical engineering (IEEE Transactions on Signal Processing, etc.).

Applications au traitement du signal en grande dimension.

Philippe Loubaton coordonne les activités autour de cette thématique.

Du fait du développement des dispositifs d'acquisition et des réseaux de capteurs, il est de plus en plus fréquent d'être confronté à des signaux multivariables de grande dimension. Dans ce type de contexte, il n'est pas toujours possible de disposer d'un nombre d'observations N très nettement supérieur à leur dimension M. Un certain nombre de techniques d'inférence statistique ne fonctionnent alors plus, et il est nécessaire de mettre en évidence de nouvelles méthodologies. Cette problématique relève des statistiques en grande dimension qui fait l'objet de très nombreux travaux depuis maintenant une quinzaine d'années. Les approches les plus étudiées sont basées sur l'utilisation d'informations a priori reflétant la parcimonie de certains paramètres. Cependant, lorsque ce type d'hypothèse n'est pas vérifiée, la théorie des grandes matrices aléatoires peut constituer un cadre d'analyse alternatif. Les travaux de l'équipe se situent dans cette optique. Ils ont concerné d'une part la mise en évidence de nouveaux outils relatifs aux grandes matrices aléatoires, et d'autre part leurs applications au traitement du signal en grande dimension.

Localisation par méthode sous-espace avec grand nombre de capteurs. Dans le cadre du projet ANR Dionisos coordonné par Philippe Loubaton, nous avons adapté les méthodes de localisation de type sous-espace dans le cas où le nombre de capteurs M est grand. Pour ceci, nous avons caractérisé le comportement asymptotique des approches usuelles et mis en évidence des techniques plus performantes dans le cas de sources proches ([SJ10]).

Des résultats préliminaires concernant le comportement de matrices de covariance spatiotemporelles empiriques ont également été obtenus ([SJ8]), avec des applications à des problèmes de détection non supervisés de signaux transmis dans des canaux sélectifs en fréquence (thèse de Gia-Thuy Pham). Ces premiers travaux ont permis de définir le projet ANR HIDITSA accepté en 2017 (coordinateur Philippe Loubaton), consacré au développement d'approches basées sur les grandes matrices aléatoires pour l'analyse des séries temporelles de grandes dimensions.

La thèse Cifre de Sonja Hiltunen en collaboration avec Thalès-Communication a par ailleurs permis d'aborder la détection supervisée d'un signal connu (séquence d'apprentissage dans le contexte de la synchronisation dans les systèmes multi-antennes) transmis dans des canaux sélectifs en fréquence grâce à des observations prélevées sur un grand réseau de capteurs. Les performances de tests classiques tel que le GLRT ont été revisitées dans le contexte des grandes dimensions ([SC12]).

Parallèlement, des travaux ont été développés autour des tenseurs en grande dimension par Antoine Chevreuil et Philippe Loubaton. Ces objets apparaissent naturellement dans un certain nombre de situations où l'observation disponible ne se présente pas sous la forme de vecteurs de grande dimension.

Si la détection d'un tenseur de petit rang perturbé par un tenseur à éléments gaussiens indépendents et identiquement distribués est à cet égard un problème particulièrement pertinent et beaucoup

étudié depuis 2014, la quasi-totalité des résultats disponibles concernaient la détection d'un tenseur de rang 1. Antoine Chevreuil et Philippe Loubaton ont donc considéré le cas de tenseurs de rang plus grand que 1, et ont montré que, comme dans le cas des tenseurs de rang 1, il n'est pas possible de mettre en évidence de tests de détection plus performants qu'un choix aléatoire si une quantité dépendant implicitement du rapport signal à bruit est plus petite qu'un certain seuil ([SC8]). Ils ont également particulisé ce résultat dans le cas d'une observation matricielle, et établi la non existence de test de détection consistant si le carré de la plus grande valeur singulière de la matrice de petit rang à détecter est plus petite que le produit de la variance du bruit avec la racine carrée du rapport des dimensions de la matrice ([SC7]). Ceci vient compléter la panoplie des résultats disponibles concernant les statistiques des modèles "spiked additif" de grandes matrices aléatoires.

Fluctuations locales et globales pour le spectre de grandes matrices aléatoires.

Etant donnée une grande matrice aléatoire hermitienne (comme par exemple une grande matrice de covariance empirique) de valeurs propres réelles (λ_i) , il est intéressant, après avoir décrit le comportement asymptotique du spectre de ses valeurs propres lorsque les dimensions de la matrice aléatoire tendent vers l'infini, de s'intéresser aux fluctuations dudit spectre. Fluctuations globales de statistiques linéaires du type $\sum_i f(\lambda_i)$ ou fluctuations individuelles des valeurs propres λ_i . Les travaux de l'équipe (Walid Hachem, Jamal Najim et Peng Tian - doctorant) ont porté sur ces deux aspects.

Les fluctuations globales de statistiques linéaires $\sum_i f(\lambda_i)$ pour des modèles "réalistes" de grandes matrices de covariance empirique (modèles linéairement corrélés et modèles non centrés) ont été établies sous des hypothèses quasi-optimales, à la fois en termes des entrées aléatoires des matrices (la contrainte forte de premiers moments gaussiens et quatrième cumulant nul a été levée), et en termes de régularité de la fonction f intervenant dans la statistique linéaire. Ces travaux ont étendu le célèbre résultat de Bai et Silverstein (Annals of Probab. 2004)

Les fluctuations locales des valeurs propres ont également été étudiées pour les grandes matrices de covariance. Pour de telles matrices, le spectre asymptotique peut présenter plusieurs composantes connexes et l'étude des valeurs propres aléatoires "extrémales" (i.e. les valeurs propres aux bords des composantes connexes du spectre) a été menée dans le cas de variables aléatoires gaussiennes complexes. Dans un tel cas, les valeurs propres ont une structure déterminantale (ce qui signifie que le terme répulsif de la densité des valeurs propres s'exprime à l'aide d'un déterminant), ce qui permet l'analyse des fluctuations locales à partir de l'étude asymptotique de la densité via une technique de "steepest descent analysis".

Enfin, un dernier cas de fluctuations locales a été étudié, celui des k plus grandes valeurs propres (k étant fixé) associées à la matrice de covariance empirique d'observations issues d'un processus stationnaire à longue mémoire. Le spectre asymptotique d'une telle matrice est non bornée, ce qui implique que les plus grandes valeurs propres tendent vers l'infini. L'étude des fluctuations des k plus grandes valeurs propres repose d'une part sur des techniques de grandes matrices aléatoires assez standards et aussi sur l'analyse fine des propriétés spectrales de la matrice de covariance de population associée (matrice déterministe), qui est une matrice de Toeplitz. Ces travaux ont été menés dans le cadre de la thèse de Peng Tian co-encadrée par Jamal Najim (LIGM) et Florence Merlevède (LAMA).

Modèles non-hermitiens.

