

# Document d'autoévaluation des unités de recherche

---

**campagne d'évaluation 2024-2025**  
vague E

22 mai 2024

## TABLE DES MATIÈRES

<b>1- Informations générales pour le contrat en cours</b>	<b>3</b>
1-1 Identification de l'unité	3
1-2 Présentation de l'unité	3
1-2.1 Historique, localisation de l'unité	3
1-2.2 Organisation de l'unité	3
1-2.3 Bureau du Conseil de laboratoire	7
1-2.4 Utilisation des ressources propres	7
1-2.5 Équipes, plateformes et missions particulières	7
1-2.6 Effectif de l'unité et de ses équipes au 31/12/2023	8
1-3 Les thématiques scientifiques et leurs enjeux	13
1-3.1 Structuration en six équipes de recherche	13
1-3.2 La stratégie scientifique du LIGM	14
1-3.2.1 Enjeux	14
1-3.2.2 Insertion dans les stratégies de recherche et d'innovation	15
1-4 Profil d'activités liées à la recherche	16
1-5 Environnement de recherche	16
1-5.1 LabEx et Fédération Bézout	16
1-5.2 Graduate Program Bézout-SFRI	17
1-5.3 I-SITE Future	17
1-5.4 ComUE Paris-Est Sup. et École doctorale MSTIC	17
1-5.5 Domaines d'Intérêt Majeur	18
1-5.6 SATT Erganeo	18
1-6 Prise en compte des recommandations du précédent rapport	18
1-6.1 Recommandations concernant les produits et activités de la recherche	18
1-6.2 Recommandations concernant l'organisation et la vie de l'unité	20
1-6.3 Recommandations concernant les perspectives scientifiques à cinq ans et la faisabilité du projet	21
<b>2- Introduction du portfolio</b>	<b>21</b>
2-1 Algorithmes, architectures, analyse et synthèse d'images (A3SI)	21
2-2 Algorithmique discrète et applications (ADA)	22
2-3 Base de données, automate, analyse d'algorithmes et modèles (BAAM)	23
2-4 Combinatoire algébrique et calcul symbolique (COMBI)	23
2-5 Logiciels, Réseaux et Temps-réel (LRT)	23
2-6 Méthodes et Modèles pour le Signal, l'Image et les Données (MMSID)	24
<b>3- Autoévaluation du bilan</b>	<b>24</b>
3-1 Autoévaluation de l'unité	24
3-2 Autoévaluation des équipes (dans le cas des unités pluri-équipes)	43
3-2.1 Équipe <i>Algorithmes, architectures, analyse et synthèse d'images (A3SI)</i>	43
3-2.1.1 Les thématiques scientifiques et leurs enjeux	44
3-2.1.2 Animation scientifique de l'équipe	50
3-2.1.3 Ressources financières	52
3-2.1.4 Responsabilités dans l'environnement recherche	53
3-2.1.5 Prise en compte des recommandations du précédent rapport	53
3-2.1.6 Portfolio A3SI	54
3-2.1.7 Auto-évaluation de l'équipe A3SI	61
3-2.1.8 Trajectoire de l'équipe	63
3-2.2 Équipe <i>Algorithmique Discrète et Applications (ADA)</i>	63
3-2.2.1 Membres permanents de l'équipe	63
3-2.2.2 Les thématiques scientifiques et leurs enjeux	64
3-2.2.3 Pilotage et participation aux projets financés	68
3-2.2.4 Animation de la recherche	68
3-2.2.5 Accompagnement des personnels	69
3-2.2.6 Expertise et évaluation scientifique	70

3-2.2.7	Rayonnement . . . . .	70
3-2.2.8	Valorisation, transfert . . . . .	71
3-2.2.9	Prise en compte des recommandations du précédent rapport . . . . .	72
3-2.2.10	Introduction du portfolio . . . . .	73
3-2.2.11	Auto-évaluation de l'équipe . . . . .	73
3-2.2.12	Trajectoire . . . . .	74
3-2.3	Équipe <i>Base de données, automate, analyse d'algorithmes et modèles (BAAM)</i> . . . . .	75
3-2.3.1	Les thématiques scientifiques et leurs enjeux . . . . .	75
3-2.3.2	Animation scientifique de l'équipe . . . . .	79
3-2.3.3	Ressources financières . . . . .	81
3-2.3.4	Responsabilités dans l'environnement recherche . . . . .	82
3-2.3.5	Prise en compte des recommandations du précédent rapport . . . . .	83
3-2.3.6	Introduction du portfolio . . . . .	84
3-2.3.7	Auto-évaluation de l'équipe . . . . .	85
3-2.3.8	Trajectoire de l'équipe . . . . .	86
3-2.4	Équipe <i>Combinatoire algébrique et calcul symbolique (COMBI)</i> . . . . .	86
3-2.5	Équipe <i>Logiciels, Réseaux et Temps réel (LRT)</i> . . . . .	91
3-2.5.1	Introduction . . . . .	91
3-2.5.2	Les membres permanents de l'équipe . . . . .	91
3-2.5.3	Les thématiques scientifiques et leurs enjeux . . . . .	92
3-2.5.4	Animation scientifique de l'équipe . . . . .	96
3-2.5.5	Ressources financières . . . . .	98
3-2.5.6	Responsabilités dans l'environnement recherche . . . . .	100
3-2.5.7	Prise en compte des recommandations du précédent rapport . . . . .	101
3-2.5.8	Introduction du portfolio . . . . .	103
3-2.5.9	Auto-évaluation de l'équipe . . . . .	104
3-2.5.10	Projet de l'équipe . . . . .	105
3-2.6	Équipe <i>Méthodes et Modèles pour le Signal, l'Image et les Données (MMSID)</i> . . . . .	107
3-2.6.1	Les thématiques scientifiques et leurs enjeux . . . . .	107
3-2.6.2	Animation scientifique de l'équipe . . . . .	114
3-2.6.3	Ressources financières . . . . .	115
3-2.6.4	Responsabilités dans l'environnement recherche . . . . .	116
3-2.6.5	Prise en compte des recommandations du précédent rapport . . . . .	116
3-2.6.6	Introduction du portfolio . . . . .	118
3-2.6.7	Auto-évaluation de l'équipe . . . . .	120
3-2.6.8	Trajectoire de l'équipe . . . . .	121
<b>4-</b>	<b>Trajectoire de l'unité</b> . . . . .	<b>121</b>
4-1	Positionnement scientifique . . . . .	121
4-1.1	Historique succinct . . . . .	121
4-1.2	Objectifs présentés dans le précédent rapport, réalisations, analyse critique et réorientations . . . . .	122
4-2	Projection scientifique . . . . .	123
4-2.1	Évolution du laboratoire et projet scientifique . . . . .	123
4-2.2	Intégration de notre projet dans la stratégie de nos tutelles . . . . .	123
4-2.3	Soutien à la recherche en cohérence avec la stratégie du laboratoire . . . . .	123
4-2.4	Plan d'action de l'unité par rapport aux nouveaux enjeux . . . . .	123
4-3	Points de vigilance . . . . .	124
4-3.1	Soutien à la recherche . . . . .	124
4-3.2	Équipe Logiciels, Réseaux et Temps réel (LRT) . . . . .	125
4-3.3	Ressources humaines . . . . .	125
4-3.4	Soutien aux thèmes émergents . . . . .	125
4-3.5	École des Ponts ParisTech . . . . .	125
	<b>Bibliographie</b> . . . . .	<b>127</b>

# 1- INFORMATIONS GÉNÉRALES POUR LE CONTRAT EN COURS

## 1-1 Identification de l'unité

**Nom de l'unité :** Laboratoire d'Informatique Gaspard-Monge

**Acronyme :** LIGM

**Label et numéro :** UMR 8049

**Domaine scientifique principal :** Informatique

**Panels scientifiques par ordre décroissant de pertinence :**

Panel 1
ST6 - Sciences et technologies de l'information et de la communication - STIC

**Équipe de direction :** S. Vialette, DR, CNRS, Directeur d'Unité. J. Najim, DR CNRS, Directeur d'Unité Adjoint. C. Palescandolo, IE CNRS, Responsable Administrative.

**Liste des tutelles de l'unité de recherche :** Université Gustave Eiffel (tutelle principale), CNRS (tutelle principale) & École des Ponts ParisTech (tutelle secondaire)

**Écoles doctorales de rattachement :** École Doctorale Mathématiques et STIC (MSTIC), ComUE Paris-Est Sup.

## 1-2 Présentation de l'unité

### 1-2.1 Historique, localisation de l'unité

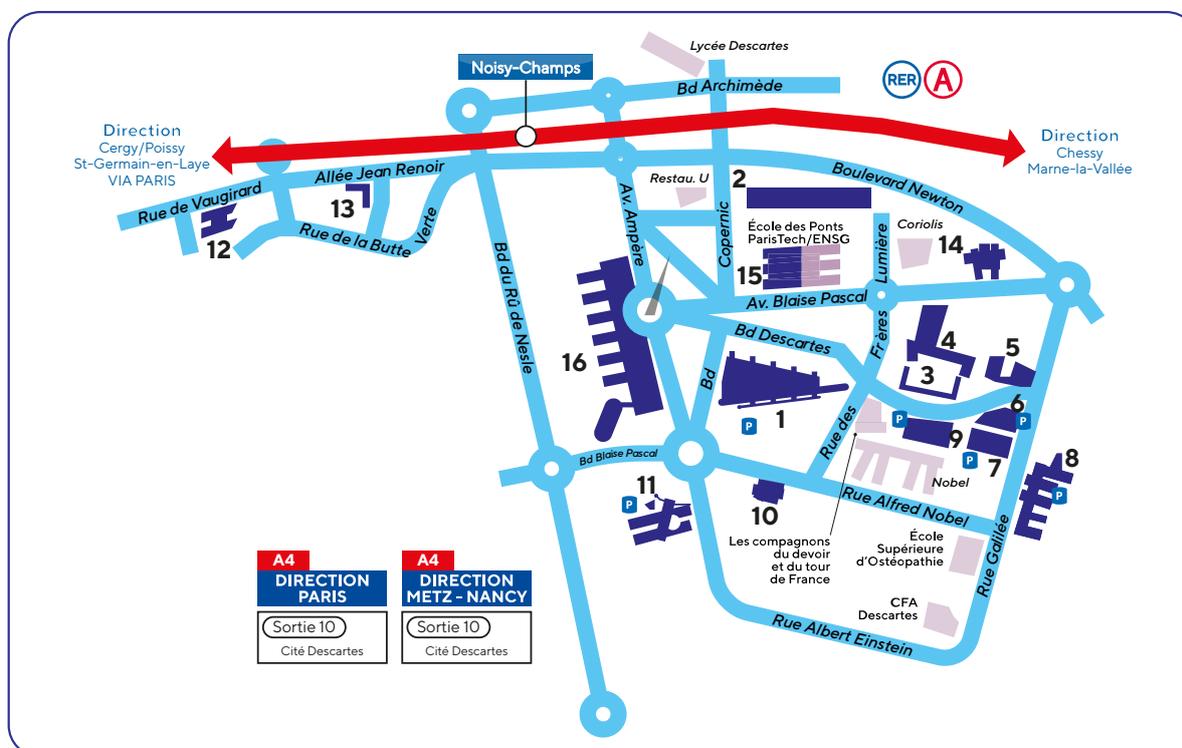
Le Laboratoire d'Informatique Gaspard-Monge (LIGM) a été créé en 1992 par M. Crochemore et a le statut d'UMR CNRS depuis 2002. Il a auparavant été équipe postulante du CNRS en 1994 et confirmé UPRES-A en 1998. En 2002, l'unité relevait de trois tutelles : l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée (UPEM), l'École Supérieure d'Ingénieurs en Électrotechnique et Électronique (ESIEE Paris) et le CNRS. À la suite de la fusion du LIGM avec le CERTIS en 2009, l'École des Ponts Paristech (ENPC) est devenue une quatrième tutelle du laboratoire. En 2019, l'ENPC est devenue tutelle secondaire du laboratoire. En 2020, l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée (UPEM), l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (Ifsttar), l'École d'Architecture de la Ville et des Territoires Paris-Est (EAV&T), l'École des Ingénieurs de la Ville de Paris (EIVP), l'École Nationale des Sciences Géographiques (ENSG-Géomatique) et l'École Supérieure d'Ingénieurs en Électrotechnique et Électronique (ESIEE Paris) ont fusionné pour donner naissance à l'Université Gustave Eiffel (UGE), les deux tutelles principales UPEM et ESIEE Paris ont alors de fait été remplacées par une unique tutelle UGE.

M. Crochemore a été le directeur du LIGM jusqu'en 2005 et G. Roussel a été nommé directeur adjoint du LIGM en 2004. En 2006, G. Roussel a été nommé directeur d'unité et É. Laporte directeur adjoint. Suite à la nomination de G. Roussel à la vice-présidence de l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée, M.-P. Béal a été nommée directrice de l'unité en 2008. Elle est restée à la direction du LIGM jusqu'en fin 2014. G. Roussel a été directeur adjoint jusqu'à son élection à la présidence de l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée en 2012, J.-C. Pesquet le remplaçant ensuite à ce poste. C. Nicaud a pris la tête de l'unité en 2015, J.-C. Pesquet restant directeur adjoint jusqu'à sa mutation en 2016, date à laquelle il a été remplacé par J. Najim. S. Vialette a été nommé directeur du LIGM en 2019, J. Najim restant directeur adjoint.

Le LIGM est situé sur le campus de l'Université Gustave Eiffel à Champs-sur-Marne (77). Le laboratoire est réparti dans trois bâtiments distincts appartenant à l'UGE (Copernic et Bâtiment ESIEE) et à l'ENPC (Coriolis). Ces bâtiments sont proches les uns des autres et sont situés sur le campus Descartes Marne-la-Vallée de l'UGE. Quelques collègues du laboratoire d'équipes multi-tutelles ont plusieurs bureaux pour faciliter leurs interactions scientifiques au quotidien.

### 1-2.2 Organisation de l'unité

La **direction du LIGM** est composée de S. Vialette (DU) et J. Najim (DU adjoint - DUA). Ils sont tous les deux localisés dans le bâtiment Copernic du campus Descartes Marne-la-Vallée de l'UGE. Le DU participe



1. **Bâtiment Copernic** : 5, bd Descartes • Champs-sur-Marne
2. **Bâtiment Bienvenüe** : 14-20, bd Newton • Champs-sur-Marne
3. **Maison de l'Étudiant** : rue des Frères Lumière • Champs-sur-Marne
4. **Bibliothèque Georges Perec** : rue des Frères Lumière • Champs-sur-Marne
5. **Gymnase de la Haute Maison** : bd Descartes • Champs-sur-Marne
6. **Bâtiment François Rabelais** : bd Descartes • Champs-sur-Marne
7. **Bâtiment Lavoisier** : rue Galilée • Champs-sur-Marne
8. **Bâtiment Bois de l'Étang** : rue Galilée • Champs-sur-Marne
9. **Bâtiment Clément Ader** : bd Descartes • Champs-sur-Marne
10. **Bâtiment Ada Lovelace – La Centrif'** : 2, rue Alfred Nobel • Champs-sur-Marne
11. **IUT de Marne-la-Vallée, site de Champs** : 2, rue Albert Einstein • Champs-sur-Marne
12. **Bâtiment Alexandra David-Néel** : 2, allée du Promontoire • Noisy-le-Grand
13. **Bâtiment Albert Camus** : 2, allée Jean Renoir • Noisy-le-Grand
14. **ÉAV&T** : 12, av. Blaise Pascal • Champs-sur-Marne
15. **ENSG Géomatique** : 6-8, av. Blaise Pascal • Champs-sur-Marne
16. **ESIEE Paris** : 2, bd Blaise Pascal • Noisy-le-Grand

Figure 1 – Cité Descartes, campus de Marne-la-Vallée, Université Gustave Eiffel.

à toutes les réunions organisées par chacune des tutelles. Les tâches de signature sont très majoritairement à la charge du DU. Il n'y a pas de répartition des tâches fixée entre le DU et le DUA. Tous les points sont discutés entre le DU et le DUA, les échanges sont permanents.

Le **pôle administratif** est constitué de 3 personnes. La responsable administrative (RA) du laboratoire est C. Palescandolo (IE CNRS). Elle est secondée par deux gestionnaires : S. Giboz (UGE) et N. Rousseau (CNRS). L'équipe administrative est également localisée dans le bâtiment Copernic. Même si les échanges sont permanents (les gestionnaires, la RA et le DU sont localisés dans des bureaux adjacents), une réunion dite *administrative* est organisée sur la base d'un rythme mensuel et elle regroupe les gestionnaires, la RA et le DU. L'ordre du jour est toujours en trois temps : bilan et synthèse depuis la dernière réunion, les actualités et affaires administratives courantes et enfin les prévisions (missions, achats, etc.). La gestion des missions des personnels ENPC est assurée par I. Simunic (ENPC).

Il n'y a aucun **administrateur système et réseaux** affecté au laboratoire sous la responsabilité du DU. Des administrateurs système locaux interviennent dans chacun des pôles. Au bâtiment Copernic, la majorité des tâches (maintenance, installation de matériel, ouverture de comptes, devis, etc.) est assurée par P. Hérault ; les permanents peuvent aussi faire appel au service informatique de l'UGE via un système de *tickets* uniquement. Dans le bâtiment de l'ESIEE, É. Llorens est chargé des tâches systèmes et réseaux. Les tâches systèmes et réseaux dans le bâtiment Coriolis sont effectués par les CR ENPC du laboratoire.

Le LIGM est constitué de **6 équipes de recherche** dont les thématiques et effectifs seront détaillés plus loin :

- Équipe *Algorithmes, architectures, analyse et synthèse d'images* (A3SI)
- Équipe *Algorithmique discrète et applications* (ADA)
- Équipe *Base de données, automate, analyse d'algorithmes et modèles* (BAAM)
- Équipe *Combinatoire algébrique et calcul symbolique* (COMBI)
- Équipe *Logiciels, Réseaux et Temps réel* (LRT)
- Équipe *Méthodes et Modèles pour le Signal, l'Image et les Données* (MMSID)

**Conseil de laboratoire** Le LIGM est doté d'un *Conseil de Laboratoire* (CL LIGM) composé de 16 membres. Il est constitué selon les règles du CNRS de huit membres élus et six membres nommés par le directeur de l'unité, du DU et du DUA. La composition actuelle du CL LIGM est la suivante :

- Membres élus (8) : O. Curé (BAAM, PR UGE), C. David (BAAM, MCF UGE), W. Hachem (MMSID, DR CNRS), V. Jugé (BAAM, MCF UGE) C. Nicaud (BAAM, PR UGE), C. Palescandolo (Équipe de direction, IE CNRS), A. Rachedi (LRT, PR UGE) et Zéphyr Salvy (BAAM, en doctorat à l'UGE)
- Membres nommés (6) : G. Kucherov (ADA, DR CNRS), A. de Mesmay (ADA, CR CNRS), P. Monasse (A3SI, CR ENPC), L. Najman (A3SI, PR ESIEE), J.-Y. Thibon (COMBI, PR UGE) et N. Zangar (LRT, PR ESIEE).
- Membres de droit (2) : S. Vialette (DU, ADA, DR CNRS) et J. Najim (DUA, MMSID, DR CNRS).

Le CL LIGM se réunit toutes les six semaines environ (la date du prochain CL LIGM est toujours fixée en fin de réunion). Les séances durent en général entre 1h30 et 2h. Un ordre du jour est transmis avant la réunion et un compte rendu est ensuite diffusé à l'ensemble du laboratoire. En pratique, les principales décisions du CL LIGM concernent :

- le classement des candidats pour les allocations doctorales ;
- le classement des demandes de professeurs invités ;
- le classement des demandes pour les délégations CNRS ;
- le classement des réponses aux Appels à Projets (AAP) CNRS et UGE ;
- les nomination des responsable d'équipe en cas de changement.

De plus, le DU consulte le CL LIGM sur toutes les questions concernant l'Unité et les mesures relatives à son organisation et à son fonctionnement (le CL joue un rôle crucial dans la prise de décision stratégique en rassemblant les différentes expertises présentes au sein du laboratoire). Les fiches de poste pour les concours UGE et ESIEE sont également discutées en CL LIGM mais il n'est pas décisionnaire sur ce point. Plus généralement, le CL LIGM occupe une place centrale en tant qu'organe essentiel de diffusion de l'information et de facilitation des échanges au sein du laboratoire. La direction du laboratoire débute toutes les réunions par un point sur les actualités et les informations diverses qui concernent directement ou indirectement le LIGM. Réciproquement, c'est le lieu de prise d'informations, de conseils et de concertation avec la direction.



### 1-2.3 Bureau du Conseil de laboratoire

Cette structure est composée des responsables d'équipe, du DU et du DUA. Le Bureau du CL LIGM se réunit à la demande du DU. Le rôle principal du Bureau du CL LIGM est de discuter des profils de recherche des postes d'enseignants-chercheurs UGE et de discuter et définir les grandes orientations de politique scientifique du laboratoire.

### 1-2.4 Utilisation des ressources propres

Nous décrivons ci-après les règles d'utilisation des ressources propres. La politique scientifique est précisée en section 3-(1). La gestion des moyens financiers attribués au laboratoire par ses tutelles est centralisée au niveau de la direction de l'unité, à l'exception de la dotation de l'ENPC qui est gérée directement en interne. La plupart des décisions (principalement missions et petit matériel) sont prises directement sur simple demande des membres du laboratoire (en accord avec le responsable d'équipe) par le DU ou le DUA.

Le LIGM ne prélève pas de pourcentage sur les projets. Pour tous les chercheurs et enseignants-chercheurs, la règle explicite et acceptée est d'utiliser en priorité les financements sur projets. Le nombre de projets et le soutien fort des tutelles font qu'il n'y a aucune difficulté avec ce mode de fonctionnement; toutes les demandes de mission pour présenter un résultat de recherche ainsi que les nombreuses missions non liées à des publications ont été financées sur la période d'évaluation. Les commandes de matériel informatique (équipement des nouveaux arrivants et renouvellement) sont habituellement faites à la fin du printemps et au début de l'automne (sauf urgence). Les achats exceptionnels (serveurs en particulier) sont discutés en CL LIGM en début d'automne.

Le laboratoire finance des gratifications de stage M2 et M1 (le laboratoire bénéficie d'un financement UGE pour 24 mois M2 en moyenne). Exceptionnellement le laboratoire finance des gratification de stage L3 pour des étudiants de très bon niveau avec une appétence avérée pour la recherche.

### 1-2.5 Équipes, plateformes et missions particulières

L'unité est constituée de 6 équipes de recherche.

- Équipe *Algorithmes, architectures, analyse et synthèse d'images* (A3SI)
- Équipe *Algorithmique discrète et applications* (ADA)
- Équipe *Base de données, automate, analyse d'algorithmes et modèles* (BAAM)
- Équipe *Combinatoire algébrique et calcul symbolique* (COMBI)
- Équipe *Méthodes et Modèles pour le Signal, l'Image et les Données* (MMSID)
- Équipe *Logiciels, Réseaux et Temps réel* (LRT)

En ce qui concerne les équipements de recherche et les plateformes dédiées à l'expérimentation et à l'évaluation des modèles, protocoles et algorithmes, le laboratoire dispose de divers équipements spécialisés. Parmi ceux-ci, nous pouvons citer quelques exemples :

- Au niveau des devices IoT : i) Une flotte d'une dizaine de drones de type Crazyflie et Tello, équipés de dispositifs de synchronisation et de localisation. ii) De plus, des robots de type TurtleBot complètent cette plateforme pour assurer une synchronisation avec les drones et les objets IoT, principalement utilisée pour valider les algorithmes et les modèles de collecte et de transport de données et de navigation dans un environnement fermé.
- Au niveau du réseau d'accès (5G RAN) et du réseau de cœur (5G Core) : une plateforme 5G intégrant les technologies OpenAir, 5G SA (Standalone) et NSA (Non-Standalone), ainsi que la fonctionnalité de slicing, déployée dans le cadre des projets Scorpion et 5G-insight.

Plusieurs collègues assurent des tâches administratives indispensables à la vie du laboratoire : C. Athénosy, et V. Belmega (référentes parité-égalité), T. Gomez-Diaz (correspondante logiciels), T. Nakamura (correspondant formation CNRS), A. Meyer (responsable bibliothèque), M. Crochemore (référent intégrité scientifique) et Ph. Gambette (Responsable bibliographie HAL LIGM).

Le site web du laboratoire est hébergé sur le site de Champs-sur-Marne à l'UGE. Il est actuellement en phase de remise à jour (évolution de typo3 vers wordpress). Le laboratoire s'est doté en 2022 d'une commission de suivi et de mise à jour du site web. Cette commission est composée d'un unique point de contact et mise à jour RH, et d'un correspondant par équipe chargé de maintenir les informations à jour : C. Palescandolo (contact et mise à jour RH), C. Wang (A3SI), Ph. Gambette (ADA), V. Marsault (BAAM), N. Borie (COMBI), O.-S. Oubbati (LRT) et F.-X. Vialard (MMSID). Correspondante administration : C. Palescandolo

La commission locaux a été créée en 2022. Elle est composée de C. Palescandolo, A. de Mesmay et S. Vialette (DU). Dans un contexte de pénurie de locaux, elle est chargée d'attribuer des bureaux pour les personnels permanents, non permanents et invités.

### 1-2.6 Effectif de l'unité et de ses équipes au 31/12/2023

Les effectifs du LIGM au 31 décembre 2023 sont répartis de la façon suivante<sup>1</sup> (voir Figure 2) :

- 75 enseignants-chercheurs (49 UGE ex-UPEM, 25 UGE ex-ESIEE et 1 Université Paris-Cité),
- 21 chercheurs (13 CNRS et 8 ENPC),
- 2 ingénieurs CNRS,
- 3 ITA/BIATSS (2 CNRS et 1 UGE),
- 62 doctorants,
- 3 post-doctorants.

Les répartitions par équipe sont les suivantes (voir Figure 3) :

- Équipe *Algorithmes, architectures, analyse et synthèse d'images* (A3SI) : 1 PR UGE, 2 MCF UGE, 12 MCF ESIEE (dont 2 émérites), 8 CR ENPC.
- Équipe *Algorithmique discrète et applications* (ADA) : 3 PR UGE (dont 1 émérite), 6 MCF UGE, 1 MCF UPC, 3 DR CNRS, 3 CR CNRS, 1 IE CNRS.
- Équipe *Base de données, automate, analyse d'algorithmes et modèles* (BAAM) : 5 PR UGE (dont 1 émérite), 11 MCF UGE, 2 DR CNRS, 1 CR CNRS.
- Équipe *Combinatoire algébrique et calcul symbolique* (COMBI) : 3 PR UGE, 2 MCF UGE, 1 DR CNRS.
- Équipe *Logiciels, Réseaux et Temps réel* (LRT) : 3 PR UGE, 6 MCF UGE, 10 MCF ESIEE.
- Équipe *Méthodes et Modèles pour le Signal, l'Image et les Données* (MMSID) : 2 PR UGE, 3 MCF UGE, 2 PR ESIEE, 1 MCF ESIEE, 2 DR CNRS, 1 CR CNRS.

Les effectifs des personnels permanents du LIGM sont en augmentation sur la période d'évaluation (voir Figure 4 pour une vue globale). Les deux points importants sont l'augmentation du nombre de PR (passant de 14 à 17) et l'augmentation du nombre de chercheurs ENPC (passant de 3.2 à 7.2). Un tableau précisant le nombre de départs et le nombre d'arrivées par année est donnée Figure 5.

**La place des femmes dans l'unité.** Au 31 décembre 2023, le LIGM compte 16 femmes (soit environ 17% des personnels permanents). Les points suivants méritent d'être mis en avant :

- 4 femmes HDR sur 46 HDR, soit env. 8.6% ;
- 0 femme CNRS sur 13 CNRS, soit 0% ;
- parmi les personnels IT et BIATSS, on compte 4 femmes et 1 homme. Tous les personnels issus de la BAP J sont des femmes.

Le pourcentage de femmes dans les chercheurs et enseignants-chercheurs des UMR d'informatique est d'environ 25%<sup>2</sup>. Pour la Section 27 (resp. Section 61), le taux de féminisation est de l'ordre de 20% (resp. 12%) pour les PR et de l'ordre de 26% (resp. 21%) pour les MCF<sup>3</sup>.

**Formation doctorale.** Durant la période d'évaluation, la durée moyenne des thèses soutenues est de 42.5 mois. Malgré la crise sanitaire, cette durée reste comparable à celle de la précédente évaluation. Le tableau ci-après résume le nombre d'inscriptions en thèse et de thèses soutenues par année.

1. L'Université Paris-Est Marne-la-Vallée (UPEM) et l'ESIEE ont fusionné en 2020 pour donner naissance à l'Université Gustave Eiffel (UGE) (cf. 1-2.1 p. 3). La fusion des établissements s'est donc déroulée pendant la période d'évaluation. Aussi, pour clarifier la présentation, il sera souvent fait mention des termes « UGE ex-UPEM » (ou « UGE ex-U » comme c'est désormais l'usage au sein de l'université) et « UGE ex-ESIEE » pour préciser le contexte et l'historique. Ces précisions n'ont bien sûr pas vocation à être pérennisées.

2. Le périmètre considéré est l'ensemble des unités dont le rattachement principal est CNRS Sciences informatiques (chiffres d'avril 2023).

3. Direction générale des ressources humaines, Service des personnels enseignants de l'enseignement supérieur et de la recherche, 2022.

Employeur	Effectifs	H	F
ENPC	8	7	1
UGE (ex-U)	47	40	7
UGE (ESIEE)	25	18	7
CNRS	13	13	0
UPC	1	0	1
	94	78	16

● ENPC ● UGE (ex-U) ● UGE (ESIEE) ● CNRS ● UPC

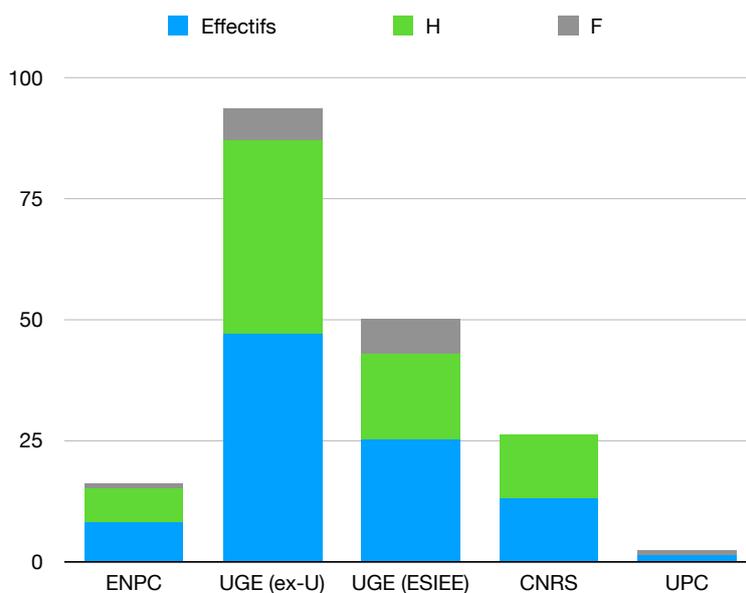
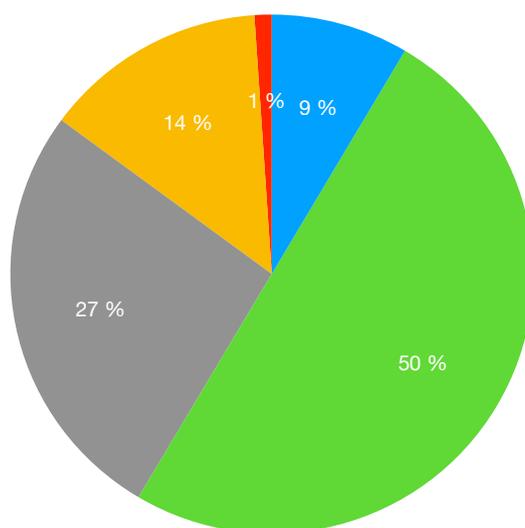


Figure 2 – Répartition des effectifs par tutelles.

Equipe	Reponsable	Nom	Effectifs
<b>A3SI</b>	L. Najman	Algorithmes, architectures, analyse et synthèse d'images	23
<b>ADA</b>	G. Kucherov & A. de Mesmay	Algorithmes Discrets et Applications	16
<b>BAAM</b>	C. Nicaud	Bases de données, Automates, Analyse d'algorithmes et Modèles	19
<b>COMBI</b>	J.-Y. Thibon	Combinatoire algébrique et calcul symbolique	6
<b>LRT</b>	A. Rachedi	Logiciels, Réseaux et Temps réel	19
<b>MMSID</b>	W. Hachem	Signal et communication	11
			<b>Total</b> 94

● A3SI ● ADA ● BAAM ● COMBI ● LRT ● MMSID

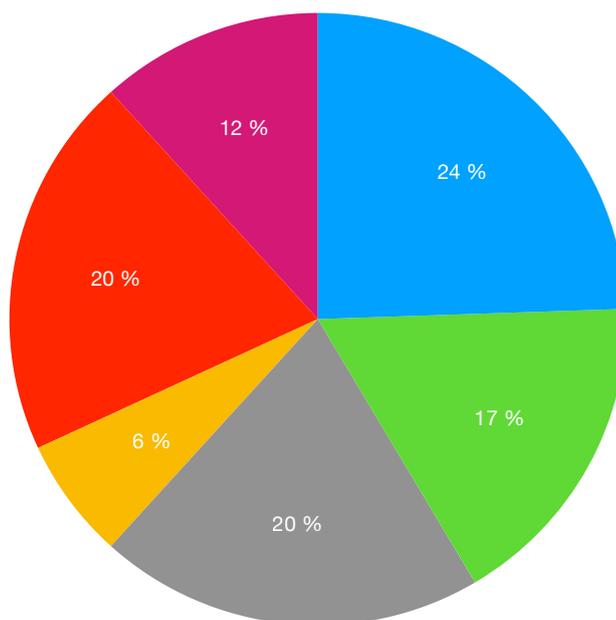


Figure 3 – Répartition par équipe des enseignants chercheurs et chercheurs du laboratoire.

	01/01/2018	01/01/2019	01/01/2020	01/01/2021	01/01/2022	01/01/2023	01/01/2024
PR	14	14	14	15	15	16	17
MCF	31	29	29	29	32	30	31
PR ESIEE	24	24	25	24	20	23	25
DR CNRS	7	7	7	8	8	8	8
CR CNRS	4	5	5	5	4	5	5
CR ENPC	3,2	5,2	5,2	5,2	5,2	6,2	7,2
ITA/BIATSS	5	5	5	5	5	5	5
	88,2	89,2	90,2	91,2	89,2	93,2	98,2

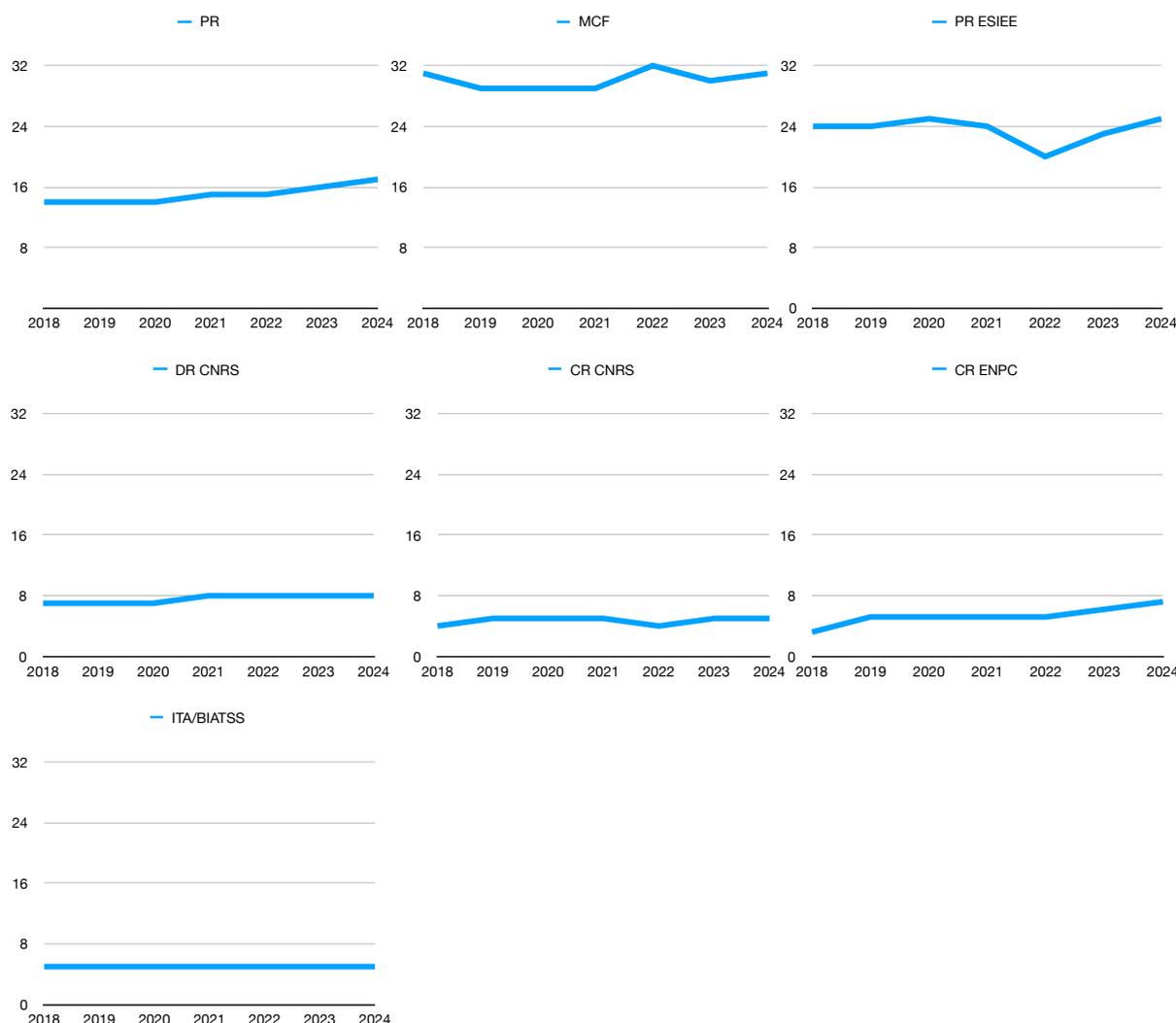


Figure 4 – Évolution des effectifs du LIGM.

	01/01 2018	→	01/01 2019	→	01/01 2020	→	01/01 2021	→	01/01 2022	→	01/01 2023	→	31/12 2023
PR	14	-2 +2	14		14	+1	15		15	+1	16	+1	17
MCF	31	-2	29	-1 +1	29	-1 +1	29	+3	32	-4 +2	30	+1	31
PR ESIEE	24		24	+1	25	-1	24	-5 +1	20	-1 +4	23	+2	25
DR CNRS	7		7		7	+1	8		8		8		8
CR CNRS	4	+1	5		5		5	-1	4	+1	5	-1 +1	5
CR ENPC	3.2	+2	5.2		5.2		5.2		5.2	+1	6.2	+1	7.2
ITA/BIATSS	5		5		5		5		5		5		5
	88.2	+1	89.2	+1	90.2	+1	91.2	-2	89.2	+4	93.2	+5	98.2

Figure 5 – Répartition par profil : évolution temporelle sur le quinquennat

Rang	Effectifs	H	F
A	41	37	4
B	53	41	12
	94	78	16

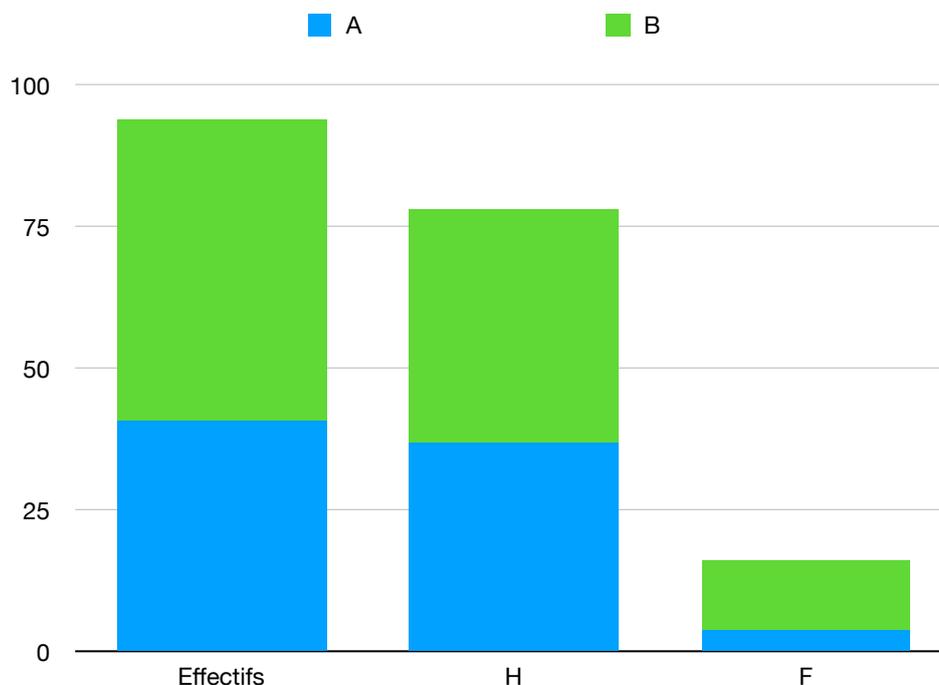


Figure 6 – Répartition des chercheurs et enseignants-chercheurs du LIGM par rang (A : PR/DR ; B : MCF/CR).

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	moy. ann.
Nombre d'inscriptions	21	15	23	23	17	17	<b>19.3</b>
Nombre de soutenances	20	7	10	16	17	16	<b>14.3</b>

Le tableau suivant présente les mêmes données ventilées par équipe de recherche.

	Équipes	2018	2019	2020	2021	2022	2023	moy. ann.
Nombre d'inscriptions	A3SI	12	7	12	9	11	10	<b>10.1</b>
	ADA	1	0	2	3	0	0	<b>1.0</b>
	BAAM	2	1	1	2	2	0	<b>1.3</b>
	COMBI	0	1	0	2	0	1	<b>0.6</b>
	LRT	2	3	5	6	2	4	<b>3.6</b>
	MMSID	4	3	3	1	2	2	<b>2.5</b>
Nombre de soutenances	A3SI	15	3	4	8	8	10	<b>8.0</b>
	ADA	0	0	1	1	1	1	<b>0.6</b>
	BAAM	4	1	1	2	1	1	<b>1.6</b>
	COMBI	1	2	0	0	1	0	<b>0.6</b>
	LRT	0	1	2	3	2	3	<b>1.8</b>
	MMSID	0	0	2	2	4	1	<b>1.5</b>

Concernant le nombre de doctorants, il existe un réel déséquilibre entre les six équipes du laboratoire, A3SI étant très largement devant à la fois sur le nombre d'inscriptions mais également sur le nombre de soutenances. Plusieurs facteurs expliquent en partie ces différences. Le premier est factuel, l'équipe A3SI possède le plus grand nombre d'enseignants chercheurs et chercheurs HDR (données 12/2023 : A3SI=16, ADA=7, BAAM=7, COMBI=4, LRT=6 et MMSID=7). Le second est thématique, les thèmes de recherche portés par l'équipe A3SI (apprentissage, deep learning, vision par ordinateur, ...) mais également l'équipe LRT (réseaux mobiles, IoT, ...) se prêtent plus facilement aux financements de thèse sur contrat. Enfin, il existe un vrai décalage entre les spécialités les plus fondamentales du laboratoire et les formations dispensées au sein de l'université qui complique le recrutement de haut niveau locaux.

## 1-3 Les thématiques scientifiques et leurs enjeux

### 1-3.1 Structuration en six équipes de recherche

Les recherches menées au LIGM couvrent un spectre assez large, du réseau à la combinatoire algébrique, en passant par l'apprentissage, l'algorithmique, la géométrie, les probabilités en grande dimension, le transport optimal et les bases de données. Elles allient donc contributions théoriques et applications avec une ouverture interdisciplinaire. Nous sommes convaincus que c'est un atout majeur pour le laboratoire.

Le LIGM est rattaché à l'institut CNRS Sciences Informatiques ainsi qu'aux sections 6 et 7 du Comité National de la Recherche Scientifique (CoNRS). Les enseignants chercheurs du LIGM relèvent des sections 27 et 61 du Conseil National des Universités (CNU).

Le laboratoire est structuré en six équipes de recherche<sup>4</sup>.