Récemment, l'étude de modèles de grandes matrices aléatoires non-hermitiennes, du type $\left(\frac{1}{\sqrt{n}}\sigma_{ij}X_{ij}\right)$ avec un profil de variance (σ_{ij}) et des entrées aléatoires (X_{ij}) indépendantes et identiquement distribuées (i.i.d.) a été menée dans le cas d'un profil de variance potentiellement lacunaire, c'est-à-dire dont certaines entrées σ_{ij} sont nulles. Ce modèle généralise la loi du cercle (Girko's $circular\ law$) qui exprime la distribution spectrale asymptotique d'une matrice non-hermitienne à entrées i.i.d. La donnée d'un profil de variance (σ_{ij}) rend ce modèle très flexible et permet son

utilisation dans différents contextes applicatifs.

Dans l'étude des propriétés spectrales asymptotique de grandes matrices non-hermitiennes, la principale difficulté technique consiste à contrôler la plus petite valeur singulière de la matrice et à quantifier son comportement en zéro. L'étude d'un modèle à profil de variance potentiellement lacunaire accentue cette difficulté selon l'heuristique que plus des entrées de la matrice seront nulles, plus la plus petite valeur singulière aura tendance à se concentrer en zéro. Ce verrou a été levé en 2016, donnant lieu des travaux dont le premier est actuellement en révision pour publication.

12.2.1.2 Minimisation en grande dimension et application au traitement d'image

Les travaux de recherche de Emilie Chouzenoux et Jean-Christophe Pesquet sont consacrés au développement de nouvelles approches algorithmiques efficaces pour les problèmes de minimisation en grande dimension qui se posent lors de la résolution des problèmes inverses en traitement du signal et des images. Dans un tel contexte, la difficulté réside à la fois dans la forme complexe des fonctionnelles à minimiser (ex : fonctions non convexes, fonctions non lisses), et dans le très grand nombre de variables à gérer. Des stratégies de résolution performantes et ayant une complexité de calcul limitée ont été proposées, faisant face à la grande dimensionalité des données mises en jeu dans ces domaines. Un effort particulier a été mis sur l'analyse de la convergence théorique des algorithmes proposés en utilisant des outils récents d'analyse non lisse.

Contributions méthodologiques majeures :

- Algorithmes d'optimisation basés sur le principe de majoration-minimisation. Analyse de convergence dans un cadre non convexe sous hypothèse de Kurdyka-Lojasiewicz. Accélération par approche parallèle par blocs. Extension au contexte de l'optimisation stochastique [SJ5].
- Algorithmes d'optimisation proximaux primaux-duaux. Etude de convergence suivant le cadre formel des opérateurs monotones. Approches primales-duales distribuées.
- Approches hybrides de résolution de problèmes inverses, mixant outils de simulation/approximation bayésiennes et outils modernes d'optimisation.

Applications:

Les méthodes développées répondent à des besoins applicatifs réels dans des domaines variés tels que la microscopie biologique, l'imagerie médicale, la spectroscopie, l'analyse de données sismiques, l'inférence de données génomiques, ou le traitement d'archives vidéo.

12.2.1.3 Théorie de l'information

Jean-François Bercher et Abdellatif Zaidi travaillent sur ce thème au sein de l'équipe.

Théorie de l'information pour communication et compression de données

Les canaux dépendants d'un ou plusieurs paramètres aléatoires peuvent modéliser une large variété de problèmes, correspondant chacun à une situation physique d'intérêt. Un élément-clé dans l'étude de ces canaux est de savoir si oui ou non les paramètres sont connus de tous, seulement de quelques-uns, ou d'aucun des terminaux qui communiquent sur le canal. Si les paramètres sont connus par seulement quelques-uns des terminaux communiquants, le système affiche une certaine dissymétrie qui rend sa conception et l'étude des performances correspondantes très difficiles. En particulier, d'un point de vue théorie de l'information, la dissymmétrie rend impossible l'utilisation des outils classiques de théorie de l'information. Abdellatif Zaidi et ses co-auteurs obtenu des résultats [SJ11, SJ12, SJ13] et [SC22, SC21] pour caractériser les régions de capacité de modèles de canaux à accès multiples et canaux à relais avec information adjacente asymétrique dans un certain nombre de situations. Pour certains, les résultats sont optimaux; et pour d'autres les bornes développées sont les meilleures connues à ce jour pour ces modèles.

Codage Intéractif, Sécurité par la Couche Physique et Confidentialité

Dans une ligne complémentaire de recherche, l'étude des performances de transmission et compression de données *sous contrainte de sécurité* a également été menée [SC19, SC18, SC20, SC1]. Dans ce cas, les échanges entre les differents nœuds ont pour but de permettre le calcul des fonctions désirées mais sans en divulguer les argument.

Théorie de l'information : caractérisation des régions de capacité

Abdellatif Zaidi et Shlomo Shamai ont réussi à caractériser complètement la région de capacité de Shannon d'un canal discret sans mémoire à accès multiple (MAC) dépendant d'un état aléatoire qui n'est connu que par un seul des émetteurs. Dans une autre contribution, Abdellatif Zaidi et ses collaborateurs ont réussi à caractériser la région de capacité d'un MAC avec connaissance non causale de l'état du canal à un seul des émetteurs, et ce dans les deux cas, canaux discrets sans mémoire et canaux gaussiens sans mémoire. L'un de ces deux articles, [SJ12], a obenu le prix du N# Best Paper Award en 2014.

Mesures d'information généralisées

Nous nous intéressons à la caractérisation et aux interrelations entre mesures d'information. Nous avons montré que les relations standard liant l'entropie de Shannon, l'information de Fisher et la distribution gaussienne peuvent être étendues aux entropies de Rényi-Tsallis, une information de Fisher généralisée et une famille de gaussiennes généralisées [SJ1, SJ2]. De nouvelles inégalités fonctionnelles peuvent en être déduites. En lien avec la physique non-extensive et partant de nos extensions de l'inégalité de Cramér-Rao, de nouvelles relations d'incertitude ont été introduites. Nous avons récemment montré comment définir des ϕ -entropies, admettant des lois à maximum d'entropie données, et y associer de nouvelles formes d'information de Fisher afin que la plupart des inégalités informationnelles soient préservées [SC5]. De telles ϕ -entropies pouvant par ailleurs servir de potentiel convexe dans des problèmes d'optimisation [SS1].

12.2.2 Données chiffrées

| SIGNAL | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | Total |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Journaux | 14 | 11 | 11 | 14 | 6 | 8 | 64 |
| Actes de conférences | 23 | 17 | 25 | 13 | 17 | 9 | 104 |
| Chapitres d'ouvrages | 2 | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 6 |
| Total | 39 | 30 | 37 | 27 | 24 | 17 | 174 |

12.2.3 Activité contractuelle

Les membres de l'équipe ont une activité contractuelle soutenue, en termes de thèses CIFRE (Hiltunen chez Thalès Communications, Pham à l'IFP, Ugur chez Huawei), de contrats ANR (MDCO, blanc, JCJC, total 490 kE pour le LIGM), CNRS (Mastodons), etc.

12.2.4 Faits marguants scientifiques

— Autour de Philippe Loubaton, Walid et Jamal Najim (mais aussi Florence Merlevède et Cristina Butucea du LAMA), des progrès importants ont été réalisés en traitement statistique du signal mettant en jeu des observations dont la (grande) dimension est du même ordre de grandeur que dans le nombre d'échantillons disponibles.

- Walid Hachem et Jamal Najim ont par ailleurs étudié (avec leurs collègues américains Cook et Renfrew) des modèles de grandes matrices aléaoires non hermitiennes avec profil de variance dans le cas où le profil de variance peut être lacunaire, une telle hypothèse étant centrale dans de nombreuses applications. L'étude de grandes matrices aléatoires non hermitiennes est notablement difficile, l'un des verrous techniques étant la quantification précise du comportement vers zéro de la plus petite valeur singulière. Dans le cas d'un profil de variance lacunaire, ce verrou est d'autant plus difficile à lever. Ce long travail, achevé en 2016, est actuellement en révision pour publication.
- Recherche reproductible en optimisation: mise en ligne en janvier 2018 du site http://proximity-operator.net/ (Emilie Chouzenoux co-responsable du site). Ce site à visée participative, réalisé dans le cadre du défi CNRS Mastodons TABASCO, porté par Emilie Chouzenoux, met à la disposition des chercheurs et jeunes chercheurs des ressources pédagogiques en optimisation ainsi que des algorithmes implémentés en Matlab et en Python.

12.3 Analyse SWOT

Points forts

Les points forts de l'équipe signal et communication sont la qualité de sa production scientifique, illustrée par de nombreux articles dans les meilleures revues scientifiques en sciences de l'ingénieur, probabilités et mathématiques appliquées. L'équipe est parfaitement insérée localement : Jean-Christophe Pesquet a été DU adjoint jusqu'en 2016 puis remplacé à ce poste par Jamal Najim. Philippe Loubaton a été porteur du Labex Bézout de 2014 à 2018, Jean-François Bercher est actuellement doyen du corps professoral à l'ESIEE. Enfin, Emilie Chouzenoux a été chef du département DUT MMI à Meaux/IUT de Marne La Vallée. Par ailleurs, l'équipe jouit d'une excellente visibilité au sein de la communauté nationale et internationale. L'arrivée d'un DR CNRS (Walid Hachem) en 2017 confirme l'attractivité de l'équipe.

Points à améliorer

L'une des difficultés majeures de l'équipe est de trouver de bons doctorants et stagiaires. La petite taille de l'équipe et la relative individualisation des thématiques rend chaque départ (pour cause de mutation, promotion, détachement) problématique dans la perspective de la pérennisation des thèmes représentés.

Possibilités liées au contexte

Actuellement un poste PR61 a été ouvert suite au départ de Jean-Christophe Pesquet et pourvu via le recrutement de François-Xavier Vialard. Ce recrutement va permettre un renouveau thématique et le développement de nouvelles interactions au sein du Labex Bézout.

Une réflexion autour d'une offre pédagogique autour du "big data" est menée par Walid Hachem, en collaboration avec Jean-François Bercher. Par ailleurs, celui-ci développe des interactions naissantes avec l'IFSSTAR, partenaire important dans le cadre de l'I-SITE, sur cette même thématique. L'idée serait à court terme de proposer une formation appliquée de type master.

Risques liées au contexte

Le départ de Jean-Christophe Pesquet et la délégation INRIA d'Emilie Chouzenoux fragilisent la thématique image & optimisation. Le détachement à 100% d'Abdellatif Zaidi chez Huawei depuis 2015 fragilise la thématique "théorie de l'information".

Des départs vont avoir lieu dans les prochaines années (retraite ou promotion de maîtres de conférence). Il faut dès à présent les anticiper.

L'éclatement physique temporaire du laboratoire lié aux travaux de réhabilitation du bâtiment Copernic isole momentanément l'équipe du reste du laboratoire. De nombreuses inconnues persistent quant à l'insertion et la valorisation de l'équipe dans le futur projet I-SITE.

12.4 Projet scientifique à 5 ans

12.4.1 Outils statistiques pour le traitement de données en grande dimension

Les connexions entre les techniques d'analyse des séries temporelles multivariables et les grandes matrices aléatoires sont très peu développées aujourd'hui. Nous allons donc revisiter suivant cette approche les outils classiques d'analyse des séries temporelles multivariables dans le contexte des grandes dimensions. Nous nous proposons d'étudier et d'améliorer les techniques existantes d'estimations spectrales non paramétriques, ainsi que les estimateurs paramétriques traditionnels (modèles ARMA vectoriels, modèles d'état) lorsque la dimension des observations et le nombre d'échantillons tendent vers l'infini. Ces recherches se développeront dans le cadre du projet ANR HIDITSA. Nous allons également poursuivre nos travaux sur les tenseurs aléatoires de grandes dimensions en poursuivant les premiers travaux effectués autour des tenseurs de petits rangs bruités qui font l'objet actuellement de nombreux travaux. Après nous être intéressés à des problèmes de détection, nous allons considérer la problématique de l'estimation des paramètres des tenseurs de petits rangs bruités. Enfin, nous allons revenir à l'étude des techniques de séparation de sources basées sur des cumulants d'ordre élevés dans le contexte des grandes dimensions [SC11], qui, faute de ressources humaines, n'avaient pas pu être abordées lors du dernier quinquenal. Nous allons en particulier étudier le comportement des grandes matrices aléatoires construites à partir de cumulants estimés, utilisées en séparation de sources, et en déduire des algorithmes bien adaptés au contexte des grandes dimensions.

12.4.2 Dynamiques d'algorithmes de simulation et d'optimisation en contexte stochastique

L'optimisation et la simulation sont au cœur des domaines de l'apprentissage statistique et de l'intelligence artificielle. Nos recherches dans ce cadre sont au carrefour de la théorie de l'optimisation et la théorie de l'approximation stochastique [SJ3].

Nous chercherons dans un premier temps à développer un cadre d'étude d'algorithmes généraux d'approximation stochastique et de simulation, couvrant en particulier le contexte d'un environnement non-stationnaire, mettant en jeu des systèmes dynamiques non autonomes. En allant au delà de la méthode de l'équation différentielle ordinaire (EDO), bien connue en théorie classique de l'approximation stochastique, nous chercherons à étudier les trajectoires d'algorithmes stochastiques non stationnaires à la lumière d'*inclusions différentielles non autonomes*, dont l'étude dynamique est plus compliquée que les précédentes.