— Équipe *Algorithmes, architectures, analyse et synthèse d'images* (A3SI) :

1. Théorie et algorithmes des structures discrètes ;
2. Théorie du deep learning ;
3. Vision par ordinateur ;
4. Optimisation ;
5. Traitement de grand volume de données et adéquation algorithme-architecture ;
6. Interactions et applications.

— Équipe *Algorithmique discrète et applications* (ADA) :

1. Algorithmique des structures combinatoires et algorithmiques pour la bioinformatique ;
2. Géométrie algorithmique et combinatoire ;

4. Depuis 2021, l'équipe historique MoA a été scindée en deux nouvelles équipes : ADA et BAAM.

3. Linguistique pour le traitement des langues.
- Équipe *Base de données, automate, analyse d'algorithmes et modèles* (BAAM) :
    1. Bases de données et méthodes formelles ;
    2. Analyse d'algorithmes.
  - Équipe *Combinatoire algébrique et calcul symbolique* (COMBI) :
    1. Algèbre de Hopf ;
    2. Théorie des opérades ;
    3. Probabilités libres ;
    4. Fonctions symétriques ;
    5. Tableaux de Young.
  - Équipe *Logiciels, Réseaux et Temps-réel* (LRT) :
    1. Algorithmes et modèles pour les réseaux de communication ;
    2. Logiciel, systèmes et applications ;
    3. Algorithmes et modèles pour les systèmes Temps réel.
  - Équipe *Méthodes et Modèles pour le Signal, l'Image et les Données* (MMSID) :
    1. Probabilités en grande dimension et matrices aléatoires ;
    2. Transport optimal, analyse topologique des données et sujets connexes ;
    3. Théorie de l'information pour l'apprentissage et les télécoms ;
    4. Algorithmes d'optimisation et d'apprentissage statistique.

### 1-3.2 La stratégie scientifique du LIGM

La stratégie scientifique du LIGM repose sur trois axes :

1. Produire une recherche scientifique de qualité dans ses domaines d'expertise. L'activité de recherche du LIGM s'appuie notamment sur son savoir-faire en matière d'apprentissage, de géométrie, d'algorithmique, de vision par ordinateur, de combinatoire, de méthodes formelles ou encore de logiciels et de réseaux, dont témoignent les multiples projets et partenariats. Le laboratoire se fixe l'objectif d'accroître sa visibilité sur la scène internationale ainsi que son attractivité, en étant leader sur des thématiques de pointe (ces thématiques sont explicitées dans les projets des équipes). À ce titre, l'unité considère que la politique de recrutement est l'un de ses leviers principaux de politique scientifique et se veut intransigeante et très exigeante sur la qualité scientifique des nouveaux entrants.
2. Réaliser des projets de recherche au niveau régional, national ou international. Cela se manifeste à travers des partenariats multiples (Thermo Fisher Scientific, Safran, FaceBook, Neo4j, ENGIE, uGetWin, etc.) et l'obtention de contrats de recherche avec diverses institutions publiques ou privées (ANR, Région, etc.). Les membres du laboratoire valorisent leurs recherches à travers des supports académiques ou autres (publications, manifestations scientifiques, articles dans les médias, etc.)
3. Accueillir, former et encadrer des stagiaires, des doctorants et des post-doctorants. En particulier, le laboratoire est fortement impliqué dans la formation, notamment au niveau doctoral et dans plusieurs formations de niveau Master.

#### 1-3.2.1 Enjeux

La mission du LIGM est essentiellement de mener des recherches fondamentales dans son domaine d'expertise et l'algorithmique fait clairement partie de l'ADN du laboratoire depuis sa création en 1992, notamment l'algorithmique du texte dont M. Crochemore est un spécialiste mondialement reconnu ; il est notamment à l'initiative de la création de la conférence internationale phare du domaine qui fête cette année ses 35 ans d'existence. Les thématiques étudiées se sont depuis bien élargies, que ce soit vers la complexité algorithmique, l'algorithmique des graphes, l'algorithmique paramétrée et plus récemment avec les algorithmes géométriques. L'algorithmique n'est pas seulement le cœur de métier de l'équipe ADA, ce thème traverse très largement les équipes BAAM et A3SI et ce thème a permis l'émergence de collaborations avec l'équipe COMBI. L'algorithmique est assurément devenue un thème de recherche transverse au sein du LIGM très représenté dans le séminaire hebdomadaire du laboratoire et ayant permis de nombreuses collaborations avec nos collègues mathématiciens, notamment dans le contexte du LaBex Bézout. Plus largement, les problématiques algorithmiques sont des problèmes fondamentaux dans le contexte du traitement des grandes masses de données qui

nécessite des algorithmes toujours plus performants. Au-delà des thèmes émergents (sciences des données et apprentissage), l'algorithmique participe très largement de l'identité du laboratoire et de sa visibilité. L'enjeu est de maintenir et de renforcer - en particulier sur ces aspects transverses - notre expertise sur ce thème dans un contexte compétitif.

Avec l'émergence des données massives (Big Data), l'intelligence artificielle et plus largement la science des données révolutionnent désormais presque tous les secteurs d'activité de la société. C'est donc une orientation prioritaire thématique du CNRS dans le domaine du numérique, avec des questions qui relèvent de la recherche fondamentale pour prendre en compte, notamment, les enjeux d'empreinte énergétique, de fiabilité ou d'explicabilité. La recherche en science des données et en apprentissage a pris ces dernières années beaucoup d'ampleur au sein du laboratoire. C'est une orientation forte qui est soutenue par de nombreux recrutements et promotions au sein du LIGM sur ces thèmes durant la période d'évaluation : F.-X. Vialard (MMSID, PR, 2018), Th. Lacombe (MMSID, MMSID, 2021), G. Varol (A3SI, CR ENPC, 2022), O. Curé (BAAM, PR, 2023), L. Landrieu (A3SI, DR ENPC, 2023), R. Négrel (A3SI, MCF ESIEE, 2023) et N. Schreuder (MMSID, CR CNRS, 2023). Cette orientation prise par le LIGM est d'ores et déjà attestée par des reconnaissances de très haut niveau, notamment les deux ERC obtenues en 2022 par M. Aubry et V. Lepetit. Les enjeux pour le LIGM sont majeurs et multiples. Il s'agit d'une part de poursuivre notre montée en compétence sur des problématiques liées aux données massives dans des contextes académiques et industriels particulièrement compétitifs. Il s'agit également pour le laboratoire de s'insérer plus profondément dans les réseaux et projet régionaux, nationaux et internationaux pour développer les aspects formels et algorithmiques mais également les recherches interdisciplinaires en science des données et en apprentissage. Enfin, le LIGM a pour ambition de devenir l'acteur de référence et fédérateur en science des données et en apprentissage sur le site de la Cité Descartes à Champs-sur-Marne, en particulier dans le contexte de l'I-site Future dont le projet scientifique est structuré autour de 3 défis : les villes économes en ressources, les villes sûres et résilientes et les villes connectées.

### 1-3.2.2 Insertion dans les stratégies de recherche et d'innovation

La recherche menée au sein du laboratoire LIGM s'inscrit en partie dans la stratégie de recherche de l'université, notamment sur les thématiques de la ville durable et de la digitalisation. Les membres du LIGM ont contribué à des appels à projets I-SITE FUTURE et continuent à le faire via des appels à projets PEPR (VDBI, MOBIDEC, 5G, ...) et France 2030 pour alimenter ces thématiques. Au niveau européen, le laboratoire adopte une stratégie incitative pour participer à des programmes tels que Horizon Europe, visant à renforcer la coopération et l'innovation à l'échelle européenne. En ce qui concerne le volet innovation, le laboratoire LIGM a participé activement aux activités de valorisation des travaux de recherche à travers des projets de pré-maturation et de maturation en collaboration avec CNRS Innovation et la SATT Erganeo. Les résultats de ces projets ont abouti à des brevets acceptés et protégés en Europe, certains bénéficiant d'extensions PCT en Amérique du Nord (États-Unis) et en Chine, témoignant ainsi de leur pertinence et de leur potentiel à l'échelle mondiale [380, 381, 382, 125]. Dans le cadre d'un projet de maturation mené au sein de l'équipe LRT, une startup nommée uGetWin a été fondée en collaboration avec la SATT Erganeo. Cette startup exploite déjà certains des brevets développés par des chercheurs du LIGM, démontrant ainsi la capacité à créer de la valeur ajoutée à partir de nos recherches [2]. Le LIGM continue à inciter ses membres à contribuer à cette dynamique, afin de créer encore plus de valeur ajoutée et de renforcer l'impact de nos recherches à l'échelle nationale, européenne et internationale.

Enfin, les soumissions ERC sont un enjeu majeur du LIGM. Ces projets compétitifs sont de forts marqueurs de visibilité pour les porteurs et leurs thématiques scientifiques et la démarche de soumission impulse une vraie dynamique dans la trajectoire scientifique des porteurs, dans leurs équipes et leurs communautés. Si le laboratoire a connu un certain succès durant la période d'évaluation avec deux ERC obtenues en 2022 (M. Aubry et V. Lepetit), il convient de poursuivre et d'intensifier nos efforts pour augmenter significativement à la fois le nombre de soumissions et le nombre de lauréats. Ainsi, la direction du laboratoire ainsi que les responsables des équipes de recherche doivent porter leurs efforts sur l'information amont (calendrier, dispositifs d'aide, ...) et multiplier les sollicitations pertinentes auprès des membres du laboratoire.

## 1-4 Profil d'activités liées à la recherche

<b>Activités</b> (Répartir 100 points sur ces 7 items)	
<b>Administration et animation de la recherche</b> : pilotage de la recherche (VP, direction d'institut, DAS, par exemple), participation à des instances d'évaluation (CNU, CoNRS, CSS, Hcéres, ANR par exemple), responsabilité de dispositifs Idex ou I-site, direction de projets (ANR, Horizon Europe, ERC, CPER, PIA, France 2030, par exemple), responsabilités éditoriales dans des revues ou collections nationales et internationales.	20
<b>Aide aux politiques publiques et expertise technique</b> : pouvoirs publics aux niveaux européen, national et régional, entreprises, instances internationales comme FAO, OMS, etc.	0
<b>Contribution à l'adossement d'enseignements innovants à la recherche</b> : EUR, SFRI, etc.	15
<b>Dissémination de la recherche</b> : partage de connaissances avec le grand public, médiation scientifique, interface sciences et société.	0
<b>Recherche et encadrement de la recherche.</b>	50
<b>Valorisation, transfert, innovation.</b>	10
<b>Autres activités.</b> (à préciser en une ligne maximum).	5

## 1-5 Environnement de recherche

### 1-5.1 LabEx et Fédération Bézout

Le LabEx Bézout *Modèle et algorithmes : du discret au continu* a été sélectionné en 2011 dans le cadre du premier programme d'investissement d'avenir (<https://labex-bezout.fr/>). Le LabEx Bézout est un LabEx à la frontière entre les mathématiques et l'informatique et il fédère trois laboratoires de recherche situés sur le campus Descartes Marne-la-Vallée : le Laboratoire d'analyse et de mathématiques appliquées (LAMA), le Centre d'Enseignement et de Recherche en Mathématiques et Calcul Scientifique (CERMICS) et le LIGM. Les cinq thèmes scientifiques portés par le LabEx Bézout sont :

- Images et géométrie (J. Cousty et F. Fanoni) ;
- Phénomènes en grande dimension (G. Merlevède et J. Najim) ;
- Mathématiques discrètes et algorithmes (M. Van Den Bogaard et F. Meunier) ;
- Modèles déterministes et stochastiques (B. Jourdain et É. Sandier) et
- Villes intelligentes (L. Hauswirth et J.-P. Chancelier).

Le LabEx Bézout a permis de financer :

- des bourses M2 attractives pour attirer des étudiants étrangers à fort potentiel et alimenter notre programme doctoral ;
- des cours M2 à l'interface entre les mathématiques et l'informatique ;
- des demi-allocations doctorales pour favoriser les interactions entre le LAMA, le CERMICS et le LIGM via des co-encadrements doctoraux ;
- des invitations de chercheurs étrangers ;
- des projets de recherche impliquant au moins deux laboratoires ;
- des manifestations scientifiques, notamment des écoles internationales et
- des journées scientifiques en présence de représentants de centres de recherche et développement du monde industriel.

Sur la période d'évaluation, plusieurs étudiants issus du M2 Bézout ont été encadrés ou co-encadrés en thèse (dont 6 si via des demi-financements du LabEx Bézout par des membres du LIGM).

Avec la FSMP, la FMJH et Paris Seine, le LabEx Bézout a été membre du DIM Math Innov de 2017 à 2021. Avec la FSMP et la FMJH, le LabEx Bézout a été lauréat de deux programmes européens COFUND (MathInGreaterParis et MathPhDInFrance) grâce auxquels nous avons pu accueillir plusieurs postdocs.

Du point de vue du LIGM, le LabEx et la fédération Bézout ont été une grande réussite dans le développement d'interactions avec le LAMA et le CERMICS. Les financements et projets associés ont été essentiels pour structurer des collaborations inter-laboratoires, établir de solides liens scientifiques et créer de nouvelles thématiques de recherche.

Avec la disparition du LabEx fin 2024 et l'intégralité de son financement basculée vers l'I-SITE Future, la pérennité des collaborations mises en place est fragilisée. Les futures répartitions et utilisations des fonds sont toujours en discussion et constituent un important point de vigilance pour la direction du LIGM.

La Fédération de Recherche Bézout (FR3522) regroupe les mêmes acteurs que le LabEx Bézout (<https://labex-bezout.fr/bezout-federation/>). Avec la disparition annoncée fin 2024 du LabEx Bézout, la Fédération de Recherche Bézout pourrait être amenée à prendre davantage d'importance. L'Université Gustave Eiffel a lancé en mai 2023 un appel à manifestation d'intérêt. Les trois laboratoires impliqués dans le LabEx et la Fédération de recherche Bézout ont répondu à l'appel en proposant une animation scientifique de type fédération portée par l'actuel directeur du LabEx et de la Fédération de Recherche Bézout.

### 1-5.2 Graduate Program Bézout–SFRI

Le projet *Graduate School GP-DS* (Graduate Program – Doctoral studies) est lauréat de l'appel à projets SFRI « structuration de la formation par la recherche dans les initiatives d'excellence », réservé aux établissements labellisés IDEX et I-SITE. Ce projet est porté par l'Université Gustave Eiffel, il associe l'Université Paris-Est Créteil, l'École des Ponts ParisTech et le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS). Le projet repose sur la proposition de dispositifs de formation spécifiques et l'accompagnement d'étudiants et étudiantes dans une trajectoire de recherche conduisant au doctorat. Parmi les dispositifs soutenus sont proposées des bourses, tant pour l'accueil des étudiants internationaux que pour permettre à des étudiants nationaux sélectionnés de suivre les cycles de formation issus des *Graduate Programs*. Quatre *Graduate Programs* ont ainsi été mis en œuvre à la rentrée 2021 : (1) Urban Future, (2) Digital Studies and Innovation for Smart-Cities, (3) Bézout - Mathematics and computer science et (4) Connected Objects, Devices and Systems (CODS) : « *connecting and sensing the city* ». Ultérieurement, la « *Graduate School* » prévoit de déployer d'autres « *Graduate Programs* ».

Le LIGM, le LAMA et le CERMICS font partie du *Graduate Program* Bézout - Mathematics and computer science depuis 2021. Ce programme permet de financer des bourses M2, des cours M1 et M2 à l'interface entre les mathématiques et l'informatique, des bourses M1 d'excellence pour les étudiants issus de nos masters. Ce *Graduate Program* Bézout - Mathematics and computer science prendra le relais du LabEx Bézout en 2024 pour assurer le financement de l'accueil des étudiants étrangers M2. Cependant, et contrairement au Labex Bézout, ce programme ne permettra pas le financement de thèses à l'interface entre les mathématiques et l'informatique. F.-X. Vialard (PR UGE, MMSID) est le responsable du projet SFRI.

### 1-5.3 I-SITE Future

L'I-SITE Future est un projet scientifique et institutionnel autour des villes et des territoires désirables pour demain. Construit en 2017, en réponse à l'appel à Projets Investissements d'Avenir (PIA 2) et labellisé I-SITE (Initiative Science – Innovation – Territoire – Économie), ce projet a pour ambition « d'être la référence en la matière en France et à l'international ». Dans le cadre de ce projet, l'Université Gustave Eiffel a développé des projets pour la recherche, la formation, la vie étudiante et de campus, le développement des partenariats économiques et institutionnels, notamment internationaux, en partenariat avec l'École des Ponts ParisTech. Ce projet est arrivé au terme de sa période probatoire en 2021 et a reçu la confirmation de sa labellisation le 10 mars 2022.

Le laboratoire est ou a été impliqué dans plusieurs projets d'envergure pendant la période d'évaluation. Mentionnons en particulier le projet AAP ISITE-FUTURE Tremplin pluridisciplinaire structurant nommé URL-UrbaRiskLab sur la dynamique des risques et des crises dans l'environnement urbain (<http://urbarisklab.org/>) et le projet I-SITE Futur avec Eiffage, Chantier Responsable dans la Ville, (Début janvier 2019 - décembre 2022).

### 1-5.4 ComUE Paris-Est Sup. et École doctorale MSTIC

Créée en 2007, Paris-Est Sup est une Communauté d'Universités et d'Établissements fédérant 17 institutions caractérisées par la diversité de leurs missions et de leurs rattachements ministériels. L'ensemble du site de Paris-Est est historiquement construit autour de deux zones géographiques : la Cité Descartes à Marne-la-Vallée et le site de Créteil Maisons-Alfort.

L'École Doctorale Mathématiques et STIC (MSTIC) se positionne sur le périmètre thématique des mathématiques et des sciences et technologies de l'information et de la communication. Ses spécialités comprennent : Électronique, Optronique et Systèmes - Informatique - Mathématiques - Sciences et Technologies de l'Information Géographique - Signal, Image, et Automatique. Dix équipes d'accueil sont rattachées à l'école doctorale MSTIC. Ces équipes ont pour tutelles huit établissements dont trois membres d'Université Paris-Est (École des ponts ParisTech, Université Gustave Eiffel, UPEC) et un membre associé (IGN). Deux équipes sont spécialisées en mathématiques (CERMICS et LAMA), deux en informatique (LACL et LIGM), une en électronique (ESYCOM), trois en Sciences et Technologies de l'Information Géographique (COGIT, LOEMI ET MATIS qui sont rattachés au LasTIG), les quatre équipes restantes (GRETIA, LEPSIS, LISIS, LISSI) couvrent chacune plusieurs spécialités. Le LIGM bénéficie en moyenne de 3 à 4 allocations doctorales par an.

### 1-5.5 Domaines d'Intérêt Majeur

Les Domaines d'Intérêt Majeur (DIM) de la région Île-de-France sont des projets régionaux importants en soutien à la recherche. Sur la période 2017-2021, la Région a fourni des aides à la recherche dans 13 domaines de recherche à fort potentiel. Le LIGM a été impliqué dans deux DIM : le Réseau francilien en sciences informatiques (RFSI) et Math Innov.

### 1-5.6 SATT Erganeo

Erganeo est une société française de transfert de technologies, spécialisée dans les innovations de rupture à fort impact sociétal. Via la SATT Erganeo, plusieurs projets de maturation et pré-maturation ont pu être mis en place (voir 3-2.5). En particulier, ces projets de maturation ont donné lieu à 4 brevets et à la création d'une startup nommée uGetWin.

## 1-6 Prise en compte des recommandations du précédent rapport

### 1-6.1 Recommandations concernant les produits et activités de la recherche

*La visibilité des activités de recherche est à maintenir à son niveau d'excellence. Il faut réfléchir au sein du laboratoire à une stratégie de diversification des sources de financement (ANR, européens, FUI) suivant les thématiques des équipes. La durée des thèses doit être réduite progressivement. Le laboratoire doit se doter d'une politique de recrutement des doctorants afin d'attirer des candidats externes de haut niveau.*

En 2022, deux chercheurs du laboratoire ont été lauréats de bourses ERC : M. Aubry (ERC Starting Grant) et V. Lepetit (ERC Advanced Grant). Durant la période d'évaluation, sept ANR ont été portées par des membres du laboratoire.

Concernant la durée des thèses, les confinements dus à l'épisode COVID ont parfois fortement perturbé le déroulement des thèses et l'ED a accepté et financé un certain nombre de dépassements. En termes de durée moyenne des thèses, l'objectif du laboratoire est de viser une durée de 36-40 mois.

Le laboratoire continue de recruter des doctorants de haut niveau, au prix d'efforts constants réalisés par ses membres. En effet, le laboratoire ne dispose pas, sur le périmètre UGE, d'un vivier naturel et suffisant d'étudiants de haut niveau pouvant continuer en doctorat. De tels étudiants existent mais en nombre trop restreint pour pourvoir aux besoins du laboratoire.

il peut exister par ailleurs un décalage entre les spécialités les plus fondamentales du laboratoire et les formations dispensées dont l'objectif premier, par ailleurs absolument indiscutable, est de former les étudiants à rejoindre le monde de l'entreprise.

Afin d'attirer les candidats externes de haut niveau, deux axes sont privilégiés. L'enseignement dans les masters franciliens de référence et le recrutement à l'international d'étudiants en Master 2 via le LabEx Bézout.

### Enseignement dans les masters franciliens de référence

- Master Parisien de Recherche en Informatique (MPRI) : L. Bulteau (CR CNRS, ADA), É. Colin de Verdière (DR CNRS, ADA), É. Fusy (DR CNRS, BAAM), P. Gambette (MCF UGE, ADA), V. Jugé (MCF UGE, BAAM), G. Kucherov (DR CNRS, ADA), A. de Mesmay (CR CNRS, ADA), C. Nicaud (PR UGE, BAAM) et M. Weller (CR CNRS, ADA) enseignement ou ont enseigné pendant la période d'évaluation au MPRI.

- Master Mathématiques, Vision, Apprentissage (MVA) : M. Aubry (DR ENPC, A3SI), V. Lepetit (DR ENPC, A3SI), P. Monasse (DR ENPC, A3SI), J. Najim (DR CNRS, MMSID), D. Picard (DR ENPC, A3SI), G. Varol (CR ENPC, A3SI) enseignent ou ont enseigné sur la période d'évaluation au MVA.
- Graduate Program DIGIS : P. Gambette (MCF UGE, ADA) y enseigne.
- Master Datascience de Télécom Paris/Polytechnique : W. Hachem (DR CNRS, MMSID) y enseigne.