Dans un deuxième temps, nous nous attaquerons à l'analyse des fluctuations des trajectoires de ces algorithmes par le biais des inclusions différentielles stochastiques. En effet, dans certains contextes importants, le système dynamique à temps continu qui approche les itérées s'avère être lui-même de nature stochastique. Il s'agit d'une équation différentielle stochastique voire, dans le cas le plus général, d'une inclusion différentielle stochastique. Le cas se produit dans au moins deux contextes importants : Un l'analyse des vitesses de convergence des algorithmes d'estimation et les méthodes de simulation stochastique dites de Langevin.

12.4.3 Nouvelles problématiques pour la résolution de problèmes inverses

De grandes avancées ont été réalisées sur la problématique de la résolution des problèmes inverses en signal/image depuis les travaux pionniers de Tikhonov. Le développement lors de ces quinze dernières années de l'optimisation non lisse, en conjonction avec de nouvelles stratégies de régularisation efficaces a conduit à des stratégies d'inversion rapides menant à des solutions de bonne qualité. Les travaux récents, dans le domaine des mathématiques appliquées, ont de plus permis d'apporter des solutions théoriques à l'analyse de convergence dans le cadre de l'optimisation non convexe basées sur la propriété de Kurdyka-Lojasiwiesz. Ces résultats ouvrent

la voie à la résolution de formulations inverses plus complexes issues par exemple de problèmes de restauration aveugle, ou de l'usage de pénalisations non convexes.

De nombreux verrous restent néanmoins à lever, qui feront l'objet de mes recherches futures :

- Algorithmes d'optimisation capables d'effectuer les traitements de façon distribuée, en utilisant des infrastructures pouvant être distantes de calcul parallèle et de stockage, pour gérer efficacement les volumes massifs de données. En particulier, techniques d'optimisation combinant des approches parallèles par blocs agissant sur des sous-ensemble des variables à optimiser et des stratégies incrémentales.
- Stratégies d'optimisation par Majoration-Minimisation plus flexibles, basées sur des conditions de majorations plus localisées, dans le but de pouvoir traiter plus efficacement des modèles d'observation non linéaires, ou des bruits non standards.
- Approches proximales rapides de type "points intérieurs", assurant à chaque itération la satisfaction de contraintes dictées par l'application (ex : dose maximale d'un produit de contraste en imagerie).

12.4.4 Théorie de l'information

Dans la lignée de ses travaux menés depuis Janvier 2015 dans le cadre de son détachement au sein "Mathematical and Algorithmic Sciences Laboratory" de Huawei France, où il encadre une équipe de chercheurs, Abdellatif Zaidi continuera à investiguer les interconnexions entre statistiques et théorie de l'information. Ces interconnexions sont très peu connues, tant ces deux disciplines ont été jusque-là développées de manières indépendantes. En ce sens, il est intéressant d'observer que bon nombre de résultats de statistiques peuvent être revisités et généralisés en utilisant la méthode des types de Csiszar-Korner. L'importance des outils apportés par la théorie de l'information dans ce contexte est d'autant plus cruciale que, sous contraintes de communication, les outils classiques de statistiques apparaissent insuffisants pour accommoder de tels modèles. L'approche par la théorie de l'information, elle, s'y accommode très bien; et des limites fondamentales (exemple sur les exposants d'erreurs) peuvent être établies. Des liens formels étroits entre l'inférence statistique sur une variable aléatoire à partir d'une autre cachée et la compression de données ont été établis grâce à l'utilisation d'une mesure de distorsion très populaire : la mesure de distorsion de type logarithmic loss. Cela fait appraitre des fonctionnelles de distributions de probabilities qui sont très proches de la distance Kantorovich-Wassertein, très étudié en apprentissage statistique. En outre, les liens mentionnés, souvent formalisés via des théorèmes dont les preuves nécessitent des méthodes de grandes déviation, ouvrent la porte à une application croissante de la théorie de l'information dans des problèmes tels que la prédiction et l'apprentissage statistique.

A titre d'exemple, l'application de l'approche décrite précédemment permet d'éclairer le fonctionnement des réseaux de neurones (*Open the Box*), et d'établir des limites fondamentales sur leurs capacités de généralisation (*Generalization Gaps*). Des travaux récents d'Abdellatif Zaidi et son groupe, obtenus depuis 2015, montrent le très grand potentiel de cette approche, aussi bien dans le cas de données discrètes que continues. Combinés avec d'autres obtenues parallèlement dans le contexte de codage distribué de source, l'approche permettrait de comprendre les limites fondamentales d'apprentissages dans diverses architectures d'apprentissage distribué (comme *multiview learning* ou *federated learning*).

12.4.5 Généralisations du transport optimal et applications

Métriques avec le transport optimal : On souhaite proposer de nouvelles entropies de type métrique sur l'espaces des mesures de probabilités avec des applications en machine learning et en problèmes inverses. Nous coencadrons une thèse sur la définition de nouvelles métriques régulières et convexes basées sur la régularisation du transport optimal.

Dans les prochains mois, on projette d'étudier le modèle génératif probabiliste sous-jacent de

cette extension du transport optimal non-équilibré, modèle que l'on a récemment introduit. Pour le transport optimal classique, c'est un résultat de grandes déviations pour une collection de particules indépendantes. Cette approche n'existe pas pour l'extension du transport optimal aux mesures de Radon positives et on s'attend à ce que cette approche donne une régularisation efficace.

On souhaite développer l'extension de ces métriques de transport optimal à des mesures qui sont à valeurs dans des cônes, notamment le cône des matrices symétriques positives. Des applications possibles pour le recalage d'image DTI sont aussi envisagées.

Les méthodes numériques associées au transport optimal sont aussi un domaine d'intérêt sur lequel nous encadrons une thèse (2018-2021). Le but de cette thèse est d'explorer les méthodes d'ordre supérieurs pour les flots de gradients pour monter en ordre de précision et de convergence et d'explorer les extensions possibles de ces métriques.

Recalage d'image par difféomorphismes et extensions: Au cours des 5 dernières années, le domaine de la vision par ordinateur a été révolutionné par l'apprentissage profond et a aussi bénéficié à l'imagerie médicale. On souhaite développer des méthodes de recalage qui utilisent ces méthodes d'apprentissage profond tout en garantissant des appariements qui restent des difféomorphismes.

12.5 Recommandations de l'AERES en 2013

Le comité d'experts a apprécié le développement d'actions transverses ayant débouché ponctuellement sur des collaborations solides avec deux autres équipes; il invite l'équipe à poursuivre ses efforts dans ce sens. Les trois thèmes mis en avant dans le rapport sont imbriqués mais apparaissent parfois comme disjoints. Le comité suggère l'affichage d'un groupe de travail se réunissant régulièrement.

Nous avons veillé à développer des collaborations avec les autres équipes du LIGM. Notamment avec A3SI, où de nombreux travaux commun ont été réalisés par Jean-Christophe Pesquet, Emilie Chouzenoux, Giovanni Cherchia et Hugues Talbot. Notons également un co-encadrement de thèse entre Abdellatif Zaidi et Abderrezak Rachedi de l'équipe LRT, qui commence le développement d'une activité dans cette direction.