**Recrutement à l'international d'étudiants en Master 2 via le LabEx Bézout.** Le LabEx Bézout finance des M2 étrangers (la sélection est faite sur dossier) et propose des demi-financements pour la poursuite en thèse. Pour les thèses, les collaborations entre les trois laboratoires du LabEx (LAMA, CERMICS et LIGM) sont fortement encouragées. À ce titre, le LIGM a bénéficié durant la période d'évaluation de six demi-financements : C. S. Diaye (2022-2025), H. Langlois (2020-2023), J. Chartier (2020-2023), D. Tieplova (2017-2020), Th. Groueix (2016-2019, accessit du prix Gilles Kahn) et D. Santana Maia (2016-2019).

*Le laboratoire doit cartographier son ensemble de logiciels, fixer des priorités pour son développement, et mettre en œuvre les moyens d'obtenir des postes d'ingénieurs permanents afin de les pérenniser.*

Récemment, le laboratoire a mis en place un groupe de réflexion sur la pérennisation de ses logiciels et plus généralement sur la place du logiciel au sein du laboratoire via la création à moyen terme d'une équipe de soutien à la recherche. C'est un sujet long et compliqué. Il s'agit en effet de concevoir *ex nihilo* une structure de soutien pour le développement et la pérennisation (il convient en particulier de définir précisément comment fonctionnera une telle équipe avant d'atteindre une certaine masse critique) mais également de mieux valoriser le travail des enseignants chercheurs et chercheurs du laboratoire dont l'activité est essentiellement centrée autour du logiciel (pris dans son sens le plus large). C'est un travail de concertation et de réflexion qui est toujours en cours.

*Le LIGM participe au projet I-SITE de ville intelligente, mais cela ne concerne qu'une partie des équipes, dont certaines devraient mieux s'approprier cette opportunité.*

Les membres du LIGM sont assez largement impliqués dans l'I-SITE Future et les thèmes connexes. À titre d'illustrations, P. Gambette (MCF UGE, ADA) est co-PI du projet Cité des Dames 2019-2023 et a participé au projet UrbanNature 2020-2023. Thierry Grandpierre (MCF ESIEE, LRT) a été responsable du WP4 du projet I-Site URBANVISION. Eva Dokladalova (MCF ESIEE, A3SI) a été impliquée dans les projets TREMPIN I-SITE DiXiTe et UrbanRiskLab, elle a également été responsable de la partie Machine vision pour construction sites du projet DiXiTe. L. Najman (PR ESIEE, A3SI) et Giovanni Chierchia (MCF ESIEE, A3SI) ont encadré une thèse financée par l'IFP Energies nouvelles (IFPEN) sur des problèmes de mobilités urbaines. Enfin, F.-X. Vialard (PR UGE, MMSID) est responsable du projet SFRI (structuration de la formation par la recherche dans les initiatives d'excellence), mené dans le cadre de l'I-SITE. L'action du programme SFRI vise à l'exploitation d'un budget d'environ 9 millions d'euros pour développer la formation à et par la recherche, d'augmenter le nombre de candidats aux allocations doctorales et de favoriser la mobilité entrante et sortante des étudiants.

*L'unité doit continuer à veiller à ce que le peu d'activités contractuelles dans les thématiques fondamentales ne desserve pas ses équipes afin qu'elles poursuivent leurs activités dans de bonnes conditions.*

La direction du LIGM est particulièrement vigilante sur ce point. Il s'agit en effet que tous les enseignants chercheurs et chercheurs du laboratoire puissent travailler dans les meilleures conditions possibles, quel que soit leur thème de recherche. Pour tous les enseignants chercheurs et chercheurs du laboratoire, la règle explicite et acceptée est d'utiliser en priorité les financements sur projets. En cas d'absence de projet adossé à la recherche (c'est parfois le cas pour les recherches les plus fondamentales mais pas uniquement), le laboratoire finance les activités sur ses ressources propres. C'est un mode de fonctionnement basé sur la bonne entente et la responsabilité de chacun dont nous sommes pleinement satisfaits.

*L'incitation par l'unité à soutenir une HDR pour les Maîtres de Conférences devrait être améliorée.*

Inciter les maîtres de conférences à soutenir leur Habilitation à Diriger des Recherches (HDR) est une préoccupation majeure de la direction du laboratoire. En effet, de nombreux enseignants chercheurs sont épuisés par les tâches et les responsabilités administratives, et les retards de soutenance d'HDR s'accumulent. La direction du laboratoire a retenu deux axes pour répondre à ce défi : un axe collectif et un axe personnalisé. Pour l'axe collectif, ce point est régulièrement discuté avec tous les responsables d'équipe et avec le conseil de laboratoire pour encourager les candidats et identifier les collègues prioritaires pour une demande de délégation CNRS. Une approche personnalisée auprès des collègues permet également de mieux comprendre les motivations de chaque maître de conférences et de mettre en avant les avantages spécifiques que l'HDR peut apporter (que ce

soit pour appuyer la progressions de carrière ou pour mettre en avant les opportunités d'encadrement doctoral) ou pour proposer un mentorat. C'est dans tous les cas un processus long.

*Le laboratoire devrait mieux exploiter son comité des thèses afin d'homogénéiser les pratiques et plus impliquer les doctorants dans la vie de l'unité.*

Le laboratoire a créé une *commission de suivi des thèses*, il est acuellement dirigé par Marie-Pierre Béal (PR UGE, BAAM). Cette commission est chargée de mettre en place des comités de suivi individuels pour tous les doctorants, comités comprenant notamment un membre extérieur à l'établissement et membre appartenant à une autre équipe du laboratoire. Ce dispositif permet d'une part de vérifier que le doctorat se déroule correctement (il s'agit d'identifier au plus tôt les potentiels problèmes) et d'autre part de suggérer des pistes d'amélioration (mobilités doctorales par exemple). La participation d'un membre du laboratoire extérieur à l'équipe d'accueil du doctorant permet d'apporter un regard externe et non technique.

## 1-6.2 Recommandations concernant l'organisation et la vie de l'unité

*Le laboratoire doit réfléchir à une structuration tendant vers un meilleur équilibre des équipes et évitant un cloisonnement entre les axes de celles-ci, comme c'est le cas dans l'équipe A3SI qui comporte deux axes distincts amenés à constituer deux équipes à part entière.*

*Les cinq équipes du laboratoire sont de tailles très diverses. L'équipe A3SI, nombreuse, est constituée de deux pôles relativement indépendants. Le comité pense qu'une restructuration en deux équipes serait cohérente avec les thématiques abordées et rééquilibrerait la structure du laboratoire. L'équipe MOA est également de grande taille par rapport aux autres. Une réflexion serait cependant à mener afin d'aboutir à un équilibre entre les équipes.*

Les équipes du laboratoire sont de tailles très diverses. Ce point a bien sûr été observé dans le précédent rapport d'évaluation et deux axes ont été proposés pour rééquilibrer la structure du laboratoire : scinder les équipes *Modèles et Algorithmes* (MoA) et *Algorithmes, architectures, analyse et synthèse d'images* (A3SI).

**Scission de l'équipe MOA.** L'équipe MoA - une équipe historique du laboratoire - comptait plus de 35 enseignants chercheurs et C. En 2021, elle a été scindée en deux nouvelles équipes : l'équipe *Algorithmique discrète et applications* (ADA) et l'équipe *Base de données, automate, analyse d'algorithmes et modèles* (BAAM) de tailles plus raisonnables, conformément aux recommandations du précédent rapport d'évaluation du laboratoire. C'est le fruit d'un véritable et long travail de concertation au sein du laboratoire afin de garantir un équilibre des forces et la cohérence des thèmes de recherche au sein des deux nouvelles équipes.

L'équipe **ADA** est organisée selon trois axes principaux de recherche :

- (i) l'algorithmique des structures combinatoires et algorithmique pour la bioinformatique,
- (ii) la géométrie algorithmique et combinatoire,
- (iii) la linguistique pour le traitement des langues.

L'équipe **BAAM** est organisée selon deux axes principaux de recherche :

- (i) l'analyse d'algorithmes,
- (ii) les méthodes formelles.

Au delà de l'affichage, cette restructuration est considérée par tous les collègues comme un succès et n'a en rien ralenti les collaborations entre les collègues.

**Maintien du périmètre de l'équipe A3SI.** L'équipe A3SI est actuellement composée de 23 enseignants-chercheurs et chercheurs : 3 UGE ex-UPEM, 8 UGE ex-ESIEE et 8 ENPC. Cette équipe est donc majoritairement constituée d'enseignants-chercheurs UGE ex-ESIEE et de CR ENPC ; sur les trois collègues UGE ex-UPEM de l'équipe A3SI, l'un est le vice-président enseignement UGE et un second bénéficie de la reconnaissance de la qualité de travailleur handicapé (RQTH) qui le maintient malheureusement assez souvent hors du laboratoire. La répartition des thèmes de recherche est constituée de deux pôles relativement indépendants et une restructuration en deux équipes pourrait sembler cohérente. Néanmoins, cette restructuration n'a pas été jugée pertinente par la direction du laboratoire. En effet, la scission de l'équipe A3SI selon les deux pôles conduirait à la création de deux équipes organisées par tutelles (UGE ex-ESIEE et ENPC) et par bâtiment (bâtiment ESIEE et bâtiment Coriolis). Plus impactant, cette scission de l'équipe A3SI conduirait *de facto* à la création d'une équipe composée exclusivement d'enseignants-chercheurs (UGE ex-UPEM et UGE ex-ESIEE)

et une autre composée exclusivement de chercheurs à temps plein (ENPC). Une telle réorganisation ne nous a pas semblé opportune pour la cohérence et le maintien des équilibres au sein du laboratoire.

*Une cartographie des logiciels permettrait d'avoir une vision plus claire et de fixer des axes prioritaires. Un recrutement d'ingénieurs permanents pour ces axes remédierait aux risques de pertes de savoir dans les développements informatiques.*

Le LIGM a récemment mis en place un groupe de réflexion sur la pérennisation et la cartographie de ses logiciels et plus généralement sur la place du logiciel au sein du laboratoire via la création à moyen terme d'une équipe de soutien à la recherche. Ce projet est long et complexe. Il s'agit en effet de concevoir *ex nihilo* une structure de soutien pour le développement et la pérennisation (il convient en particulier de définir précisément comment fonctionnera une telle équipe avant d'atteindre une certaine masse critique) mais également de mieux valoriser le travail des enseignants-chercheurs et chercheurs du laboratoire dont l'activité est centrée, ne serait-ce que partiellement, autour du logiciel pris dans son sens le plus large. C'est un travail de concertation et de réflexion toujours en cours qu'il convient de mener en concertation avec les différentes tutelles du laboratoire.

### 1-6.3 Recommandations concernant les perspectives scientifiques à cinq ans et la faisabilité du projet

*Les perspectives scientifiques s'inscrivent dans la continuation des excellents travaux. Toutefois, le laboratoire doit anticiper les départs qui risqueraient de fragiliser ses équipes.*

Onze collègues du LIGM ont plus de 60 ans : 2 MCF, 5 PR UGE, 3 DR CNRS et 1 DR ENPC. Le laboratoire doit donc, dans la mesure de ses moyens d'action, anticiper les départs qui risqueraient de fragiliser des équipes. Ajoutons que plusieurs membres du laboratoire ont des responsabilités très lourdes (présidence et vice-présidence enseignement) et que deux professeurs sont en mobilité longue.

Combiné à la mise en disponibilité de Samuele Giraud en 2022, le prochain départ à la retraite de J.-Y. Thibon (PR UGE, responsable de l'équipe *Combinatoire algébrique et calcul symbolique*) a été identifié comme étant le risque le plus important pendant le prochain quinquennat, en particulier au regard des effectifs de cette équipe et de la mise en disponibilité de l'un de ses PU depuis plus de 10 ans. La direction du laboratoire a obtenu de l'UGE la création d'un poste PR en 2022 et V. Bonzom a été recruté sur ce support en septembre 2023.

D. Caucal (DR CNRS, BAAM) partira très prochainement à la retraite. O. Curé a été promu PR au sein de cette même équipe en 2022 par promotion interne dite de « *repyramidage* » et A. Carayol (CR CNRS) a été promu PU en 2020, toujours dans l'équipe BAAM.

## 2- INTRODUCTION DU PORTFOLIO

Ce portfolio présente de manière synthétique quelques productions exemplaires du LIGM et les grandes fonctions du laboratoire. Les présentations plus détaillées apparaissent dans 3-2.1.6 (A3SI), 3-2.2.10 (ADA), 3-2.3.6 (BAAM), 3-2.4 (COMBI), 3-2.5.8 (LRT) et 3-2.6.6 (MMSID).

### 2-1 Algorithmes, architectures, analyse et synthèse d'images (A3SI)

Les sept éléments suivants constituent un échantillon représentatif des travaux de l'équipe A3SI et forment son portfolio.

- Le projet "Explorer" vise à automatiser la capture de données vidéo dans des environnements ouverts pour créer et maintenir des jumeaux numériques. Dirigé par V. Lepetit, il s'attaque au défi de reconstruire en 3D des scènes complexes, comme des villes ou des chantiers, en capturant l'identité et le mouvement des objets. En s'inspirant de l'IA pour l'exploration d'arbres, le projet fusionne perception et planification pour une résolution optimale. Un simulateur de scènes complexes sera développé pour évaluer les progrès et sera partagé avec la communauté scientifique.
- Le projet ERC Starting Grant "DISCOVER", dirigé par M. Aubry, vise à développer des approches pour aider les experts à identifier et analyser des motifs visuels sans annotation préalable. L'idée majeure repose sur la création de structures visuelles interprétables, qui intègrent des connaissances antérieures et les retours d'experts. Deux approches seront explorées : l'analyse des correspondances et l'apprentissage de modèles d'images interprétables. Ces structures visuelles seront développées dans les domaines des documents historiques et des images de la Terre, permettant l'identification et la modélisation de motifs

complexes tels que les changements temporels dans les images satellites. Les experts joueront toujours un rôle crucial dans la sélection et l'analyse des structures visuelles, nécessitant une collaboration étroite pour concevoir des algorithmes adaptés et des interfaces utilisateur efficaces.

- Le projet CorVis, mené par G. Varol en collaboration avec l'université d'Oxford et financé par l'ANR JCJC, développe des techniques de traduction automatique de la langue des signes vers du texte, en utilisant des vidéos. En partenariat avec la BBC, il utilise des vidéos en langue des signes anglaise pour entraîner l'algorithme. Les applications incluent l'amélioration de la communication entre sourds et entendants et l'accès à l'apprentissage de la langue des signes, ainsi que la création d'interfaces pour les personnes sourdes pour interagir avec des outils activés par la parole.
- Depuis 2014, un projet mené par H. Talbot et L. Najman, en collaboration avec HeartFlow, travaille sur la construction d'un modèle de la perfusion cardiaque personnalisé pour chaque patient. Utilisant le test cardiaque non invasif FFRCT, ce projet vise à améliorer les plans de traitement en offrant une visualisation des artères coronaires. Le défi actuel est d'étendre ce modèle pour simuler la perfusion du myocarde, spécifique à chaque patient. Pour cela, l'équipe cherche à combler le fossé entre le flux dans les artères mesuré par FFRCT et la microcirculation du myocarde, invisible à l'imagerie. En 2021, un modèle simulant ce flux sanguin a été publié pour la première fois, représentant une avancée majeure, bien que des défis subsistent pour son application clinique. L'équipe pluridisciplinaire et internationale comprend des numériciens, des médecins et des industriels, notamment Irene Vignon-Clementel de l'INRIA Saclay.
- L'équipe A3SI développe des outils de calculs, y compris des codes open-source sur GitHub, et des logiciels comme Higma et Garamon. Higma est une bibliothèque C++/Python pour l'analyse efficace des graphes peu denses, tandis que Garamon est un générateur de bibliothèques C++ pour l'algèbre géométrique en dimensions basses et élevées.
- Les deepfakes, apparus en 2017, sont des techniques d'apprentissage profond permettant de modifier le visage d'une personne dans une vidéo. Ils sont utilisés dans divers domaines tels que le cinéma, les communications et la sécurité, mais représentent également une menace pour l'usurpation d'identité et la diffusion de contenus falsifiés. En 2018, nous avons été les premiers à proposer une méthode de détection de deepfakes, nommée MesoNet, qui se concentre sur un niveau intermédiaire de l'image. Cette approche, basée sur l'apprentissage profond, a été pionnière dans le domaine de la forensique numérique. Notre expertise a été reconnue tant sur le plan scientifique que dans les médias.
- Plusieurs membres de A3SI, et notamment G. Chierchia, J. Cousty, Y. Kenmochi, L. Najman et B. Perret, ont une forte expertise sur les approches hiérarchiques. Les hiérarchies sont des représentations multi-échelles utilisées en analyse d'image pour segmenter les scènes. Le travail comprend la caractérisation, le dénombrement et la transformation des hiérarchies, ainsi que le développement d'algorithmes efficaces pour la construction de hiérarchies compatibles avec le calcul parallèle et distribué. Sont également explorées l'intégration de hiérarchies dans les réseaux de neurones pour diverses applications telles que la segmentation d'images et la détection d'objets.

## 2-2 Algorithmique discrète et applications (ADA)

Les cinq éléments suivants constituent un échantillon représentatif des travaux de l'équipe ADA et forment son portfolio.

- L'article "Almost Tight Lower Bounds for Hard Cutting Problems in Embedded Graphs" [142] distingué par un *Best Paper Award* à SoCG, conférence phare en géométrie algorithmique, et publié dans le *Journal of the ACM*,
- Ensemble des travaux sur la reconstruction phylogénétique publié dans une série d'articles dans des revues et conférences de bioinformatique et d'algorithmique [227, 459, 453, 105, 111, 418, 52, 95].
- Articles de survol présentant un état de l'art dans trois domaines d'algorithmique : topologie algorithmique sur les surfaces [144], évolution des algorithmes de recherche de séquences biologiques [285], et algorithmes paramétrisés en bioinformatique [110].
- Livre *125 Problems in Text Algorithms* paru chez Cambridge University Press, contenant une collection représentative de problèmes de stringologie.
- Projet *Cité des dames, créatrices dans la cité* développé dans le cadre de l'I-Site FUTURE et faisant mieux apparaître la contribution des femmes à la construction de la culture commune ; le projet a fait objet d'un article dans le Télérama.

## 2-3 Base de données, automate, analyse d'algorithmes et modèles (BAAM)

Les cinq éléments suivants constituent un échantillon représentatif des travaux de l'équipe ADA et forment son portfolio.

- Des collaborations avec ENGIE, sur l'étude des graphes de données de type graphe.
- Expertise dans la formalisation des langages de requêtes réels, valorisée par des publications scientifiques et des partenariats avec les entreprises Neo4j et RelationalAi.
- La rédaction de plusieurs livres de référence sur les systèmes dynamiques symboliques.
- Des travaux sur les liens entre les classes de langages de la hiérarchie de Chomsky-Schützenberger non-ambiguës et les classes de séries génératrices développées en combinatoire.
- L'analyse de la façon dont les algorithmes sont implantés dans les langages de programmation, notamment de l'algorithme TimSort utilisé en Python et en Java.
- L'étude de bijection combinatoire, notamment avec des cartes combinatoires, qui sont au cœur de nombreux projets ANR et PHC.

## 2-4 Combinatoire algébrique et calcul symbolique (COMBI)

Comme la recherche de l'équipe est d'une nature exploratoire, l'essentiel de sa production scientifique prend la forme d'articles. Les quatre articles suivants sont représentatifs de notre activité. Les cinq éléments suivants constituent un échantillon représentatif des travaux de l'équipe COMBI et forment son portfolio.

- Philippe Biane. Combinatorics of the Quantum Symmetric Simple Exclusion Process, associahedra and free cumulants. *Annales de l'Institut Henri Poincaré (D) Combinatorics, Physics and their Interactions*, 2022.
- Loïc Foissy, Frédéric Menous, Jean-Christophe Novelli, and Jean-Yves Thibon. Quadri-algebras, preLie algebras, and the Catalan family of Lie idempotents. *Algebraic Combinatorics*, pages 629–666, 2022. 42 pages.
- Samuele Giraud. Duality of graded graphs through operads. *Annals of Combinatorics*, 2021.
- Nicolas Borie and Justine Falque. Product-Coproduct Prographs and Triangulations of the Sphere. In *FPSAC 2022, Bangalore, India, July 2022*.

## 2-5 Logiciels, Réseaux et Temps-réel (LRT)

Cette section du portfolio résume les résultats des travaux de l'équipe LRT en termes de valorisation vers l'industrie, de développement de nouvelles plateformes de recherche, ainsi que les principaux logiciels développés dans le cadre de partenariats avec des entreprises, et ceux rendus disponibles pour la communauté scientifique.

En raison des thématiques spécifiques explorées par notre équipe et de nos efforts continus en matière de valorisation des travaux de recherche et de transfert vers l'industrie (Plusieurs projets de pré-maturation et de maturation ont été gérés au niveau de l'équipe), nous avons déposé quatre brevets, dont trois ont été acceptés et protégés en Europe. Ces brevets ont également bénéficié d'extensions PCT en Amérique du Nord (États-Unis) et même en Chine, témoignant ainsi de leur pertinence et de leur potentiel à l'échelle mondiale [380, 381, 382, 125].

En février 2021, dans le cadre de nos projets de maturation, une startup nommée uGetWin a été fondée en collaboration avec la SATT Erganeo. Cette startup exploite déjà certains des brevets que nous avons développés et acceptés, démontrant ainsi notre capacité à créer de la valeur ajoutée à partir de nos recherches [2].

En ce qui concerne les équipements de recherche et les plateformes dédiées à l'expérimentation et à l'évaluation de nos modèles, protocoles et algorithmes, l'équipe dispose de divers équipements spécialisés. Parmi ceux-ci, nous pouvons citer quelques exemples :

- Au niveau des devices IoT : i) Une flotte d'une dizaine de drones de type Crazyflie et Tello, équipés de dispositifs de synchronisation et de localisation. ii) De plus, des robots de type TurtleBot complètent cette plateforme pour assurer une synchronisation avec les drones et les objets IoT, principalement utilisée pour valider les algorithmes et les modèles de collecte et de transport de données et de navigation dans un environnement fermé.

- Au niveau du réseau d'accès (5G RAN) et du réseau de cœur (5G Core) : une plateforme 5G intégrant les technologies OpenAir, 5G SA (Standalone) et NSA (Non-Standalone), ainsi que la fonctionnalité de slicing, déployée dans le cadre des projets (Scorpion et 5G-insight).

## 2-6 Méthodes et Modèles pour le Signal, l'Image et les Données (MMSID)

L'essentiel de la production scientifique de l'équipe MMSID prend la forme d'articles de recherche. Les six articles suivants sont représentatifs de l'activité de l'équipe. Il seront présentés d'une manière plus détaillée dans le paragraphe 3-2.6.6 ci-dessous.