Par ailleurs, Jamal Najim co-encadre un doctorant, Peng Tian, avec Florence Merlevède du laboratoire de mathématiques (LAMA). Les ANR Dionisos et Hidista renforcent également les liens avec le LAMA avec la présence de 2 professeurs du LAMA dans ces ANR pilotées par Philippe Loubaton.

Le projet pédagogique de Walid Hachem autour des sciences de données permettra de renforcer les liens avec l'ESIEE qui a développé depuis plusieurs années une expertise à ce sujet, mais aussi avec le LAMA dans le cadre du master mathématiques et informatique qui commence en 2018.

Plusieurs groupes de travail ont été organisés autour de la thématique "matrices aléatoires et applications", en particulier dans le cadre des ANR DIONISOS et HIDISTA, entre les membres concernés de l'équipe et du LAMA. Il nous semble en revanche compliqué d'organiser un groupe de travail pérenne rassemblant toutes les thématiques de l'équipe.

12.6 Annexe : sélection des produits et des activités de recherche

Dans toute cette partie, qui présente l'annexe 4 de l'équipe, nous avons veillé à effectuer une sélection dans chacune des rubriques, pour ne présenter que nos contributions les plus notables et les plus pertinentes. De nombreux autres produits et activités de la recherche, jugés plus secondaires, ne sont donc pas listés ci-dessous.

12.6.1 Production de connaissances, rayonnement et attractivité scientifique

Remarque : nous avons choisi de sélectionner 20% globalement sur toutes les publications de l'équipe, et non 20% par type de publication, même si nous avons respecté à peu près les proportions.

12.6.1.1 Journaux / Revues (64 au total) Articles scientifiques

- [SJ1] <u>Jean-François Bercher</u>. On multidimensional generalized Cramér-Rao inequalities, uncertainty relations and characterizations of generalized *q*-Gaussian distributions. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 46(9):095303.1–095303.18, 2013.
- [SJ2] <u>Jean-François Bercher</u>. On generalized Cramér-Rao inequalities, and an extension of the Shannon-Fisher-Gauss setting. In *New Perspectives on Stochastic Modeling and Data Analysis*, pages 19–35. ISAST, 2014.
- [SJ3] Pascal Bianchi, <u>Walid Hachem</u>, and Adil Salim. A constant step Forward-Backward algorithm involving random maximal monotone operators. *Journal of Convex Analysis*, 2018.
- [SJ4] Emilie Chouzenoux, Anna Jezierska, <u>Jean-Christophe Pesquet</u>, and <u>Hugues Talbot</u>. A Convex Approach for Image Restoration with Exact Poisson-Gaussian Likelihood. *SIAM Journal on Imaging Sciences*, 8(4):2662–2682, 2015.
- [SJ5] <u>Emilie Chouzenoux</u> and <u>Jean-Christophe Pesquet</u>. A Stochastic Majorize-Minimize Subspace Algorithm for Online Penalized Least Squares Estimation. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 65(18):4770 4783, 2017.
- [SJ6] Emilie Chouzenoux, Jean-Christophe Pesquet, and Audrey Repetti. Variable metric forward-backward algorithm for minimizing the sum of a differentiable function and a convex function. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 162(1):107–132, 2014.
- [SJ7] Walid Hachem, Adrien Hardy, and Jamal Najim. Large Complex Correlated Wishart Matrices: Fluctuations and Asymptotic Independence at the Edges. *Annals of Probability*, 44(3):2264–2348, 2016.
- [SJ8] <u>Philippe Loubaton</u>. On the almost sure location of the singular values of certain Gaussian block-Hankel large random matrices. *Journal of Theoretical Probability*, 29(4):1339–1443, 2016
- [SJ9] <u>Jamal Najim</u> and Jianfeng Yao. Gaussian fluctuations for linear spectral statistics of large random covariance matrices. *The Annals of Applied Probability : an official journal of the institute of mathematical statistics*, 26(3):1837–1887, 2016.
- [SJ10] Pascal Vallet, Xavier Mestre, and <u>Philippe Loubaton</u>. Performance Analysis of an Improved MUSIC DoA Estimator. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 63(23):6407 6422, 2015.
- [SJ11] <u>Abdellatif Zaidi</u>, Pablo Piantanida, and Shlomo Shamai. Capacity Region of Cooperative Multiple Access Channel with States. *IEEE Transactions on Information Theory*, 59(10):6153–6174, 2013.

- [SJ12] <u>Abdellatif Zaidi</u> and Shlomo Shamai. On Cooperative Multiple Access Channels With Delayed CSI at Transmitters. *IEEE Transactions on Information Theory*, 60(10):6204–6230, 2014.
- [SJ13] <u>Abdellatif Zaidi</u>, Shlomo Shamai, Pablo Piantanida, and Luc Vandendorpe. Bounds on the Capacity of the Relay Channel with Noncausal State at Source. *IEEE Transactions on Information Theory*, 59(5):2639–2672, 2013.

Articles de synthèse / revues bibliographiques

- [SS1] <u>Jean-François Bercher</u>. Entropies and entropic criteria. In *Inversion methods applied to signal and image processing*, page 26. Wiley, 2015.
- [SS2] Walid Hachem, Adrien Hardy, and Jamal Najim. A survey on the eigenvalues local behavior of large complex correlated wishart matrices. ESAIM: Proceedings and Surveys, 51:150–174, 2015.
- [SS3] <u>Philippe Loubaton</u> and Xavier Mestre. Spectral Convergence of Large Block-Hankel Gaussian Random Matrices. In *Advances in Complex Analysis and Operator Theory. Trends in Mathematics*. 2017.

12.6.1.2 Ouvrages (6 au total)

Direction et coordination d'ouvrages / édition scientifique

Sans objet.

Chapitres d'ouvrage

Aucun sélectionné.

12.6.1.3 Colloques / congrès, séminaires de recherche (104 au total) Éditions d'actes de colloques / congrès

Sans objet.

Articles publiés dans des actes de colloques / congrès

- [SC1] Zohaib Hassan Awan, <u>Abdellatif Zaidi</u>, and Aydin Sezgin. Achievable secure degrees of freedom of miso broadcast channel with alternating csit. In *IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT 2014)*, pages 31–35. IEEE, 2014.
- [SC2] <u>Jean-François Bercher</u>. On some interrelations of generalized q-entropies and a generalized Fisher information, including a Cramér-Rao inequality. In *International Conference on Applied Stochastic Models and Data Analysis (ASMDA 2013)*, 2013.
- [SC3] **Jean-François Bercher**. Some results on a χ-divergence, an extended Fisher information and generalized Cramér-Rao inequalities. In *International Conference on Geometric Science of Information (GSI 2013)*, pages 487–494. 2013.
- [SC4] <u>Jean-François Bercher</u>, Bénédicte Duriez, Nicole Boggetto, and Marie-Noelle Prioleau. Dynamique et synchronisme de réplication de l'ADN dans des cellules vivantes Analyse de marqueurs fluorescents. In *Colloque GRETSI*, 2015.
- [SC5] <u>Jean-François Bercher</u> and Steeve Zozor. Properties and Inequalities for ϕ -entropies Derived from Inverse MaxEnt Problems. In *Entropy 2018 : From Physics to Information Sciences and Geometry*, 2018.
- [SC6] Sara Cadoni, Emilie Chouzenoux, Jean-Christophe Pesquet, and Caroline Chaux. A block parallel majorize-minimize memory gradient algorithm. In *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2016)*, pages 3194–3198, 2016.
- [SC7] <u>Antoine Chevreuil</u> and <u>Philippe Loubaton</u>. On the detection of low rank matrices in the high-dimensional regime. In *European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2018)*, 2018.

- [SC8] Antoine Chevreuil and Philippe Loubaton. On the non-detectability of spiked large random tensors. In *IEEE Statistical Signal Processing Workshop (SSP 2018)*, 2018.
- [SC9] Marie-Caroline Corbineau, Emilie Chouzenoux, and Jean-Christophe Pesquet. PIPA: A New Proximal Interior Point Algorithm for Large Scale Convex Optimization. In *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2018)*, 2018.
- [SC10] Viacheslav Dudar, <u>Giovanni Chierchia</u>, <u>Emilie Chouzenoux</u>, <u>Jean-Christophe Pesquet</u>, and Vladimir Semenov. A two-stage subspace trust region approach for deep neural network training. In *European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2017)*, pages 291–295, 2017.
- [SC11] Pierre Gouédard and <u>Philippe Loubaton</u>. On the behaviour of the estimated fourth-order cumulants matrix of a high-dimensional gaussian white noise. In *International Conference on Latent Variable Analysis and Signal Separation (LVA/ICA 2017)*, 2017.
- [SC12] <u>Sonja Hiltunen</u> and <u>Philippe Loubaton</u>. Asymptotic analysis of a GLR test for detection with large sensor arrays: New results. In *IEEE International Conference on Acoustics*, *Speech and Signal Processing (ICASSP 2017)*, pages 4506 4510, 2017.
- [SC13] Maxime Legendre, Saïd Moussaoui, **Emilie Chouzenoux**, and Jérôme Idier. Primal-dual interior-point optimization based on majorization-minimization for edge-preserving spectral unmixing. In *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2014)*, pages 4161–4165, 2014.
- [SC14] Yosra Marnissi, Emilie Chouzenoux, Jean-Christophe Pesquet, and Amel Benazza-Benyahia. An auxiliary variable method for langevin based MCMC algorithms. In *IEEE Statistical Signal Processing Workshop (SSP 2016)*, pages 1–5, 2016.
- [SC15] <u>Gia-Thuy Pham</u> and <u>Philippe Loubaton</u>. Optimization of the loading factor of regularized estimated spatial-temporal wiener filters in large system case. In *IEEE Statistical Signal Processing Workshop*, (SSP 2016), pages 1–5, 2016.
- [SC16] <u>Audrey Repetti</u>, <u>Emilie Chouzenoux</u>, and <u>Jean-Christophe Pesquet</u>. A nonconvex regularized approach for phase retrieval. In *IEEE International Conference on Image Processing* (*ICIP 2014*), pages 1753–1757, 2014.
- [SC17] Audrey Repetti, Emilie Chouzenoux, and Jean-Christophe Pesquet. A random block-coordinate primal-dual proximal algorithm with application to 3d mesh denoising. In *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2015)*, pages 3561–3565, 2015.
- [SC18] <u>Abdellatif Zaidi</u>. Achievable regions for interference channels with generalized and intermittent feedback. In *IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT 2014)*, pages 1026–1030, 2014.
- [SC19] <u>Abdellatif Zaidi</u>. On Two Terminal Interactive Source Coding for Function Computation with Remote Sources . In *IEEE Information Theory Workshop (ITW 2015)*, 2015.
- [SC20] <u>Abdellatif Zaidi</u>, Zohaib Hassan Awan, Shlomo Shamai, and Luc Vandendorpe. Secure degrees of freedom of mimo x-channels with output feedback and delayed csit. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 8(11):1760–1774, 2013.
- [SC21] <u>Abdellatif Zaidi</u> and Shlomo Shamai. On Cooperative Multiple Access Channels with Delayed CSI. In *IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT 2013)*, pages 982–986, 2013.
- [SC22] <u>Abdellatif Zaidi</u> and Shlomo Shamai. Asymmetric cooperative multiple access channels with delayed csi. In *IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT 2014)*, pages 1186–1190. IEEE, 2014.

12.6.1.4 Organisation de colloques / congrès

- Jamal Najim a co-organisé la série de conférences "Random Matrices and Their Applications" en 2015 (Hong Kong) et 2018 (Kyoto) (série qu'il a initiée en 2010 et 2012 à Télécom Paristech).
- Emilie Chouzenoux a organisé plusieurs sessions spéciales (Gretsi 2017, Biomedical and Astronomical Signal Processing 2017, Eusipco 2018).

12.6.1.5 Produits et outils informatiques Logiciels

L'équipe est impliquée dans le développement de plusieurs plateformes, ainsi que de bibliothèques Matlab.

- PALMA : Plateforme en ligne (http://palma.labo.igbmc.fr/), programmée en Python, pour la reconstruction de données réelles de spectroscopie DOSY en résonance magnétique nucléaire par un algorithme proximal. Juillet 2016. Licence Cecill-B.
- The Proximity Operator Repository: site web mis en ligne en novembre 2017 (http://proximity-operator.net/). Ce site, à visée participative, se propose de fournir les opérateurs proximaux (et leurs codes Matlab/Python/Julia associés) d'une quantité importante de fonctions, afin d'aider les utilisateurs dans leur mise en oeuvre pratique des algorithmes d'optimisation proximaux.

Bases de données

Sans objet.

Outils d'aide à la décision

Sans objet.

Outils présentés dans le cadre de compétitions de solveurs

Sans objet.

12.6.1.6 Développements instrumentaux et méthodologiques Prototypes et démonstrateurs

A. Zaidi a développé un prototype "Learning-based approach (on the so-called Information-Bottlneck Method) for localization Compression for M-MIMO" Ce code pour compression MIMO de quelques centaines de lignes de code est actuellement utilisé dans le prototype 5G de Huawei

Plateformes et observatoires

Sans objet.

12.6.1.7 Autres produits propres à une discipline Créations artistiques théorisées

Sans objet.

Mises en scènes

Sans objet.

Films

Sans objet.

12.6.1.8 Activités éditoriales

Participation à des comités éditoriaux (journaux scientifiques, revues, collections, etc)

— Abdellatif Zaidi est éditeur associé pour IEEE Trans. on Wireless Communications (depuis 2016), pour EURASIP JWCN (2011-14).