- Loubaton et Rosuel : Article consacré aux tests d'indépendance de séries temporelles multi variées en grande dimension. Les performances du test basé sur un critère de cohérence spectrale sont évaluées ;
- Hachem, Najim *et.al.* : Un article de synthèse sur les grandes matrices aléatoires en écologie théorique. La dynamique d'un grand système écologique est décrite par l'équation différentielle de Lotka-Volterra, équation au sein de laquelle les interactions entre les espèces sont modélisées par une matrice aléatoire ;
- Dumont, Lacombe et Vialard : Le problème de Gromov-Wasserstein, problème important dans le domaine du transport optimal, admet dans certaines situations une solution déterministe sous la forme d'une fonction de transport de Monge ;
- Séjourné, Vialard *et.al.* : La régularisation entropique est très employée dans le domaine du transport optimal mais elle « biaise » la solution du problème de transport. Dans cet article, nous construisons à partir du problème régularisé une divergence entre mesures de probabilité qui est nulle si et seulement si les deux mesures sont égales ;
- Hassani, Belmega *et.al.* : Les systèmes d'accès multiple non orthogonaux (NOMA) sont très étudiés dans le domaine des communications radio mobiles. Cet article est consacré à la détermination de la région des débits accessibles par un système NOMA et à la maximisation de l'efficacité énergétique de ces systèmes ;
- Chor, Zaidi *et.al.* : Cet article utilise la théorie de l'information pour évaluer les performances de l'algorithme du « Support Vector Machine », très populaire en apprentissage, dans le mode distribué. La théorie taux-distorsion est employée pour évaluer l'erreur de généralisation de cet algorithme.

## 3- AUTOÉVALUATION DU BILAN

### 3-1 Autoévaluation de l'unité

#### Domaine 1. Profil, ressources et organisation de l'unité

Référence 1. L'unité s'est assigné des objectifs scientifiques pertinents.

**Politique des tutelles.** Le LIGM relève de trois tutelles : l'Université Gustave Eiffel (UGE) et le CNRS comme tutelles principales et l'École des Ponts ParisTech (ENPC) comme tutelle secondaire. L'ESIEE, sans être une tutelle officielle puisque devenue UGE, reste un partenaire institutionnel très important pour le LIGM. Le laboratoire bénéficie d'un soutien fort et constant de ses tutelles.

Chaque année, la direction de la recherche de l'UGE et la direction de la recherche de l'ENPC organisent un dialogue de gestion (PAR) avec l'équipe de direction du laboratoire (en 2023, exceptionnellement, les deux dialogues de gestion ont fusionné). Tous les deux ans environ (la périodicité n'est pas fixée à l'avance), le CNRS organise également un dialogue de gestion (DOR) auquel toutes les tutelles sont conviées. Ce sont des rencontres particulièrement utiles et attendues par la direction du laboratoire. Il s'agit essentiellement d'échanger sur tous les sujets d'organisation, de ressources humaines et/ou de fonctionnement, tous les sujets sont librement abordés. Pour la direction du laboratoire, c'est en particulier l'occasion d'évoquer les problèmes spécifiques au laboratoire et d'évoquer ensemble les différentes pistes d'amélioration.

La direction de la recherche de l'UGE organise toutes les 6 semaines environ une réunion d'échange avec les directions de tous les laboratoires de l'université. L'ordre du jour est communiqué par le VP recherche

mais un moment d'échange libre est ouvert en fin de réunion. Depuis deux ans, ces réunions débutent par la présentation courte d'un laboratoire de l'université, ce qui permet de répondre plus rapidement au « *qui fait quoi ?* » au sein de la nouvelle université. Depuis la crise sanitaire, ces réunions sont malheureusement le plus souvent en visio-conférence.

La direction du laboratoire échange très régulièrement avec le DAS CNRS en charge du suivi du LIGM. Ces échanges sont toujours informels mais permettent tous les deux mois environ de dresser un état des lieux assez précis des actualités du laboratoire (projets, recrutements, problèmes RH, évolutions sur site, ...).

Plus généralement et concernant ses relations avec ses tutelles, la direction du laboratoire est satisfaite des échanges, de la disponibilité et de la réactivité des tutelles dont dépend le LIGM. Des points de friction ou problèmes émergent régulièrement, mais s'aplanissent en général sur la durée.

**Politique scientifique de l'unité.** Les recherches menées au LIGM couvrent un spectre assez large, du réseau à la combinatoire algébrique, en passant par l'apprentissage, l'algorithmique, la géométrie, le transport optimal et les bases de données. Elles allient contributions théoriques et applications avec une ouverture interdisciplinaire. C'est un point essentiel de la politique scientifique de l'unité. Le LIGM appuie sa politique scientifique sur les recherches menées par les enseignants-chercheurs et chercheurs du laboratoire avec le souci d'offrir les meilleures conditions de travail aux chercheurs, d'accroître l'attractivité du laboratoire et sa visibilité sur la scène nationale et internationale.

Le laboratoire est structuré en six équipes de recherche. Cette structuration en équipes est importante pour l'attribution des postes et la visibilité. Elle est principalement thématique. Elle est aussi très souple et les interfaces sont très poreuses avec de nombreux échanges et collaborations. En particulier la répartition dans les bureaux est transverse aux équipes. L'organisation de plusieurs séminaires ou groupes de travail réguliers est en général portée par une équipe spécifique mais largement ouverte aux autres membres du laboratoire.

La direction de l'unité considère que la politique de recrutement est l'un de ses leviers principaux de politique scientifique. À ce titre, la direction est intransigeante et très exigeante sur la qualité des recrutements. Typiquement, la direction du LIGM préfère qu'un poste ne soit pas pourvu si le niveau des candidatures est estimé insuffisant. Une telle intransigeance peut bien sûr se heurter à d'autres logiques ou intérêts ; cependant, quand le cas s'est produit (poste non pourvu), la présidence de l'université a pleinement soutenu le laboratoire en republiant le poste non pourvu ultérieurement. Sur la période d'évaluation 2018–2023, la direction du laboratoire comptabilise 30 entrées ou changements de corps dans le périmètre de l'unité dont seulement 4 concernent des promotions « *internes* » : une promotion PR pour un CR CNRS LIGM, une promotion PR interne dite de « *repyramidage* », le recrutement d'un MCF ESIEE en 2023 dont la thèse (2014–2017) a été co-dirigée par un CR CNRS du LIGM, et une promotion PR pour un MCF LIGM avec d'importantes responsabilités administratives et pédagogiques sur le site distant de l'IUT de Meaux (77).

Les profils des postes sont toujours discutés en conseil de laboratoire. Concernant les postes mis au concours par l'UGE, tous les profils sont discutés en amont avec la directrice de l'Institut d'électronique et d'informatique Gaspard-Monge<sup>5</sup> (IGM), structure avec laquelle le laboratoire entretient d'excellentes relations. Concernant les postes mis au concours par l'ESIEE, tous les profils sont discutés en amont avec la direction de la recherche de l'ESIEE. Si les échanges sur ce point ont pu autrefois être flottants, la direction du LIGM est consciente des fortes pressions qui peuvent s'exercer sur les postes ESIEE (demandes précises en enseignements, etc.) mais demeure satisfaite du protocole de recrutement mis en place en 2020 avec la direction scientifique de l'ESIEE. La direction du laboratoire n'est pas consultée pour les profils des postes ENPC.

La direction du LIGM informe tous les enseignant-chercheurs et chercheurs du laboratoire des appels à projet. De même, elle oriente les porteurs de projets vers la source de financement la plus à même de correspondre aux besoins exprimés. Des sollicitations ciblées vers certains collègues du laboratoire sont éventuellement faites si la teneur d'un appel à projet s'y prête. Plus généralement, la direction du LIGM a un rôle incitatif, par sollicitations directes et/ou échanges ciblés, pour inciter les collègues à se présenter aux appels à projets compétitifs et aux concours ERC. Sans pouvoir être exhaustif, les membres du LIGM sont principalement impliqués dans :

- les appels à projets de l'ANR ;
- les appels à projets internationaux de type ERC ;
- les appels à projets de l'UGE (AIR) ;
- les appels à projets du CNRS Sciences Informatiques et des différents GDR ;
- les appels à projets du LabEx Bézout ;

5. L'Institut d'électronique et d'informatique Gaspard-Monge (IGM) est une composante de l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée (UPEM) devenue Université Gustave-Eiffel en janvier 2020. La mission de l'IGM est de former les étudiants de niveau licence et master dans les domaines de l'informatique, de l'électronique et des télécommunications, de la géomatique. L'IGM est associé à deux laboratoires de recherche en électronique l'ESYCOM et en informatique le LIGM.

Établissement	Dotations récurrentes globales					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
FEI CNRS	65 k€	75 k€	68 k€	69 k€	82 k€	75 k€
UGE Fonctionnement	124 k€	107 k€	130 k€	130 k€	136 k€	160 k€
ESIEE Fonctionnement			11 k€	11 k€	19 k€	24 k€
UGE Investissement	30 k€	28 k€	26 k€	27 k€	30 k€	30 k€
ENPC						
	219 k€	210 k€	235 k€	237 k€	267 k€	265 k€

Table 1 – Dotations récurrentes (en k€) pour les années 2018 à 2023.

- les appels à projets de l'I-site Future et
- les Partenariats Hubert Curien (PHC).

La direction du laboratoire est tenue informée de tous les dépôts.

Sur les appels de type ERC, les membres du laboratoire peuvent, malgré les fortes incitations de la direction du LIGM, hésiter à se lancer, par excès d'humilité, peur d'un processus trop chronophage, etc. À ce titre, les tutelles, en particulier le CNRS, peuvent jouer un rôle en soutenant les éléments les plus brillants du laboratoire : pour de tels appels à projet, la visibilité individuelle est très importante.

L'ED MSTIC attribue les allocations doctorales en juin. Les dossiers des candidats encadrés par des membres du laboratoire sont au préalable discutés et classés en conseil de laboratoire, en général vers la fin mai. Le niveau des candidats et une répartition équilibrée sur le laboratoire avec effet sont les éléments fondamentaux des décisions du conseil de laboratoire. La participation de jeunes chercheurs est également très fortement soutenue par la direction du laboratoire (c'est un principe connu et accepté par tous, et l'implication d'un jeune chercheur tend à devenir la norme). De plus, la direction du laboratoire est particulièrement attentive à la formation des doctorants. Le LIGM finance très régulièrement des missions et des participations à des écoles thématiques pour les doctorants. De plus, le laboratoire incite fortement les doctorants à bénéficier de financements pour des mobilités, pour des thèses en co-tutelle ou non.

Le LabEx Bézout et la Fédération de Recherche associée sont des instruments complémentaires et importants de politique scientifique de l'unité, en particulier par la contribution financière supplémentaire qu'ils permettent. Par ailleurs, ils ont permis de nouer de nombreuses collaborations avec le CERMICS (ENPC) et LAMA (UMR 8050), ont favorisé l'interdisciplinarité et ont permis l'émergence de nouveaux thèmes de recherche aux interfaces.

**Référence 2.** L'unité dispose de ressources adaptées à son profil d'activités et à son environnement de recherche et les mobilise.

**Gestion financière.** Les dotations récurrentes des tutelles du laboratoire sont indiquées dans la Table 1. Les montants des dotations UGE et ESIEE sont communiqués à l'automne. Le montant de la dotation CNRS est communiqué en début d'année et répond aux demandes de la direction du laboratoire dans l'outil DIALOG. Le montant de la dotation CNRS inclut des soutiens spécifiques.

La gestion des moyens financiers récurrents attribués au laboratoire par ses tutelles est centralisée au niveau de la direction de l'unité, à l'exception de la dotation de l'École des Ponts ParisTech qui est versée directement à ses chercheurs (depuis la fusion des établissements et la création de l'Université Gustave Eiffel en 2020, la dotation de l'ESIEE est versée directement au laboratoire). La plupart des décisions sont prises directement par le DU ou le DUA sur simple demande motivée des personnels du laboratoire (toujours en accord avec le responsable de l'équipe de rattachement et avec le directeur de thèse dans le cas d'un doctorant). Le LIGM ne prélève pas de pourcentage sur les projets. Pour tous les enseignants-chercheurs et chercheurs du laboratoire, la règle explicite et acceptée est d'utiliser en priorité les financements sur projets. Le nombre de projets et le soutien financier fort des tutelles font qu'il n'y a aucune difficulté avec ce fonctionnement direct ; toutes les demandes de mission pour présenter un résultat de recherche ainsi que les nombreuses missions non liées à des publications ont été financées sur projet ou directement par le laboratoire sur la période d'évaluation. Les commandes de matériel informatique (équipements des nouveaux enseignants chercheurs, chercheurs et

Établissement	Dotation établissement sur appels à projets					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023
CNRS Appel unique	6 k€	28 k€	13 k€	16 k€	19 k€	10 k€
CNRS Financements spécifiques	12 k€	12 k€	25 k€	8 k€	10 k€	
IUF UPEM	35 k€					
BQR UPEM	2 k€	5 k€	4 k€	8 k€		
SBQR UPEM	10 k€	8 k€				
Dotation VPR IG			5 k€	15 k€		
AIR UGE					10 k€	17 k€
LPR UGE						25 k€
VPI UGE (OII)						21 k€
	65 k€	53 k€	47 k€	47 k€	39 k€	73 k€

Table 2 – Dotations des établissements (en k€) pour les années 2018 à 2023 sur appels à projets.

doctorants, renouvellements et demandes spécifiques) sont habituellement faites à la fin du printemps et au début de l'automne (sauf urgence). Les achats exceptionnels (en particulier les serveurs) sont discutés en CL LIGM en septembre.

La direction du laboratoire suscite et accompagne les propositions des membres du laboratoire pour les *appels à projets* (AAP) récurrents. En particulier, pour les *Actions Incitatives de Recherche* (AIR) de l'UGE et pour les différents appels du CNRS. En particulier, les nouveaux entrants sont pris en charge lors de ces appels pour leur permettre d'acquies rapidement une autonomie financière, quand bien même soit-elle relative. Les dotations des établissements pour les années 2018 à 2023 sur appels à projets sont indiquées sur la Table 2. Ces financements proviennent à la fois du CNRS et de l'UGE. Les réponses à l'*Appel unique* CNRS sont discutées et classées en conseil de laboratoire.

Depuis 2023, le laboratoire lance au printemps un appel à projet pour financer l'accueil de chercheurs invités sur des périodes relativement courtes, typiquement 1 à 2 semaines. Le but est de favoriser les collaborations pour lesquelles les différents appels à financement locaux ne sont pas totalement adaptés (la durée minimale est en générale fixée à 1 mois). Le LIGM a ainsi financé une dizaine de projets en 2023 pour un montant total d'environ 12 k€.

L'ED MSTIC propose des soutiens pour les doctorants de son périmètre. Ces soutiens sont de natures différentes : des bourses de soutien aux doctorants et doctorantes en cotutelle et bourses d'aide à la mobilité internationale. Sur ces deux financements, seuls les dépenses liées à un aller-retour entre la France et le pays d'accueil et à l'hébergement dans le pays d'accueil sont éligibles. Pour les mobilités internationales des étudiants en 4<sup>e</sup> année, l'état d'avancement de la thèse est obligatoirement demandé. La direction oriente systématiquement les doctorants vers les bourses de l'ED et complète ensuite le montage financier.

Le laboratoire finance des gratifications de stage M2 et M1 (le laboratoire bénéficie en moyenne d'un financement UGE pour 24 mois pour les étudiants en M2). Exceptionnellement le laboratoire finance des gratifications de stage L3 pour des étudiants de très bon niveau avec une appétence avérée pour la recherche. Les membres du laboratoire sont fortement encouragés par la direction du LIGM à démarrer de nouvelles collaborations inter ou intra-équipes en co-encadrant un stagiaire, c'est également un levier très efficace pour intégrer plus rapidement les jeunes chercheurs.

**Matériel informatique et de visioconférence** Durant la période d'évaluation, l'unité a ainsi beaucoup investi en matériel (ordinateurs portables, casques, tablettes graphiques, ...) pour permettre à l'ensemble de son personnel (y compris les non permanents et les stagiaires) de travailler dans les meilleures conditions possibles à distance quand cela a été nécessaire et de télétravailler quand cela est souhaité et possible.

Le LIGM a équipé sa principale salle de réunion du bâtiment Copernic d'un équipement performant de visioconférence (grand écran et micro) suite à l'intensification des usages mixtes (participation en présentiel et en distanciel).

**Locaux** Le laboratoire est réparti dans trois bâtiments distincts appartenant à l'UGE (Copernic et Bâtiment ESIEE) et à l'ENPC (Coriolis). Ces bâtiments sont proches les uns des autres et sont tous situés sur le campus Descartes Marne-la-Vallée de l'UGE. En terme de répartition, environ les 3/4 des membres du laboratoire sont localisés dans le bâtiment Copernic et 1/4 dans le bâtiment de l'ESIEE ou dans le bâtiment Coriolis.

Dans le bâtiment Copernic, les locaux du LIGM sont situés au 4<sup>e</sup> étage, étage que nous partageons avec nos collègues du LAMA et avec le service informatique de l'UGE. Les doctorants sont regroupés dans 7 bureaux. L'accueil des chercheurs invités ne peut se faire qu'au fil de l'eau en fonction des absences de tel ou tel collègue. En 2022, un comité de suivi composé de C. Palescandolo, A. de Mesmay et S. Vialette a été créé pour gérer et anticiper l'occupation des locaux dans le bâtiment Copernic (la direction du laboratoire n'a pas la main sur la gestion et l'occupation des locaux dans les bâtiments de l'ESIEE et Coriolis).

**Infrastructures scientifiques** La direction du laboratoire oriente tous les chercheurs du LIGM vers le super-calculateur Jean Zay installé à l'IDRIS, centre national de calcul du CNRS. Sur la période d'évaluation, 107 dossiers pour des demandes d'heures de calcul ont été déposés par le laboratoire.

Pour le fonctionnement du laboratoire et les expériences de recherche, la direction du LIGM a investi dans l'achat de plusieurs serveurs ces six dernières années :

- *Serveur de calculs*. Quadro RTX 4000, Intel(R) Xeon(R) Gold 5218 CPU @ 2.30GHz, 64 cœurs, RAM 372 Go, Stockage 15 TO, Bâtiment Copernic, Fin de garantie 2025 ;
- *Serveur Web + Compte + Mail + Samba*. Matrox G200eW3, Intel(R) Xeon(R) Gold 5215L CPU @ 2.50GHz, 64 cœurs, RAM 128 Go, Stockage 40 TO, Bâtiment Copernic, Fin de garantie 2028 ;
- *Serveur de fichiers NFS*. Matrox G200eW3, Intel(R) Xeon(R) Gold 5215L CPU @ 2.50GHz, 64 cœurs, RAM 128 Go, Stockage 40 TO, Bâtiment Copernic, Fin de garantie 2028 ;
- *Jupyterlab*. Matrox G200eW3, Intel(R) Xeon(R) Gold 5217 CPU @ 3.00GHz, 32 cœurs, RAM 629 Go, Stockage 35 TO, Bâtiment Copernic, Fin de garantie 2028 ;
- *Serveur de calcul GPU*. Intel(R) Xeon(R) Gold 6240R CPU @ 2.40GHz, RTX A6000, 96 cœurs, RAM 754 Go, Stockage 15 TO, Bâtiment Copernic, Fin de garantie 2029 ;
- *Serveur de sauvegardes*, Intel(R) Xeon(R) Silver 4310 CPU @ 2.10GHz, MGA G200eH3, 48 cœurs, RAM 256 Go, Stockage 50 TO, Bâtiment Copernic, Fin de garantie 2028 ;
- *Serveur de calculs*. AMD 7542 @ 2.9 GHz, 64 cœurs, RAM 128 Go, Stockage 1.5 TO, Bâtiment ESIEE, Fin de garantie 2025 ;
- *Serveur de calculs*. AMD 7552 @ 2.20GHz, 96 cœurs, RAM 128 Go, Stockage 480 TO, Bâtiment ESIEE, Fin de garantie 2028.

Des serveurs de calculs GPU sont également disponibles dans le bâtiment Coriolis :

- DL380 Gen10 plus, 2 × Intel Xeon-Silver 4310 2.1GHz 12-core ;
- 9 serveurs GPU 2 × NVIDIA RTX A6000.

Référence 3. Les pratiques de l'unité sont conformes aux règles et aux directives définies par ses tutelles en matière de gestion des ressources humaines, de sécurité, d'environnement, de protocoles éthiques et de protection des données ainsi que du patrimoine scientifique.

**Politique de ressources humaines** L'accompagnement des carrières est faite par la direction du laboratoire et par les responsables des équipes. La direction du LIGM est très vigilante sur les opportunités qui se manifestent, sur les stagnations de carrière, sur les absences de prises de risques, sur les réorientations thématiques, ...et ceci de façon la plus individualisée possible. Ces discussions sont toujours faites en coordination avec les responsables des équipes de recherche du laboratoire. Comme les dotations sont gérées de façon centralisée, la direction du laboratoire est également très attentive à ce que des collègues ne se retrouvent pas bloqués financièrement. La direction du LIGM tient à souligner le rôle fondamental d'accompagnement et de conseil des rangs A du LIGM auprès des collègues.

La direction du laboratoire et la responsable administrative (RA) accompagnent au mieux les personnels administratifs et de soutien à la recherche en les accompagnant pour la rédaction des rapports annuels d'activité. La direction du LIGM se veut également très attentive aux évolutions des carrières des ITA et des BIATSS et participe à la préparation aux concours. C. Palescandolo a été promue IE CN en 2022, N. Rousseau a été promue TCS en 2023 et S. Giboz a également été promue TCS en 2023. T. Nakamura est accompagné par la direction du laboratoire lors de ses échanges avec le CNRS pour éventuellement rejoindre une unité SHS de linguistique.

**Protection du patrimoine scientifique et des systèmes informatiques** S. Vialette est le Chargé de la Sécurité des Systèmes d'Information (CSSI) du laboratoire. Il est le point d'entrée de l'unité pour tout les éléments relevant de la sécurité informatique, y compris les échanges avec les RSSI des différentes tutelles. Il participe également aux réunions du réseau des CSSI de la délégation Villejuif du CNRS.

La gestion, la maintenance, l'évolution et la sécurité des serveurs du laboratoire sont confiées au service informatique (DGDIN) de l'université. La politique du laboratoire est d'équiper tous les personnels permanents et non permanents du LIGM d'un ordinateur portable ; la plupart des collègues sont également équipés d'une station d'accueil et d'un écran de bureau. Les achats d'ordinateurs sont adossés à des extension de garantie. L'achat d'un serveur sécurisé pour les sauvegardes de tous les ordinateurs portables a été votée en conseil de laboratoire fin 2023, il sera prochainement mis en place. Tous les chercheurs du laboratoire ont accès au cloud de l'université.

**Plan de continuité d'activité** Il n'y a pas d'anticipation spécifique de situations d'urgence. Le plan de continuité d'activité du laboratoire repose sur la robustesse et la résilience du service informatique. L'équipement individuel (ordinateur portable, tablette graphique, écran supplémentaire, casque, ...) des membres permanents et non permanents du LIGM sur site ou à domicile participe du plan de continuité d'activité.

Lors de la crise sanitaire de la Covid-19, le laboratoire a dû réagir en urgence pour permettre aux enseignants chercheurs et chercheurs de maintenir leurs activités dans les meilleures conditions possibles. À ce titre, le laboratoire a équipé ses agents avec des tablettes graphiques (40) des et micro-casques. Le laboratoire a également financé des aménagements de postes de travail. L'équipe administrative a également été complètement équipée pour le télétravail (ordinateurs, imprimantes et mobilier de bureau). Durant les différentes fermetures du LIGM, la direction du LIGM a toujours assuré deux permanences hebdomadaires en visio-conférence (le mardi matin et le jeudi après-midi) ouvertes à tous (personnels administratifs, enseignants chercheurs, chercheurs et doctorants), nous étions toujours, pendant ces réunions, entre 10 et 15 à échanger pour maintenir le lien.

**Formations et prévention** Tous les personnels du laboratoire ont accès aux offres de formation proposées par les tutelles. Le responsable formation CNRS de l'unité est T. Nakamura. La Direction Générale Déléguée aux Ressources Humaines publie très régulièrement les offres de formation de l'UGE. La direction du laboratoire est avertie lorsqu'un membre du laboratoire s'inscrit à une formation. Le catalogue des formations est assez complet et se décline en plusieurs axes :

- accompagnement des parcours professionnels et préparation concours ;
- appui à l'enseignement ;
- conduite du changement, efficacité professionnelle et Management ;
- développement durable et responsabilité sociétale ;
- environnement professionnel et développement des compétences métiers ;
- formation en langues ;
- hygiène et sécurité et
- qualité de vie au travail.

S. Giboz et C. Palescandolo sont Sauveteur Secouriste du Travail (SST) et plusieurs collègues ont suivi la formation « *Gestes qui sauvent* » dispensée au sein de l'université. C. Palescandolo est l'assistante de prévention du LIGM. Elle est également agent d'évacuation pour le bâtiment Copernic.

**Parité-Égalité** L'UGE a adopté en 2021 un plan en faveur de l'égalité. L'université s'est engagée à former l'ensemble de ses personnels à l'égalité professionnelle et à la lutte contre les violence sexistes et sexuelles. Les personnels de direction ainsi que les encadrants de thèse ont été particulièrement ciblés.

Le laboratoire s'est doté d'une cellule « *Parité-Égalité* » dès la mise en place d'un réseau des référentes et référents parité-égalité au CNRS Sciences Informatiques en 2020. Cette cellule est animée par C. Athénosy (BAAM) depuis 2020, elle a été rejointe par V. Belmega (MMSID) en 2022. Nous détaillons ci-après trois actions menées au sein du laboratoire :

- Trois déjeuners « *Girl only* » ont été organisés (17 novembre 2023, 18 octobre 2022 et 28 juin 2022) et les retours ont été extrêmement positifs.
- Dans le cadre de l'appel unique CNRS, le laboratoire la cellule « *Parité-Égalité* » a organisé un séminaire de sensibilisation à l'égalité professionnelle entre les femmes et les hommes. Le LIGM fait appel à la société Adoc Métis, spécialisée dans le conseil en ressources humaines pour l'enseignement supérieur

et la recherche. Ce séminaire est venu se greffer naturellement à la « *journée au vert* » organisée par le laboratoire le 23 septembre 2021 au château de Ferrières-en-Brie. L'intervenante a abordé la question des stéréotypes de genre et a ouvert une discussion autour des carrières scientifiques des femmes, en particulier en informatique. L'oratrice a été très appréciée et a permis de soulever de manière interactive de nombreuses questions des membres du LIGM. Cette intervention a permis d'aborder ces thèmes pour la première fois au sein du laboratoire avec succès.

- Une matinée scientifique suivie d'une table ronde autour des questions de diversité-égalité-parité dans les laboratoires a été organisée le 5 juin 2023 (voir Fig.7).

C'est une structure très dynamique qui a tout le soutien et la confiance de la direction du laboratoire. En 2024, notre cellule « *Parité-Égalité* » ouvre une plateforme bienveillante de discussion autour des sujets qui nous tiennent à cœur : égalité-parité F/H, diversité, altérité, vie au laboratoire, difficultés rencontrées, ... ; elle a également obtenu un soutien du CNRS pour expérience « *Parité-Égalité* » théâtrale à la rentrée prochaine.

## Synthèse de l'autoévaluation

**Surcharge des enseignants-chercheurs** Les membres du LIGM sont très impliqués dans le pilotage de formations au sein de l'IGM et de l'ESIEE. La direction du laboratoire s'inquiète de la surcharge de travail des enseignants-chercheurs affectés au LIGM. Il y a beaucoup trop de responsabilités à assurer pour les maîtres de conférence et la direction a été de nombreuses reprises alertée par ses maîtres de conférences. Ce constat est le même pour les MCF UGE et pour les MCF ESIEE. Les raisons sont bien sûr multiples (et malheureusement bien souvent généralisées dans les universités) : montage des cours, gestion complète des vacataires, pilotage, participation à des comités, coordination de programmes académiques, ... La conscience professionnelle des MCF est évidente mais les signes d'épuisement sont forts et visibles, et les délais pour les soutenances d'HDR s'allongent considérablement.

Il est à noter que la quasi-totalité des chercheurs CNRS affectés au laboratoire enseignent dans les différentes formations sur site, ils sont même parfois responsables de cours. Si cette participation participe grandement à la cohésion du laboratoire, elle ne peut à elle seule apporter des solutions pérennes.

**Statut des enseignants-chercheurs de l'ESIEE** Depuis 2020 et la fusion des établissements, le statut des nouveaux enseignant-chercheurs de l'ESIEE est celui de maître ou maîtresse de conférences sur un poste permanent de droit public (CDI) avec un service d'enseignement de 192 HETD par an et une activité de recherche dans un laboratoire de l'Université Gustave Eiffel. Ce statut n'est pas complètement compatible avec les règles officielles pour la constitution des CoS des MCF ou PR du MESRI. Il faut également être vigilant pour la participation aux jurys d'HDR dont on fait partie. Le statut moins favorable des enseignants-chercheurs de l'ESIEE reste donc perfectible et est un frein au recrutement et à la fidélisation des enseignants-chercheurs.

**Locaux et infrastructures scientifiques** Avec l'augmentation de nos effectifs ces dernières années, la politique d'occupation des locaux est de plus en plus compliquée. Le laboratoire est réparti dans trois bâtiments distincts appartenant à l'UGE (Copernic et Bâtiment ESIEE) et à l'ENPC (Coriolis). Ces bâtiments sont proches les uns des autres et sont tous situés sur le campus Descartes Marne-la-Vallée de l'UGE. En terme de répartition, environ les 3/4 des membres du laboratoire sont localisés dans le bâtiment Copernic et 1/4 dans le bâtiment de l'ESIEE ou dans le bâtiment Coriolis. Dans les trois bâtiments, nous sommes arrivés à saturation. Les arrivées des nouveaux enseignants-chercheurs, des chercheurs, des doctorants et même des stagiaires sont désormais toujours des problèmes. Un comité de suivi (C. Palescandolo, A. de Mesmay et S. Vialette) a été créé pour gérer l'occupation des locaux dans le bâtiment Copernic mais il peine à trouver des solutions pérennes (les solutions sont trop souvent temporaires et relèvent plus du jeu de taquin que d'une politique globale suivie). À titre d'exemples, nous avons été obligé de solliciter l'aide de l'IGM pour accueillir les stagiaires du LIGM et le bureau initialement destiné à l'accueil des chercheurs invités est désormais utilisé pour les enseignants-chercheurs et chercheurs du laboratoire. De plus, le laboratoire n'a pas été en mesure de fournir un espace pour l'installation d'une plateforme de robots mobiles dans le cadre d'une ANR. Le laboratoire ne dispose tout simplement pas de solutions pérennes pour installer des démonstrateurs ou des plateformes expérimentales. La direction du laboratoire a alerté ses tutelles à plusieurs reprises et l'absence de perspectives à court ou moyen terme est un vrai frein pour la dynamique et l'attractivité du laboratoire.

## Domaine 2. Attractivité



**Inscription gratuite mais obligatoire**  
<https://forms.gle/KeRP4j5UKiY9T8XA>

*Venez nombreux et nombreuses !!!*

Organisatrices : Chloé Athenosy et E. Veronica Beimega  
 Co-référentes parité-égalité au LIGM

**Invité(e)s**

**Valérie Berthé** est Directrice de recherche CNRS à IRIF (Institut de recherche en informatique fondamentale, Univ. Paris Cité). Ses travaux relèvent de la combinatoire des mots, des systèmes dynamiques symboliques, et plus particulièrement des systèmes de numérations et des pavages. Elle est membre de la section 6 du comité national et a été membre du conseil scientifique du CNRS (2014-2018) et du conseil scientifique de la Ville de Paris (2011-2021). Elle a été chargée de mission au CNRS pour les relations entre l'informatique et les mathématiques de 2007 à 2010. De 2011 à 2015, elle a été directrice adjointe de la FSMIP (Fondation pour les sciences mathématiques de Paris). Elle a également été directrice des publications de la Société mathématique de France.

**Philippe Gambette** : Maître de conférences en informatique à l'Université Gustave Eiffel, Philippe Gambette consacre une partie de ses travaux de recherche en humanités numériques à développer des outils de traitement automatique de textes (lexémétrie, extraction d'informations, alignement, cartographie), en s'intéressant tout particulièrement à leur mise en œuvre sur des corpus d'écrits de fermes (Marceline Desbordes-Valmore, Marie Lemeru, Marguerite de Valois). Il est aussi co-référent égalité de la ComUE Paris-Est Sup.

**Corinne Palescandolo**, 51 ans, Ingénieure d'Etudes CNRS et responsable administrative du Laboratoire d'Informatique Gaspard Monge depuis 2012. Après avoir obtenu une licence de lettres et civilisations italiennes, j'ai travaillé quelques années dans le privé avant de rejoindre le CNRS par voie de concours en 2002. Je suis le bras droit du directeur du laboratoire LIGM, en termes administratifs. J'encadre l'équipe administrative du LIGM et je suis chargée du budget, du suivi des ressources humaines, et de l'administration générale du laboratoire. Je parle 3 langues étrangères (anglais, espagnol, italien), ce qui me est très utile dans le cadre de mes fonctions. Je suis passionnée de jardinage, de botanique, je brode et je chante, dès que l'occasion se présente.

**Zéphyr Salvy** : je suis docteur en combinatoire en deuxième année au sein du LIGM, Université Gustave Eiffel. Dans le cadre de ma thèse, j'étudie les cartes planaires d'un point de vue combinatoire et probabiliste sous la direction de Marie Albenque et d'Eric Fusy. Auparavant, j'ai été admis.e à l'ENS Paris-Saclay sur concours. Je suis également représentant.e des doctorant.e.s du laboratoire LIGM. Je suis non-binaire et j'utilise les pronoms *il/iel*.

**Maria Vakalopoulou** est Maître-esse de conférences au laboratoire MICS de CentraleSupélec, Université Paris-Saclay, Paris, France et aussi affiliée à l'Inria Saclay. Elle est également la responsable d'équipe du groupe biomathématiques du laboratoire MICS, un groupe de recherche axé sur les modèles mathématiques pour les données médicales. Ses recherches portent sur l'apprentissage automatique et l'apprentissage profond avec des applications dans le domaine de la santé et en particulier l'analyse d'images médicales. Elle travaille actuellement sur l'enregistrement, la classification et la segmentation d'images médicales à différentes échelles (histopathologie, scanner, IRM) en étroite collaboration avec des cliniciens en vue de développer des algorithmes robustes pour le pronostic, le diagnostic et la modélisation de la maladie, en se concentrant sur le cancer du sein et du poumon ainsi que sur différentes maladies pulmonaires interstitielles.



**Matinée scientifique exceptionnelle du LIGM**

9h-14h, 5 juin 2023  
 Salle de séminaires 4B125, au 4ème étage, bâtiment Copernic

**Programme**

9h00-9h45 Exposé scientifique : "Mots équilibrés et systèmes dynamiques"  
**Valérie Berthé**, DR CNRS, IRIF

Résumé : Le problème de l'affectation du président (the chairman assignment problem) s'énonce comme suit : on suppose que k états forment une union et que, chaque année, un président d'union doit être sélectionné de telle sorte qu'à tout moment, le nombre cumulé de présidents de chaque état soit proportionnel à son poids. La richesse de ce problème réside dans le fait qu'il peut être reformulé à la fois comme un problème d'ordonnement en recherche opérationnelle, et comme un problème de discrétance symbolique, en termes de combinatoire des mots (la discrétance mesure la différence entre le nombre d'occurrences d'une lettre dans un préfixe d'un mot infini et la valeur attendue en termes de fréquence d'apparition de cette lettre). Nous verrons dans cet exposé comment construire des mots infinis à valeurs dans un alphabet fini ayant la plus petite discrétance possible, en revisitant une construction due à R. Tijdeman en termes de systèmes dynamiques. Il s'agit d'un travail en collaboration avec O. Carton, N. Chevallier, W. Steiner, R. Yasawii.

9h45-10h30 Exposé scientifique : "L'intelligence artificielle dans l'histopathologie numérique"  
**Maria Vakalopoulou**, Assistant Professor, CentraleSupélec, Univ. Paris Saclay

Résumé : L'intelligence artificielle change la donne dans de nombreux domaines, y compris celui des soins de santé. En effet, les méthodes récentes basées sur les données suscitent beaucoup d'attention de la part de la communauté médicale, car elles améliorent les performances des méthodes informatiques pour toute une série de tâches. Parmi les différentes modalités médicales, la pathologie numérique est l'étalon-or pour le dépistage et le diagnostic du cancer. De nouvelles méthodes de calcul robustes pour la pathologie numérique pourraient avoir un impact considérable sur la routine clinique, en facilitant le processus clinique. Cet exposé présente une vue d'ensemble et des techniques récentes pour la pathologie numérique. Tout d'abord, les principaux défis ainsi que l'état actuel de la pathologie numérique seront discutés. En outre, des méthodes récentes basées sur l'apprentissage profond pour les problèmes de classification et de segmentation sont présentées, mettant en lumière l'utilisation de nouvelles techniques pour le traitement de ces modalités médicales.

\*\*\* 10h30 - 10h50 Pause café \*\*\*

10h50 - 12h20 **Table ronde** autour des questions de diversité - égalité - parité dans les laboratoires

Invité(e)s : Valérie Berthé, Philippe Gambette, Corinne Palescandolo, Zéphyr Salvy et Maria Vakalopoulou  
 Animatrice : Anna-Livia Morand

\*\*\* 12h20-14h00 Déjeuner buffet \*\*\*



Figure 7

Référence 1. L'unité est attractive par son rayonnement scientifique et s'insère dans l'espace européen de la recherche.

Le LIGM bénéficie d'une très bonne reconnaissance tant au niveau national qu'international. Cette reconnaissance découle de son engagement constant dans la recherche de pointe et de son impact significatif dans divers domaines scientifiques.

## Espace européen

### Orateur invité dans des conférences internationales

#### Président de comité de programme de conférences internationales

- Y. Abdeddaïm (MCF ESIEE, LRT), 30<sup>th</sup> International Conference on Real-time Networks and Systems (RTNS) 2022 ;
- L. Bulteau (CR CNRS, ADA), 34<sup>th</sup> Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching (CPM) 2023 ;
- É. Colin de Verdière (DR CNRS, ADA), 37<sup>th</sup> International Symposium on Computational Geometry, SoCG 2021 (également éditeur invité des deux numéros spéciaux associés) ;
- J. Cousty (PR ESIEE, A3SI) Discrete Geometry for Computer Imagery 2019, et co-éditeur du numéro spécial JMIV associé.
- M. Couprie (PR ESIEE, A3SI) Discrete Geometry for Computer Imagery 2019, et co-éditeur du numéro spécial JMIV associé.
- Y. Kenmochi (PR ESIEE, A3SI) Discrete Geometry for Computer Imagery 2019, et co-éditeur du numéro spécial JMIV associé.
- G. Kucherov (DR CNRS, ADA), 14<sup>th</sup> International Computer Science Symposium in Russia (CSR) 2019 ;
- V. Lepetit (DR ENPC, A3SI) Congrès Reconnaissance des Formes, Image, Apprentissage et Perception (RFIAP) (2021 et 2022) – International Workshop on Recovering 6D Object Pose at ICCV or ECCV en 2018, 2020, 2022 et 2023 – International Workshop on Observing and Understanding Hands in Action at ICCV, ECCV, ou CVPR en 2018 et 2022.
- B. Perret (Prof. ESIEE, A3SI) International Symposium on Mathematical Morphology 2019 (ISMM 2019)
- G. Varol (CR ENPC, A3SI) ECCV 2024. 9 workshops sur la période

#### Responsabilités éditoriales

- Y. Abdeddaïm (LRT) : Editorial board *Leibniz Transactions on Embedded Systems* (2023-);
- M. Aubry (A3SI) : Editor, *Computer Vision and Image Understanding* (-2023) ;
- V. Belmega (MMSID) : Editor *IEEE Transactions on Machine Learning in Communications and Networking* (2022-), Co-Lead Guest Editor *IEEE IoT Magazine Special Issue : Pervasive, Efficient and Smart Signal Processing for IoT* (2022) ;
- É. Colin de Verdière (ADA) : Executive Editor *European Journal of Combinatorics* (2012-2022), Associate Editor *Journal of Computational Geometry* (2019-), Editor *Computing in Geometry and Topology* (2021-);
- O. Curé (BAAM) : *Journal of Semantics* ;
- A. de Mesmay (ADA) : Editor *Computing in Geometry and Topology* (2021-);
- E. Fusy (BAAM) : *Annals of Combinatorics* (2019-), et *Electronic Journal of Combinatorics* (2020-);
- Y. Kenmochi (A3SI), Editor *Pattern Recognition Letters* ;
- G. Kucherov (ADA) : Editorial board *Algorithms for Molecular Biology* ;
- L. Landrieu (A3SI) : Editorial Advisory Board *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* ;
- V. Lepetit (A3SI) : Editeur, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence* ;
- P. Monasse (A3SI) : Editor *Image Processing OnLine* ; Editor *Journal of Mathematical Imaging and Vision* (2023-);

- T.Nakamura (ADA) : Editor *Lingvisticae Invetigationes*; Editor *L'information grammaticale*; Editor *LINX*;
- J. Najim (MMSID) : Associate Editor *Journal of Multivariate Analysis*;
- L. Najman, Editor *Journal of Mathematical Imaging and Vision* (2023-); Editor *International Journal of Computer Vision* (2019-), Senior Editor *Signal Processing Letters* (-2022), Area Editor *Computer Vision and Image Understanding* (-2023);
- S. Oubatti (LRT) : Associate Editor *Elsevier Vehicular Communications Journal* (2020-), Associate Editor *MDPI Drones* (2020-), Associate Editor *Frontiers in Communications and Networks* (2020-);
- D. Perrin (BAAM) : *Theoretical Computer Science, Advances in applied mathematics, Semigroups forum*;
- A. Rachedi (LRT) : Editor *IEEE Internet of Things* (2018-), Editor *IEEE Journal on Selected Areas In Communications : Series On Network Softwarization & Enablers* (2018-), Editor *IEEE ACCESS* (2018-), Editor *Wiley Security & Privacy journal* (2018-), Editor *Wiley International Journal of Communication Systems* (2018-);
- F.-X. Vialard (MMSID) : Adj. Editor *ESAIM : COCV*;
- A. Zaidi (MMSID) : Adj Editor *IEEE Transactions on Wireless Communications* (2016–2020);

De nombreux collègues ont été invités à contribuer en tant qu'éditeur invité : *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*; *Elsevier Future Generation Computer Systems Journal*; *IEEE Access*; *Computers journal*; *Information journal*; *Energy Aware HPC Revisited : AI Concerns, Architectures and Optimization Strategies*; *Discrete Geometry for Computer Imagery*;

#### Participation à des comités de pilotage de conférences internationales

- M.P. Béal (BAAM), Development in Language Theory (DLT);
- Y. Abdeddaim (MCF ESIEE, LRT), Euromicro Conference on Real-Time Systems (ECRTS);
- Y. Kenmochi, L. Najman et B. Perret (A3SI), Digital Geometry and Mathematical Morphology (DGMM)
- C. Nicaud, Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science (STACS);

#### Participation à des comités de programme de conférences internationales

- 2023 International Conference on Research in Computational Molecular Biology (RECOMB), Workshop on Algorithms in Bioinformatics (WABI), ACM-SIAM symposium on Discrete Algorithms (SODA), Symposium on Computational Geometry (SoCG), IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS), Euromicro Conference on Real-Time Systems (ECRTS), IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), International Conference on Computer Vision (ICCV), Neural Information Processing (NeurIPS), British Machine Vision Conference (BMVC), International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (IEEE ICASSP) IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (IEEE PIMRC)
- 2022 European Conference on Computational Biology (ECCB), European Workshop on Computational Geometry (EuroCG), Latin American Theoretical Informatics Symposium (LATIN), International Conference on Research in Computational Molecular Biology (RECOMB), Workshop on Algorithms in Bioinformatics (WABI), IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS), Asian Conference on Computer Vision (ACCV), ISPRS Congresses, IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), European Conference on Computer Vision (ECCV),
- 2021 International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Computer Science (SOFSEM), Workshop on Algorithms in Bioinformatics (WABI), Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching (CPM), IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS), International Conference on Machine Vision Applications (MVA), British Machine Vision Conference (BMVC), Asian Conference on Computer Vision (ACCV), IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), International Conference on Computer Vision (ICCV),
- 2020 International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Computer Science (SOFSEM), European Workshop on Computational Geometry (EuroCG), Workshop on Algorithms in Bioinformatics (WABI), IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Asian Conference on Computer Vision (ACCV),
- 2019 European Symposium on Algorithms (ESA), International Workshop on Combinatorial Algorithms (IWOCA), Algorithms and Data Structures Symposium (WADS)

2018 International Symposium on String Processing and Information Retrieval (SPIRE), Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching (CPM), IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS), IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR),

**Organisation de conférences internationales** Plusieurs membres de l'unité ont été impliqués dans l'organisation de manifestations scientifiques :

- International Conference on Computer Vision (ICCV), 2023 ;
- Combinatorial Pattern Matching (CPM), 2023 ;
- Discrete Geometry for Computer Imagery (DGCI), 2019 ;
- Structures on Surfaces au CIRM, 2022 ;
- Discrete Geometry and Mathematical Morphology (DGMM), 2022
- Conférence en mémoire de Pierre Rosenstiehl, 2023 ;
- Journées SeqBIM, 2019 ; Dagstuhl Seminar "Computation and Reconfiguration in Low-Dimensional Topological Spaces", 2022 ;

**Organisation d'écoles**

- École d'été "Low-Dimensional Geometry and Topology : Discrete and Algorithmic Aspects", IHP, 2018 ;
- École d'été "Summer School on Geometric and Algorithmic Combinatorics", Paris, 2019.