- Jean-Christophe Pesquet a été guest editor for the special issue on Stochastic Simulation and Optimization in Signal Processing of the IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing en 2016.
- Abdellatif Zaidi est Guest co-Editor (avec S. Shamai) for Entropy, Special issue on "Information Theory for Data Communications and Processing".

Direction de collections et de séries

Sans objet.

Participation à des comités de programme

- Jean-Christophe Pesquet a été member of the program committee of the GRETSI (2013,15,17), Area Chair of the European Signal Processing Conference (2013-14-15-17).
- Jamal Najim a co-organisé la série de conférences "Random Matrices and Their Applications" en 2015 (Hong Kong) et 2018 (Kyoto) (série qu'il a initiée en 2010 et 2012 à Télécom Paristech).
- Abdellatif Zaidi est éditeur associé pour IEEE Trans. on Wireless Communications (depuis 2016), pour EURASIP JWCN (2011-14).
- Abdellatif Zaidi a été membre de plusieurs Technical Program Committee dont ISIT, ITW et ICC.

12.6.1.9 Activités d'évaluation

Évaluation d'articles et d'ouvrages scientifiques (relecture d'articles / reviewing)

Les membres de l'équipe ont une activité de relecture très soutenue dans les journaux de référence du domaine.

Évaluation de projets de recherche

Les membres de l'équipe sont régulièrement sollicité pour réaliser des évaluations de projets (ANR, FNRS, projets de GdR, ...) ainsi que des expertises pour des thèses CIFRE.

Évaluation de laboratoires (type Hcéres)

 — Philippe Loubaton a été membre du comité d'évaluation HCERES du GIPSA-LAB en 2014 et du LABSTICC en 2016.

Responsabilités au sein d'instances d'évaluation

- Emilie Chouzenoux est membre élue (2017) du comité technique "Signal Processing Theory and Methods" de la IEEE Signal Processing Society et depuis 2018 du comité technique "Signal and Data Analytics for Machine Learning" de EURASIP.
- Philippe Loubaton a été membre de la section 07 du CoCNRS de 2012 à 2016.
- Philippe Loubaton a été membre du jury IUF Senior en 2017 et en 2018.

12.6.1.10 Contrats de recherche financés par des institutions publiques ou caritatives Contrats européens (ERC, H2020, etc.) et internationaux (NSF, JSPS, NIH, etc.)

Sans objet.

Contrats nationaux (ANR, PHRC, FUI, INCA, etc.) (8 au total)

Les principaux projets nationaux de l'équipe sont les suivants.

- Projet DIONISOS (ANR MDCO 2012-2016, 190 KE pour le LIGM): coordinateur P. Loubaton, participants W. Hachem, J. Najim, P. Tian (doctorant), G. Pham, (doctorant), S. Hiltunen (doctorante).
- Projet HIDITSA (ANR Blanc, 2017-2021, 150 KE pour le LIGM): coordinateur P. Loubaton, participants W. Hachem, J. Najim, P. Tian et D. Tieplova (doctorants).

- Projet MajIC (ANR JCJC 2018-2022, 190kE pour le LIGM): coordinatrice E. Chouzenoux, participants: G. Chierchia, H. Talbot (LIGM), P. Ciuciu (CEA Neurospin), L. Duval (IFPEN), J-C. Pesquet (CentraleSupélec).
- Projet TABASCO (CNRS Mastodons 2016-2018, 35kE LIGM): coordinatrice E. Chouzenoux. Rassemble des chercheurs du LIGM (UMR CNRS 8049), IGBMC (UMR CNRS 7104 Strasbourg), MASP (USR CNRS 3290 Lille), LJLL (UMR CNRS 7598 Paris).
- Projet MAGELLAN (ANR-14-CE23-0004-01 2015 2018): coordinateur André Ferrari (U. Nice), membres Ch. Ferrari, D. Mary (U Nice), P. Bianchi (Télécom ParisTech), W. Hachem (UMLV), P. Larzabal, N. El Korso (ENS Paris-Saclay).

Contrats avec les collectivités territoriales

Sans objet.

Contrats financés dans le cadre du PIA

- Demi-allocation de thèse Bézout pour Daria Tielplova (2017-2020)
- Projet OPALE (Labex Digicosme, 2015 2018) : thèse d'Adil Salim, coordinateur Walid Hachem, membre : Pascal Bianchi (Télécom ParisTech).

Contrats financés par des associations caritatives et des fondations (ARC, FMR, FRM, etc.) Sans objet.

12.6.1.11 Post-doctorants et chercheurs seniors accueillis

Post-doctorants

- Yuling Zheng (Novembre 2015 Septembre 2016), dont le travail de post-doctorat a porté sur le développement d'approches de type Bayes variationnelles, pour la restauration d'images.
- Alessandro Benfenati (Mars 2016 Avril 2017), dont le travail de post-doctorat a porté sur la proposition de nouvelles approches d'optimisation pour la résolution de problèmes d'estimation de matrices de covariance associées à des modèles graphiques gaussiens.

Chercheurs seniors accueillis

- Xavier Mestre, CTTC Barcelone, 2016, financement par le Labex Bézout.
- Arup Bose, Indian Statistical Institute, printemps 2017, financement par le labex Bézout.

12.6.1.12 Indices de reconnaissance

Prix

- Philippe Loubaton a obtenu le grand prix Emilia Valori de l'Académie des Sciences en 2018.
- Abdellatif Zaidi est co-auteur d'un article qui a obtenu le Best Paper Award at Newcom#, en 2014
- Emilie Chouzenoux est co-auteure d'un article qui a été sélectionné parmi les 7 finalistes du "Best paper award" parmi environ 1000 papiers acceptés à la conférence IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2016) en 2016.

Distinctions

Sans objet.

Appartenance à l'IUF

- Philippe Loubaton a été membre senior de l'IUF de 2012 à 2017.
- Jean-Christophe Pesquet a obtenu l'IUF senior en 2016.

Responsabilités dans des sociétés savantes

Abdellatif Zaidi est membre du comité éditorial (Associate Editor) de la revue IEEE Transactions on Information Theory.

Invitations à des colloques / congrès à l'étranger

Les membres de l'équipe sont régulièrement orateurs invités dans des colloques. On peut notamment citer :

- Jean-François Bercher a été conférencier invité à Entropy 2018, Barcelone, en 2018.
- Emilie Chouzenoux a réalisé un exposé plénier à la journée GDR ISIS "Sur les interactions Méthodes de Monte Carlo et Algorithmes d'Optimisation", en 2015.
- Philippe Loubaton a été orateur invité au colloque en l'honneur des 95 ans de V.A. Marcenko,
 Institut de Physique des Basses Températures, Kharkov, Ukraine.
- Jamal Najim a réalisé un exposé plénier à la conférence LINSTAT "International Conference on Trends and Perspectives in Linear Statistical Inference", Linköping, Suède.