**Prix**

Prix reçus par des permanents :

- Best paper. X. Goac (MoA), International Symposium on Computational Geometry (SoCG), 2018 ;
- Best paper. É. Colin de Verdière (ADA) & Arnaud de Mesmay (ADA), International Symposium on Computational Geometry (SoCG), 2019 ;
- Koenderick 'test of time' award, V. Lepetit, European Conference on Computer Vision (ECCV), 2020

Prix reçus par des doctorants :

- P. Chiberre (A3SI), [134], Best paper award at the CVPR2021 Workshop on Event-based Vision.
- C. Chomicki (A3SI), [138], Best paper award at ENGAGE 2023
- Q. Garrido (A3SI), [230], Outstanding Paper Honorable Mention at ICLR 2023
- Q. Garrido (A3SI), [231], Ian Lawson Van Toch Memorial Award for Outstanding Student Paper at ISMB 22
- F. Huan (A3SI), [218], Best Paper Finalist (top 1%), at CVPR 2019
- F. Huan (A3SI), [218], Premier prix du challenge Single Image Depth Prediction, Robust Vision Challenge 2018, joint à CVPR 2018.
- J. Lefèvre (A3SI), [291], Best Student Paper award, DGMM 2021 ;
- Accessits au prix de thèse Gilles Kahn : T. Groueix (2021) et F. Koechlin (2022).

**Pilotage** . Plusieurs collègues sont ou ont été impliqués dans des responsabilités importantes de pilotage :

- J.-F. Bercher (MMSID), Doyen du corps professoral de l'ESIEE (-2023), Directeur de la recherche de l'ESIEE (2023-);
- B. Biri (A3SI), Vice-président enseignement et innovation pédagogique de l'Université Paris-Est-Marne-la-Vallée (-2021), Vice-président enseignement et innovation pédagogique de l'Université Gustave Eiffel (2021-);
- E. Duris (LRT), Directeur des études à l'ESIEE Paris, (2021-);
- L. Najman (A3SI), co-directeur de l'Institut Supérieure des BioSciences (-2020);
- G. Roussel (LRT), Prédident de l'Université Paris-Est-Marne-la-Vallée (-2021), Président de l'Université Gustave Eiffel (2021-), Président de France Universités (-2020);
- S. Vialette (ADA), Chargé de mission INS2I CNRS (-2019).

Référence 2. L'unité est attractive par la qualité de sa politique d'accompagnement des personnels.

**Politique d'accueil** La direction du laboratoire est très vigilante et attachée à la bonne intégration des enseignants-chercheurs et chercheurs du laboratoire. Les nouveaux entrants sont environnés (CNRS et UGE) et les nouveaux MCF bénéficient d'une décharge d'enseignement les deux premières années. Concernant les nouveaux CR CNRS, la direction de l'unité s'assure que ceux-ci trouvent rapidement des interlocuteurs scientifiques au laboratoire, n'aient pas de charges externes (enseignement excessif ou autres responsabilités) incompatibles avec leur activité de recherche. Tous les nouveaux enseignants-chercheurs et chercheurs du laboratoire sont accompagnés par la direction pour les guider vers les AAP les plus adaptés. La qualité d'accueil et d'accompagnement du laboratoire est un atout que nous mettons volontiers en avant pour attirer les meilleurs candidats.

Depuis 2015, la direction du laboratoire organise chaque année (fin septembre ou début octobre en fonction du calendrier) une journée de rentrée. Il s'agit essentiellement d'accueillir les nouveaux arrivants (ils se présentent tous brièvement) et de faire le point sur la situation et les grandes orientations du laboratoire. C'est également l'occasion d'expliquer (ou de rappeler) nos règles de fonctionnement. La direction du laboratoire tient cependant à faire de cette journée un moment festif pour tous, et en 2021 et en 2023, ces journées se sont tenues hors les murs du laboratoire (Château de Ferrières en 2021 et Rosa Bonheur à l'Est en 2023). Depuis 2021, cette journée est également l'occasion d'une intervention d'ouverture : *Parité et égalité* (Anna-Livia Morand, Adoc Métis) en 2021 et *Les scénarios les plus extrêmes considérés par le Giec sont-ils réalistes* (Jacques Treiner) en 2023. Après de nombreux échanges, nous constatons que si le format de cette journée est bien adapté à l'accueil des nouveaux enseignants-chercheurs et chercheurs, il n'est pas totalement satisfaisant pour l'accueil des nouveaux doctorants. Ainsi, à partir de septembre 2024, les nouveaux doctorants seront accueillis lors d'une journée spécifique supplémentaire organisée et animée par les doctorants de deuxième année et plus du laboratoire ; cette journée supplémentaire permettra d'accélérer et d'améliorer l'intégration des nouveaux doctorants au sein du laboratoire.

Depuis 2023, le laboratoire a mis en place une rencontre mensuelle autour d'un goûter (le premier mardi de chaque mois sauf contrainte de calendrier) pour tous les enseignants-chercheurs, chercheurs, doctorants et personnels administratifs du laboratoire. Ces rencontres sont de vrais succès et sont largement plébiscitées. C'est en particulier l'occasion pour les collègues du LIGM travaillant dans des bâtiments différents sur le campus Descartes de se rencontrer à intervalle régulier. Pour maintenir la qualité des échanges inter-laboratoires, la direction du LIGM invite également les directeurs d'unités des UMR de mathématiques et d'électronique ainsi que le directeur du LabEx Bézout.

Depuis 2017, le LIGM a mis en place une politique active d'accompagnement des candidats MCF, CR, PR et DR. Il s'agit essentiellement de constituer des structures spécifiques et dédiés aux candidats. Ces groupes de suivi sont composés de 4 à 5 enseignants-chercheurs et chercheurs volontaires du laboratoire - des spécialistes et des non spécialistes du domaine de recherche du candidat - et propose un accompagnement personnalisé ainsi qu'une préparation aux auditions (répétitions, séances de questions et retours critiques). La laboratoire revendique désormais une certaine expertise sur ce dispositif d'accompagnement, en particulier sur les concours CR et DR CNRS, qui participe assez largement à son attractivité.

**Chercheurs invités** La direction du laboratoire encourage, guide et accompagne les demandes des enseignants-chercheurs et chercheurs du LIGM pour financer l'accueil de chercheurs invités. Plusieurs guichets sont disponibles sur le site de Marne-la-Vallée :

- Depuis sa création en 2011, le LabEx Bézout finance l'accueil de chercheurs invités pour des séjours d'un mois ou plus (éventuellement positionnés sur deux années consécutives). C'est un dispositif particulièrement flexible et adapté à nos besoins. Les modalités sont publiées sur <https://LabEx-bezout.fr/invited-professors/>.
- La ComUE Paris-Est Sup finance des séjours d'un mois. Deux actions sont proposées : (1) développer les relations avec l'unité de recherche d'accueil et lui apporter une valeur ajoutée et (2) intervenir dans les domaines clés d'une école doctorale, voire, de manière transverse, intervenir dans des domaines intéressant plusieurs écoles doctorales.
- L'Université Gustave Eiffel finance via ses Actions Incitatives les mobilités entrantes de chercheurs.
- LIGM. Exceptionnellement, le laboratoire finance sur fond propre l'accueil de chercheurs invités.

Le laboratoire est donc particulièrement bien épaulé localement et, guidés par la direction, les collègues du LIGM peuvent dans la plupart des cas financer la venue de chercheurs. Cependant, nous manquons de place pour accueillir dans les meilleures conditions les chercheurs invités. Avec l'augmentation de nos effectifs ces dernières années, il ne nous est plus possible de banaliser un bureau sur Copernic pour l'accueil des chercheurs invités et il est nécessaire de gérer les situations au cas par cas en identifiant les places exceptionnellement vacantes. C'est un vrai problème et la direction du laboratoire a alerté à plusieurs reprises ses tutelles.

Nous résumons ci-après les principaux chercheurs qui ont effectué un séjour au sein du LIGM.

- 2018 : Sergio Cabello, Professeur, Université de Ljubljana (Slovénie), 1 mois ; Djamel Belazzougui, Chercheur, CERIST (Algérie), 2 mois ; Vincent Moulton, Professor, University of East Anglia (UK), 1 semaine ;
- 2019 : Yaroub Elloumi, MCF, Université de Sousse (Tunisie), 1 semaine ; Djamel Belazzougui, Chercheur, CERIST (Algérie), 2 semaine ; Romeo Rizzi, Professeur, Università di Verona (Italie), 1 mois ; Anne Dister, Professeur, Université catholique de Louvain (Belgique), 1 mois ;
- 2020 : Yaroub Elloumi, MCF, Université de Sousse (Tunisie) ;
- 2021 : Amanda Duarte, Doctorant, UPC (Espagne), 1 mois ; Hannah Bull, Doctorant, Univ Paris-Saclay, 2 ans ; Yaroub Elloumi, MCF, Université de Sousse (Tunisie), 1 semaine ; Andreas Holmsen, Professeur, KAIST (Corée), 1 mois ; Kais Haddar, Professeur, Université de Sfax (Tunisie), 2 semaines ; Christian Komusiewicz, Professeur, Universität Marburg (Allemagne), 1 mois.
- 2022 : Alexandre Falcao, Professeur, University of Campinas (Brésil), 1 semaine ; Silvio Guimaraes, Professeur, Pontificia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas, Brésil), 1 mois ; Lama Tarsissi, Maître de Conférences, Sorbonne Abu Dhabi (Emirats Arabes Unis), 2 semaines ; Federico Figari Tomenotti, Doctorant, University of Genova (Italie), 4 mois ; Yaroub Elloumi, MCF, Université de Sousse (Tunisie), 1 semaine ; Francis Lazarus, DR CNRS, Université Grenoble Alpes (France), 1 semaine ; Yakov Nekrich, Professeur, MichiganTech (USA), 2 jours ; Steven Skiena, Professeur, Stony Brook University (USA), 1 mois ; Antonio Restivo, Professeur émérite, Université de Palerme (Italie), 1 semaine ; Davig GuoLiang Wang, Professeur, Beijing Technical University (Chine), 6 mois.
- 2023 : Alexandre Falcao, Professeur, University of Campinas (Brésil), 24/9/2023—28/10/2023, Financement LabEx Bézout ; Silvio Guimaraes - Professeur, Pontificia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas, Brésil), 2 semaines ; Lama Tarsissi - Maître de Conférences, Sorbonne Abu Dhabi (Emirats Arabes Unis), 2 semaines ; Yaroub Elloumi, MCF, Université de Sousse (Tunisie), 1 semaine ; Ali Ahaitouf, Professeur, Faculté des Sciences et Techniques de Fès (Maroc), 1 semaine ; Louxin Zhang, Professeur, NUS (Singapour), 1 semaine ; Stefan Walzer, Professeur, Karlsruhe Institute of Technology (Allemagne), 2 jours ; Koichiro Kawashima, Professeur, Université de Fukuoka (Japon), un an ; Marinella Sciotino, Professeur, Université de Palerme (Italie), 3 jours ; T. Asir, Professeur assistant, Université de Pondicherry, 1 semaine ; Davig GuoLiang Wang, Professeur, Beijing Technical University (Chine), 6 mois ; Yassine Hadjadj, Professeur, Université de Rennes (France), 1 mois ; Michele Luglio, Professeur, Université de Rome Torre Vergada (Italie), 1 mois.

Référence 3. L'unité est attractive par la reconnaissance de ses succès à des appels à projets compétitifs.

## ERC

- M. Aubry (A3SI), ERC Starting Grant 2022, *Discovering and analyzing visual structures* (DISCOVER). Ce projet de vision assistée par ordinateur ambitionne de développer des méthodes d'apprentissage non supervisé pour identifier les motifs répétitifs et leurs éventuelles transformations au sein de divers types de documents et d'images.
- V. Lepetit (A3SI), ERC Advanced Grant 2022, *Exploration of unknown environments for digital twins* (EXPLORER). Ce projet propose d'utiliser des robots pour construire et mettre à jour automatiquement des jumeaux numériques (*modèles informatiques copiant un site réel*) de larges sites.

## H2020 (participation LIGM)

- Équipe A3SI
  - H2020 SUNDIAL, 2017–2021 ;
  - H2020 Genomed4ALL, 2020–2024.

## ANR (porteur LIGM)

- ANR ADDS, N. Mustafa (A3SI), 2019-2023
- ANR CARPLO, J.-Y. Thibon (COMBI), 2020-2024 ;
- ANR HIDITSA, Ph. Loubaton (MMSID), 2017–2022 ;
- ANR JCJC Ultralearn, B. Perret (A3SI), 2020-2024 ;
- ANR JCJC Corvis, G. Varol (A3SI), 2022-2028 ;
- ANR 5G-INSIGHT, R. Langar (LRT), 2020-2024 ;
- ANR QUID, C. David (BAAM), 2018-2024 ;

## ANR (participation LIGM)

- Équipe A3SI
  - À compléter.
- Équipe ADA
  - ANR-FNR PRCI SOS, 2018–2023 ;
  - ANR PRC ASPAG, 2018–2022 ;
  - ANR MINMAX, 2019–2023 ;
  - ANR GATO, 2017–2021 ;
  - ANR FOCAL, 2018–2020 ;
- Équipe BAAM
  - ANR 3dMaps, 2021–2025 ;
  - ANR CartesEtPlus, 2023–2027 ;
  - ANR JCJC DEMaIn, 2016–2020 ;
  - ANR IsOMA, 2021–2025 ;
  - ANR IZES, 2022–2026 ;
  - ANR LambdaComb, 2021–2025 ;
  - ANR PAGCAP, 2022–2026 ;
  - ANR VeriGraph, 2022–2026 ;
- Équipe LRT
  - À compléter.
- Équipe MMSID
  - ANR APY, 2021–2024 ;
  - ANR PRCI FAPESP ELIOT, 2019–2024 ;

**Autres AAP nationaux** Ph. Gambette a co-dirigé avec C. Trotot le projet I-site FUTURE Impulsion « *Cité des Dames, créatrices dans le cité* », 2019–2023, budget 239 644 €. L. Najman a bénéficié d'un fincement de thèse via le DIM Thérapie génique sur la période 2019–2023.

## Financements I-site Future

### Programmes internationaux

- Équipe A3SI
  - CEFIPRA - CSRP Proposal No. 68T05-F, porteur France L. Najman 2023-2026, projet de collaboration France-Inde avec le Birla Institute of Technology & Science, Pilani.
  - CAPES-COFECUB 42067SF/ Ma 933/19, 2019-2024, porteur France : L. Najman, projet de collaboration France-Brésil impliquant à A3SI J. Cousty, Y. Kenmochi, B. Perret, en partenariats avec de nombreuses universités tant françaises que brésiliennes.
  - Projet EGIDE PHC UTIQUE 2019-2021 - 41797ZK, porteur France : R. Kachouri - système intelligent mobile d'aide au dépistage de la dégénérescence maculaire liée à l'âge (SIMAD-DMLA), en partenariat avec la Faculté de Médecine de Monastir, Tunisie,
  - projet EGIDE PHC MAGHREB 2023-2025 - 48672RG, porteur France : R. Kachouri - Système Intelligent Mobile d'Aide au Dépistage des Pathologies Rétiniennes (SIMAD-PR), porté par R. Kachouri, en partenariat avec la Faculté de Médecine de Monastir (FMM), Tunisie et l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, et la Faculté des sciences et Techniques (USMBA-FST) de Fès, Maroc.

Référence 4. L'unité est attractive par la qualité de ses équipements et de ses compétences techniques.

Rubrique non pertinente pour notre unité.

## Synthèse de l'autoévaluation

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
ACL	71	90	92	96	70	54
ASCL	0	1	0	0	1	0
COMM	111	103	86	104	144	123
INV	4	1	1	1	2	1
OUV	3	4	2	3	1	0
DOUV	0	0	0	0	0	0
COUV	12	6	9	7	11	3
PATENT	0	1	0	1	1	0
VULG	0	0	0	1	0	0
SEM/WOR	0	0	2	0	0	1

Table 3 – Synthèse des publications des membres du LIGM sur la période d'évaluation 2018–2019.

**Rayonnement scientifique** Les membres du LIGM sont très présents dans les principaux vecteurs de diffusion. Ils participent très régulièrement aux comités de programme de conférences internationales et sont souvent éditeurs des principales revues dans leur thématique de recherche. Le bilan est positif et la dynamique est là.

Plusieurs membres du LIGM sont également très actifs dans les actions de pilotage avec de très lourdes charges administratives et/ou pédagogiques. C'est un élément récurrent dans les laboratoires de recherche qui pèse assez lourdement sur la disponibilité de plusieurs PR.

**Qualité de sa politique d'accompagnement des personnels** La direction du LIGM est très attachée à la qualité d'accueil et d'accompagnement des nouveaux enseignants-chercheurs et chercheurs du laboratoire. Le laboratoire propose également une politique active d'accompagnement des candidats. Ce sont des éléments que nous mettons en avant pour attirer les meilleurs candidats. Plus généralement, les membres du LIGM sont soucieux de maintenir un espace de recherche accueillant et agréable pour tous.

Concernant les chercheurs invités, si les accueils sont réguliers nous manquons de place pour accueillir nos visiteurs dans les meilleures conditions possibles. Nous ne pouvons dédier un espace aux chercheurs invités. Si les arrangements sont parfois possibles pour les courtes périodes, la situation est plus complexe et pénalisante pour les visites de moyenne et longue durée.

**Appels à projets** La direction du laboratoire est très satisfaite du succès dans des appels à projets compétitifs durant la période d'évaluation. Le LIGM a obtenu ses deux premières ERC en 2022 : M. Aubry (Starting) et V. Lepetit (Advanced). Sept ANR sont ou ont été portées par des membres du laboratoire. Le bilan est très positif.

Sur les appels de type ERC, les membres du laboratoire peuvent, malgré les fortes incitations de la direction du LIGM, hésiter à se lancer, par excès d'humilité, peur d'un processus trop chronophage, etc. À ce titre, les tutelles, en particulier le CNRS, peuvent jouer un rôle en soutenant les éléments les plus brillants du laboratoire : pour de tels appels à projet, la visibilité individuelle est très importante.

### Domaine 3. Production scientifique

#### Référence 1. La production scientifique de l'unité satisfait à des critères de qualité.

La production scientifique des membres du LIGM se traduit essentiellement en articles dans des revues internationales ou nationales avec comité de lecture et des communications avec actes dans un congrès international. Pendant la période d'évaluation, les membres du laboratoire ont publié plus de 470 articles dans des revues internationales ou nationales avec comité de lecture et plus de 670 communications avec actes dans un congrès international. L'activité de publication est donc soutenue et dans les journaux et conférences de référence dans leurs thématiques de recherche. Nous pouvons citer par équipe :

## — Revues internationales

- A3SI : IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, International Journal of Computer Vision, Journal of Mathematical Imaging and Vision ;
- ADA : Journal of the ACM, SIAM Journal of Computing, Information and Computation, Discrete & Computational Geometry, Bioinformatics ;
- BAAM : Journal of Combinatorial Theory, Series A, SIAM Journal on Discrete Mathematics, Journal of Algebra, IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering ;
- COMBI : Annales H. Poincaré, Advances in Math., Journal of Combinatorial Theory, Series A ;
- LRT : IEEE Transactions on Vehicular Technology, IEEE Internet of Things journal, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, IEEE Transactions on Network and Service Management, IEEE Transactions on Computers, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems ;
- MMSID : Electronic Journal of Probability, Foundations of Computational Mathematics, IEEE Transactions on Information Theory.

## — Conférences internationales

- A3SI : CVPR, DGMM, ECCV, ICCV, NeurIPS, ICML ;
- ADA : FOCS, SODA, ESA, SOCG, RECOMB ;
- BAAM : ICALP, SODA, ACM SIGMOD/PODS, VLDB ;
- COMBI : FPSAC ;
- LRT : IEEE Infocom, IEEE ICC, IEEE Globecom, RTNS ;
- MMSID : NeurIPS, ICML, AISTATS.

Selon les domaines de recherche, même au sein d'une même équipe, les cultures de publication (publications en revue ou en conférences internationales) diffèrent fortement. Une synthèse est présentée dans la Table 3, et par équipe dans la Table 4. Le volume des publications est stable globalement par rapport à la précédente période 2013–2018 : 452 articles dans des revues internationales ou nationales avec comité de lecture et 707 communications avec actes dans un congrès international.

Les résultats marquants de chaque équipe sont détaillés dans les portfolios. Toutes les contributions ont été obtenues grâce à un important réseau de collaborations académiques et industrielles au niveau national et international.

### Référence 2. La production scientifique de l'unité est proportionnée à son potentiel de recherche et correctement répartie entre ses personnels.

Certains membres de l'unité sont moins actifs en recherche. Tous les cas sont bien sûr différents, mais cela résulte souvent de prises de responsabilités administratives ou pédagogiques, des missions essentielles pour la réalisation des missions d'enseignement et de recherche. Pour les collègues qui rencontrent des difficultés et aspirent à remettre le pied à l'étrier en recherche, la direction du laboratoire évalue en collaboration avec le responsable de l'équipe concernée chaque cas séparément pour trouver les solutions les plus adaptées (mentorat, groupe de travail, ...). C'est toujours un processus long et délicat, il ne faut ni stigmatiser ni brusquer, mais le coefficient directeur est clairement positif.