Séjours dans des laboratoires étrangers

- Jamal Najim invité au laboratoire de statistiques de la Hong Kong University (15 jours, 2015).
- Abdellatif Zaidi a séjourné à la Technical University of Munich, Germany en 2014 (3 mois) et séjourne régulièrement à l'EPFL, deux ou trois semaines l'été, depuis 2010.

12.6.2 Interaction avec l'environnement

12.6.2.1 Brevets, licences et déclarations d'invention Brevets déposés

Nous n'avons pas de brevets déposés sur la période, les dossiers suivants sont en attente de dépôt.

- Dossier déposé en 2016 par Emilie Chouzenoux à la SATT Alsace (demande effectuée en collaboration avec M.-A. Delsuc, A. Cherni, IGBMC, Strasbourg) pour le logiciel PALMA.
- Dossier déposé en 2017 par Emilie Chouzenoux à la DVT IRSTEA pour le logiciel EMILIO, toolbox Matlab pour l'inversion de la transformée de Laplace multidimensionnelle par maximisation de l'entropie, pour la restauration des données de relaxométrie 2D acquises par résonance magnétique nucléaire (collaboration avec S. Moussaoui, J. Idier, IRCCyN, Nantes et F. Mariette, CEMAGREF, Rennes).

Brevets acceptés

Sans objet.

Brevets licenciés

Sans objet.

Déclaration d'invention

Sans objet.

12.6.2.2 Interactions avec les acteurs socio-économiques Contrats de R&D avec des industriels

Sans objet.

Bourses Cifre

- Hiltunen Sonja, encadrée par Philippe Loubaton, de 2012 à 2015, avec Thalès Communications.
- Pham May-Quyen, encadrée par Jean-Christophe Pesquet, de 2011 à 2015, avec IFP Energies nouvelles.
- Ugur Yigit, encadré par Rachedi (LRT) et Abdellatif Zaidi, thèse débutée en 2016, avec Huawei.

Créations de laboratoires communs avec une / des entreprise(s)

Sans objet.

Création de réseaux ou d'unités mixtes technologiques

Sans objet.

Créations d'entreprises, de start-up

Sans objet.

12.6.2.3 Activités d'expertise scientifique

Activités de consultant

Sans objet.

Participation à des instances d'expertise (type Anses) ou de normalisation

 Abdellatif Zaidi a participé à l'instance 3GPP "3rd Generation Partnership Project" qui est un organisme organisant la coopération entre organismes de standardisation de télécommunications dont l'Union Internationale des Télécommunications.

Expertise juridique

Sans objet.

Rapports d'expertises techniques, produits des instances de normalisation

Sans objet.

12.6.2.4 Produits destinés au grand public

Émissions radio, TV, presse écrite

Sans objet.

Produits de vulgarisation : articles, interviews, éditions, vidéos, etc.

— Jamal Najim a fait une conférence intitulée "Présentation du métier de mathématicien" au Lycée Français de Hong Kong, 2016, à l'invitation du consulat de France, dans le cadre de l'année des mathématiques à Hong Kong.

Produits de médiation scientifique

Sans objet.

Débats science et société

Sans objet.

12.6.3 Implication dans la formation par la recherche

12.6.3.1 Produits des activités pédagogiques et didactiques

Sans objet.

Ouvrages

Sans objet.

E-learning, moocs, cours multimedia, etc.

Sans objet.

12.6.3.2 Productions scientifiques (articles, ouvrages, etc.) issues des thèses (37 au total)

Remarque : comme pour les autres équipes, nous avons choisi de présenter un article par doctorant ayant publié pendant la période évaluée.

[SD1] Feriel Abboud, Emilie Chouzenoux, Jean-Christophe Pesquet, Jean-Hugues Chenot, and Louis Laborelli. An Alternating Proximal Approach for Blind Video Deconvolution. Signal Processing: Image Communication, 2018.

- [SD2] Emilie Chouzenoux, Jean-Christophe Pesquet, and Audrey Repetti. Variable metric forward-backward algorithm for minimizing the sum of a differentiable function and a convex function. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 162(1):107–132, 2014.
- [SD3] Sonja Hiltunen, Philippe Loubaton, and Pascal Chevalier. Large System Analysis of a GLRT for Detection With Large Sensor Arrays in Temporally White Noise. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 63(20):5409 5423, 2015.
- [SD4] Yosra Marnissi, Yuling Zheng, Emilie Chouzenoux, and Jean-Christophe Pesquet. A variational bayesian approach for image restoration—application to image deblurring with poisson—gaussian noise. *IEEE Transactions on Computational Imaging*, 3(4):722–737, 2017.
- [SD5] Florence Merlevède, **Jamal Najim**, and <u>Peng Tian</u>. Unbounded largest eigenvalue of large sample covariance matrices: Asymptotics, fluctuations and applications. *Linear Algebra and Applications*, 2018. submitted.
- [SD6] <u>Gia-Thuy Pham</u>, <u>Philippe Loubaton</u>, and Pascal Vallet. Performance analysis of spatial smoothing schemes in the context of large arrays. In *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2015)*, pages 2824–2828, 2015.
- [SD7] <u>Abdellatif Zaidi</u> and <u>Yigit Ugur</u>. Vector Gaussian CEO Problem under logarithmic loss. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2018. submitted.

12.6.3.3 Efficacité de l'accompagnement des étudiants et qualité de leur encadrement (financement, durée des thèses, taux d'abandon)

Les financements sont d'origines variées (allocation doctorales des tutelles, thèses CIFRE, financements sur projets, etc.). La durée moyenne des thèses soutenues est de 42 mois, et il n'y a pas eu d'abandon au cours de la période évaluée.

12.6.3.4 Suivi des doctorants en liaison avec les écoles doctorales et attention portée à l'insertion professionnelle des docteurs

Le suivi des doctorants est institutionnalisé au niveau de l'école doctorale, où sont organisés des comités de suivi individuels. Concernant l'insertion professionnelle des doctorants, elle fait l'objet d'un attention particulière des directeurs de thèse concernés : proposition d'un post d'ATER ou de demi-ATER pour permettre au doctorant de terminer sa thèse dans de bonnes condition ; activation du réseau du directeur de thèse pour rechercher un post doc (national ou à l'étranger) et/ou pour trouver un emploi dans le secteur privé.

12.6.3.5 Labellisation nationale ou internationale des formations (Erasmus mundus p. ex.) Sans objet.

12.6.3.6 Accompagnement des séminaires de doctorants par des chercheurs; degré de participation des doctorants à la vie de l'entité de recherche

Du fait de la taille de l'équipe et de l'étendue thématique, il n'y a pas de séminaires de doctorants à proprement parler. En revanche, les doctorants sont impliqués dans les projets d'équipes, envoyés en conférences et participent régulièrement à des séminaires et groupes de travail parisiens.

12.6.3.7 Mobilisation des chercheurs dans le montage de formation de niveau master

Walid Hachem et Jamal Najim vont intervenir dans un nouveau master math-info qui va se créer dans le cadre du dépôt d'un projet d'École Universitaire de Recherche.