### Référence 3. La production scientifique de l'unité respecte les principes de l'intégrité scientifique, de l'éthique et de la science ouverte. Elle est conforme aux directives applicables dans ce domaine.

La Figure 8 présente, pour chaque année d'observation depuis 2019, le taux d'accès ouvert des publications scientifiques du LIGM, avec un DOI Crossref, parues durant les années précédentes. La Figure 9 présente, pour chaque date d'observation depuis 2019, le taux d'accès ouvert des articles de revues du LIGM, avec un DOI Crossref, parus durant l'année précédente. Ainsi, 93 % des articles scientifiques du périmètre LIGM, avec un DOI Crossref, publiés en 2022 étaient ouverts en 2023. Toutes les données sont issues de **Baromètre français de la Science Ouverte**.

Le taux d'Open Access n'est pas encore satisfaisant. En effet, au niveau national, l'objectif fixé est de 100% des publications en revues disponibles en Open Access en 2030. Début 2023, la direction du laboratoire aidée de Ph. Gambette (référént HAL du laboratoire) ont sensibilisé les membres du laboratoire à ce sujet. Ceci a eu un impact positif, limité toutefois à une augmentation d'environ 5 points de pourcentage de l'ensemble des publications du LIGM, comme le montrent les données de la Figure 8.

Concernant les revues prédatrices, ce point a été longuement évoqué en conseil de laboratoire, en particulier après la communication par F. Bordignon (LISIS, ENPC) du rapport bibliométrique 2022. Les responsables des six équipes de recherche ont été invités à sensibiliser les membres du laboratoire (y compris les doctorants) à ce problème.

	Équipe A3SI						Équipe ADA					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2018	2019	2020	2021	2022	2023
ACL	27	41	30	25	25	13	12	12	16	20	10	15
ASCL	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
COMM	44	43	28	60	57	60	14	13	10	17	26	14
INV	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
OUV	2	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
DOUV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COUV	1	3	2	2	2	1	8	0	2	1	1	1
PATENT	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VULG	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
SEM/WOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Équipe BAAM						Équipe COMBI					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2018	2019	2020	2021	2022	2023
ACL	9	7	15	15	8	11	7	8	7	8	8	1
ASCL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COMM	18	13	9	9	18	14	0	1	2	0	4	0
INV	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
OUV	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0
DOUV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COUV	2	2	1	3	8	0	1	0	0	0	0	0
PATENT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VULG	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
SEM/WOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Équipe LRT						Équipe MMSID					
	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2018	2019	2020	2021	2022	2023
ACL	7	11	15	20	9	8	10	10	9	8	9	8
ASCL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
COMM	21	27	30	12	24	21	12	9	7	5	18	15
INV	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0
OUV	0	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
DOUV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COUV	0	0	2	1	0	0	0	1	3	0	0	0
PATENT	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
VULG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEM/WOR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 4 – Synthèse des publications des membres du LIGM par équipe sur la période d'évaluation 2018–2019.

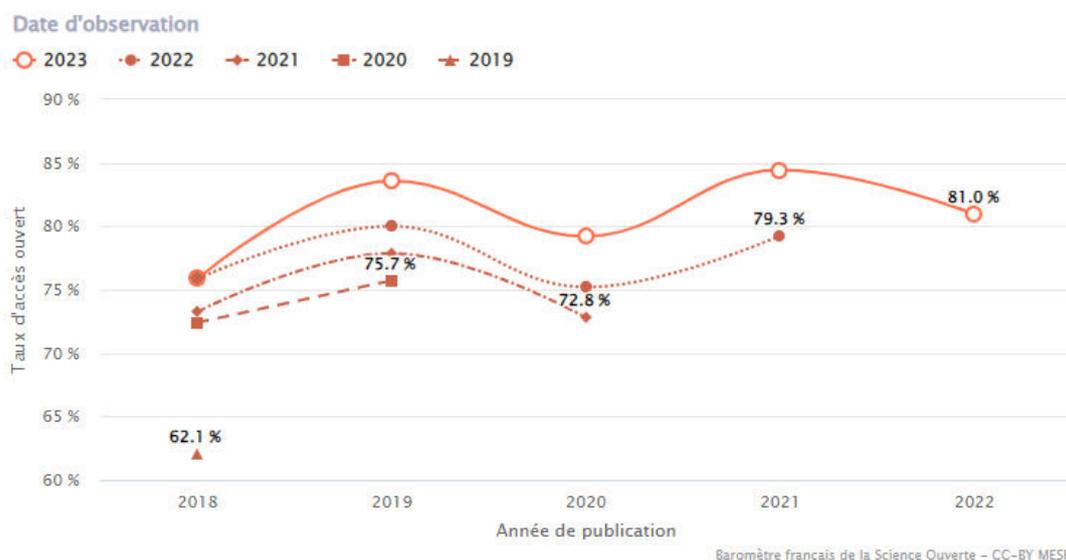


Figure 8 – Évolution du taux d'accès ouvert des publications du LIGM, avec un DOI Crossref, par année d'observation.

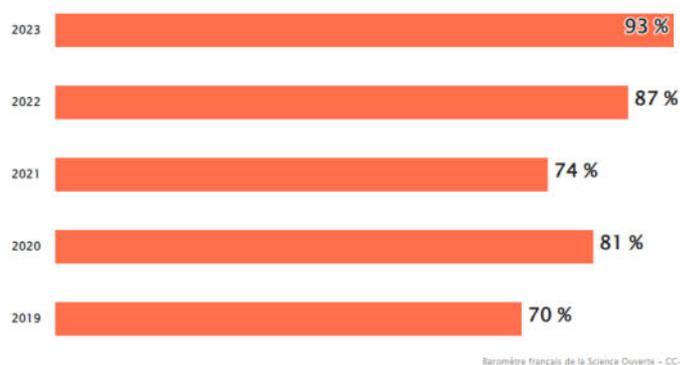


Figure 9 – Taux d'accès ouvert des articles en revues du LIGM, avec un DOI Crossref, parus durant l'année précédente par année d'observation.

## Synthèse de l'autoévaluation

L'activité de publications des membres du laboratoire est cohérente avec celle de la précédente évaluation. Elle reste soutenue et de qualité.

Le taux d'Open Access n'est pas encore satisfaisant et doit être amélioré par des actions de sensibilisation plus fortes de la part de la direction du laboratoire.

La sensibilisation aux revues dites « *prédatrices* » doit être systématisée. La communication, en particulier à destination des doctorants, doit être améliorée.

## Domaine 4. Inscription des activités de recherche dans la société

### Référence 1. L'unité se distingue par la qualité et la quantité de ses interactions avec le monde non-académique.

Collaboration en mode CIFRE (11 contrats) : 4 thèses avec Huawei, 3 thèses avec Nokia, une thèse SNCF, 2 thèses avec METRON, une thèse avec NXP.

Le partenariat entre ENGIE et O. Curé, institutionnalisé par une convention en 2018, a permis le financement de 2 stages de M2, de 4 doctorats, ainsi que 40k€ de financement. De plus, deux thèses sur financement CIFRE (ATOS Entreprise) ont été soutenues sous la direction d'O. Curé

L. Bulteau a établi un partenariat avec la société **Octobus** pour le développement du logiciel libre Mercurial. Cette collaboration a permis le co-financement d'une thèse (50% UGE et 50% Octobus).

R. Marlet est Principal Scientist chez **Valeo.ai** depuis 2019 pour 80% de son temps. Il reste chercheur au sein de l'équipe A3SI du laboratoire.

### Référence 2. L'unité développe des produits à destination du monde culturel, économique et social.

Plusieurs projets de pré-maturation et de maturation ont été gérés au niveau de l'équipe LRT. À ce titre, quatre brevets ont été déposés, dont trois ont été acceptés et protégés en Europe :

- « *Method and assembly allowing end-user terminals to exchange over a wireless multi-hop communication proximity network with dynamic architecture* », A. Rachedi et H. Badis, European Patent – PCT/EP2018/083502 – US20200374975 – CN112868255 – WO2019110594, 2018 ;
- « *Method and device for guidance by connected object in a building* », A. Rachedi et A. Mebarki, European Patent – 19306270.0 – 1205 -WO2021064225, 2020 ;
- « *Method and device for guiding using a connected object in a building by location at each positioning terminal* », A. Rachedi et A. Mebarki, European Patent – 0894-IDF57-EP, 2021 ;
- « *Method for generating a deployment weighted multigraph of connected objects and method for generating optimized deployment solutions of connected objects thereof* », A. Rachedi, A. Mebarki et A. Sahli, European Patent – PCT/EP2023/085223, 2023.

Ces brevets ont également bénéficié d'extensions PCT en Amérique du Nord (États-Unis) et en Chine.

En février 2021, dans le cadre des projets de maturation de l'équipe LRT, une startup nommée **uGetWin** a été fondée en collaboration avec la SATT Erganeo. uGetWin est une start-up française qui fournit des solutions innovantes de jumeau numérique et de contrôle de foule en temps réel pour aider les entreprises à améliorer leur efficacité et leur sécurité. L'équipe LRT a également développé un logiciel **GuidEvac** ; il s'agit d'un simulateur d'évacuation avec l'utilisation des jumeaux numériques et les réseaux IoT.

E. Laporte contribue à la plate-forme de logiciel libre **Unitex/GramLab**, utilisée par des entreprises de traitement des langues en France, Allemagne, Suisse, Belgique et Corée du Sud. En collaboration avec C. Martineau, C. Martineau et A. Schoen, T. Kyriacopoulou a participé au dépôt du brevet européen « *Extraction de l'information tolérante au bruit* », PCT/EP2018062244, 2018.

N. Francis et V. Marsault ont collaboré avec l'entreprise Neo4j afin de formaliser et d'analyser leur langage de requêtes **Cypher**. Avec L. Peterfreund, ils ont ensuite participé à l'élaboration de standard sous l'égide de l'ISO (**GQL** et **SQL/PGQ**). Depuis 2022, V. Marsault et L. Peterfreund conseillent l'entreprise RelationalAI sur leur langage de requêtes **Rel**, et sur la faisabilité de traduire d'autres langages (SQL, GQL) vers Rel. Ces collaborations ont mené à des publications qui servent de base à l'étude théorique de ces langages par la communauté académique.

### Référence 3. L'unité partage ses connaissances avec le grand public et intervient dans des débats de société.

Le LIGM s'investit fortement dans la promotion de l'enseignement de l'informatique et des sciences dans le secondaire et dans le supérieur. C. Nicaud est membre du jury du concours externe de l'agrégation section

informatique depuis 2023. V. Jugé encadre la formation olympique française depuis 2012 et a été chef de délégation pour les Olympiades internationales de mathématiques de 2017 à 2021. A. de Mesmay a été membre du jury du prix de thèse Gilles Kahn en 2023. C. Pivoteau a été membre du jury du Southwestern Europe Regional Contest (SWERC) en 2018.

Le laboratoire participe largement aux échanges avec le grand public. É. Colin de Verdière a organisé une journée « *mathématiques, informatique et ville* » pour les enseignants de classes préparatoires (2022). Il a également encadré un groupe de 6 étudiants de l'école Imac pour la création d'une affiche grand public « *équations en image* ».

V. Nozick, dans un papier fondateur, a été un des premiers chercheurs à avoir proposé des méthodes de détection de deepfakes [6] (cf. le Portfolio pour plus de détails). Ph. Gambette a effectué plusieurs interventions grand-public ou auprès de professeurs du secondaire, sur la place des écrivaines dans les corpus littéraires à partir de compilation de données statistiques <https://citedesdames.github.io/histoires-autrices/> :

- « *Quelques données chiffrées sur la visibilité du matrimoine théâtral aujourd'hui* », rencontre Toutes en scène! Édifier notre matrimoine dans le spectacle vivant, Espace Alya (Avignon), 2022 ;
- « *La place des autrices dans l'enseignement des lettres* », Journée du Cercle d'études des lettres de l'Académie de Montpellier, Lycée Jean-Monnet (Montpellier), 2018 ;
- « *La place des femmes dans la littérature* », journée La place des femmes dans la société au lycée Rosa-Parks de l'Académie de Versailles (Montgeron), 2018.

En 2022, Ph. Gambette a rédigé un **article** pour la plateforme Réflexscience de diffusion des savoirs de l'université Gustave Eiffel.

Depuis septembre 2021, A. Rachedi est co-animateur d'axe de recherche axé sur l'IoT et l'intelligence artificielle au sein de la Vice-Présidence Appui aux Politiques Publiques (VPAPP) et de la Vice-présidence Recherche (VPR). Son rôle consiste à organiser et à animer des séminaires ainsi que des ateliers de transfert vers les acteurs publics tels que les Pompiers de Paris et la Gendarmerie. À ce titre, il a déjà organisé deux séminaires auprès des Pompiers de Paris et de la Gendarmerie sur les jumeaux numérique, l'IoT et l'IA. L'équipe LRT organise des séminaires de transfert sur la qualité de l'air dans le cadre du projet AirDescartes. Ce projet vise à surveiller l'exposition des usagers du Campus Descartes à la qualité environnementale, en particulier à la qualité de l'air extérieur.

## Synthèse de l'autoévaluation

### 3-2 Autoévaluation des équipes (dans le cas des unités pluri-équipes)

#### 3-2.1 Équipe Algorithmes, architectures, analyse et synthèse d'images (A3SI)

Les membres permanents de l'équipe Algorithmes, architectures, analyse et synthèse d'images (A3SI) se composent à la fois de personnels de l'université Gustave Eiffel (avec un statut particulier pour ceux de la composante ESIEE), de personnels de l'ENPC, ainsi que d'une chercheuse CNRS (Y. Kenmochi, partie en 2021). R. Marlet est détaché à 80% chez Valeo.

Concernant les arrivées, L. Landrieu (mai 2023), V. Lepetit (2019), R. Negrel (2021), K. Pluta (2023), G. Varol (2022), ont rejoint l'équipe. Depuis janvier 2021, L. Tarsissi, professeure associée à la Sorbone Abu Dhabi, est membre associée au LIGM.

Concernant les départs, outre Y. Kenmochi, N. Lustapha est parti pour le LIPN en 2021, et H. Talbot pour CentraleSupélec en 2020. L. Raad Cisa est restée 2.5 ans dans l'équipe, ayant eu une proposition pour retourner dans son pays natal. Notons également la présence, pendant la période 2018-2021, des chercheurs Chengbin Chu, Sana Beraf-Belmokhtar et Abderrahim Sahli, qui ont été intégrés à l'essai dans l'équipe A3SI, mais ont finalement rejoint COSYS-GRETTIA.

La liste précise des membres permanents de A3SI est la suivante :

Mohamed Akil	Professeur émérite ESIEE	
Mathieu Aubry	Directeur de Recherche ENPC	
Gilles Bertrand	Professeur émérite ESIEE	
Venceslas Biri	Professeur	
Lilian Buzer	Professeur associé ESIEE	
Giovanni Chierchia	Professeur associé ESIEE	
Jean Cousty	Professeur ESIEE	
Michel Couprie	Professeur émérite ESIEE	
Eva Dokladalova	Professeure ESIEE	
Thierry Grandpierre	Professeur associé ESIEE	
Rostom Kachouri	Professeur associé ESIEE	
Yukiko Kenmochi	Chargée de Recherche CNRS	départ en 2021
Loïc Landrieu	Directeur de Recherche ENPC	arrivé en mai 2023
Vincent Lepetit	Directeur de Recherche ENPC	arrivé en 2019
Renaud Marlet	Directeur de Recherche ENPC	
Pascal Monasse	Directeur de Recherche ENPC	
Nabil Mustafa	Professeur ESIEE	départ en 2021
Laurent Najman	Professeur ESIEE	
Romain Negrel	Professeur associé ESIEE	arrivé en 2021
Bertrand Neveu	Directeur de Recherche ENPC	
Vincent Nozick	Maitre de conférences	
Benjamin Perret	Professeur ESIEE	
David Picard	Directeur de Recherche ENPC	arrivé en 2019
Kacper Pluta	Professeur associé ESIEE	arrivé en septembre 2023
Lara Raad Cisa	Professeure associée ESIEE	arrivée en septembre 2021, départ en décembre 2023
Hugues Talbot	Professeur ESIEE	départ en avril 2020
Gül Varol	Chargée de recherche ENPC	arrivée en juin 2022
Chaohui Wang	Maitre de conférences	

L'équipe a eu 90 doctorants pendant la période, soit de nombreux doctorants.

### 3-2.1.1 Les thématiques scientifiques et leurs enjeux

L'équipe A3SI s'intéresse aux outils mathématiques utilisés en traitement du signal, des images, des données, et en Apprentissage Machine. Une des caractéristiques fortes de l'équipe est son grand nombre d'interactions dans des domaines d'applications très divers. Les thématiques scientifiques de l'équipe sont diverses et peuvent être grossièrement classées en six catégories :

- Théorie et algorithmes des structures discrètes ;
- Théorie du deep learning ;
- Vision par ordinateur ;
- Optimisation ;
- Traitement de grands volumes de données, et adéquation Algorithme-Architecture ;
- Interactions et applications.

**Théorie et algorithmes des structures discrètes** Un des thèmes historiques de l'équipe A3SI est l'analyse et la manipulation des données discrètes et des images numériques, en s'appuyant sur des aspects géométriques, topologiques, et arithmétiques de leur contenu. Ce domaine de recherche est appelé la géométrie et topologie discrète. En raison de la nature discrète de l'espace de données, il existe des aspects combinatoires et arithmétiques dans les problèmes géométriques et topologiques. L'objectif est d'étudier de telles structures discrètes, qui permettent démontrer des propriétés intéressantes et proposer des algorithmes efficaces.

#### **A – Topologie discrète, bien-composée, et analyse topologique de données.**

Poursuivant une étude visant à établir une approche axiomatique à la topologie combinatoire, G. Bertrand a introduit deux nouvelles classes de complexes simpliciaux, s'inscrivant dans le cadre des complétions<sup>6</sup>. Ces classes sont des extensions de la classe des *complexes qui sont collapsables* au sens de Whitehead :

- une classe basée sur les opérations de perforation et de collapse [56],
- une classe basée sur une simple propriété ensembliste inductive [57].

La théorie de Morse discrète et la persistance homologique sont des outils théoriques basés sur la topologie combinatoire, et permettant le traitement topologique de données. Il existe des liens entre ces approches et la morphologie mathématique, un des thèmes historiques de l'équipe A3SI. L. Najman a démontré une équivalence entre une classe de filtration issue de la morphologie mathématique, la dynamique et la persistance homologique [90, 88, 94]. G. Bertrand et L. Najman ont établi un lien entre la ligne de partage des eaux (LPE, un outil de clustering issu de la morphologie mathématique) sur une pseudo-variété et la *théorie de Morse discrète*. En particulier, ils ont montré qu'une fonction de Morse discrète définie sur un tel objet conduit à une et une seule LPE ; cette LPE pouvant être obtenue par une séquence de collapsés [86, 59].

Du fait de la numérisation, les signaux discrets usuels présentent généralement des paradoxes topologiques, comme les paradoxes de connectivité de Rosenfeld. Latecki a proposé une nouvelle classe d'images, dites images bien composées, sans problème topologique. Des travaux pilotés par L. Najman ont proposé différentes méthodes pour produire des signaux bien composés en dimension quelconque [91, 89, 93, 92]. Il a également co-écrit un état de l'art du bien composé [87], résumant ses différents saveurs, ainsi que les différents sujets liés.

#### **B - Traitement hiérarchique de données**

La notion de *hiérarchie* est l'un des concepts importants lors de la segmentation multi-échelle de données et d'images. Par exemple, une segmentation hiérarchique doit fournir un ensemble de segmentations à différents niveaux de détail dans lequel les segmentations à des niveaux plus fins sont imbriquées dans celles à des niveaux plus grossiers. Les hiérarchies de partitions sont généralement représentées par des dendrogrammes. Elles peuvent également être représentées par des cartes de saillance ou des arbres couvrants de poids minimum ; les liens entre ces trois représentations ont été étudiés [153] par J. Cousty, Y. Kenmochi et L. Najman. En particulier, les hiérarchies de lignes de partages des eaux, qui correspondent à un problème d'optimisation combinatoire, ont été caractérisées [413], dénombrées [410] et transformées [411, 412], dans une série de travaux encadrés par J. Cousty, B. Perret et L. Najman, menant à des algorithmes efficaces. Mentionnons également le filtrage [370] de hiérarchies, outil très utile en pratique pour éliminer d'une hiérarchie les données les moins importantes pour le problème considéré.

Voir le Portfolio pour plus de détail.

La bibliothèque C++/Python, Higr — Hierarchical Graph Analysis — est également disponible pour des analyses efficaces de graphes creux, avec un accent particulier sur les méthodes hiérarchiques capables de gérer une grande quantité de données, telles que les images (B. Perret, G. Chierchia, J. Cousty, Y. Kenmochi, L. Najman) [368]. Voir le Portfolio.

#### **C - Géométrie discrète et algébrique**

Dans de nombreuses applications de l'imagerie numérique, des transformations géométriques, telles que les translations, les rotations, les transformations affines, les difféomorphismes et les transformations conformes, sont souvent appliquées aux images tout en souhaitant préserver certains éléments géométriques et topologiques. Bien qu'il existe diverses techniques pour de telles transformations d'images numériques, aucune d'entre elles ne s'abstrait de processus intermédiaires d'interpolation et de discrétisation qui dégradent généralement la qualité géométrique et topologique des images.

Y. Kenmochi a exploré les concepts et outils mathématiques pour étudier la qualité géométrique [351, 349, 352, 350], la préservation topologique [366, 367], la convexité (avec L. Tarsissi) [439, 440, 441], et la bijection [376, 99]. De nombreuses questions restent ouvertes, en particulier en trois dimensions et en dimensions supérieures [366].

V. Nozick a exploré les *algèbres géométriques*, des outils mathématiques puissants et intuitifs permettant de créer, manipuler et intersecter des objets géométriques. Il a notamment obtenu :

6. Gilles Bertrand. *Completions and simplicial complexes*. Discrete Geometry for Computer Imagery, Apr 2011, Nancy, France. pp.129-140, [hal-00834218](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00834218)

- une formulation d'une méthode de calcul récursive du produit extérieur, intérieur et du produit géométrique beaucoup moins gourmand que les implémentations standards [100] ;
- des implémentations récursives. Ces implémentations sont les premières à pouvoir travailler sur des algèbres géométriques en plus grandes dimensions (dimension 15, quand la limite était de 7). V. Nozick a en particulier proposé une algèbre permettant de travailler sur les surfaces quadriques basée sur  $\mathbb{R}^{9,6}$  [101] ;
- en collaboration avec V. Biri, une reformulation de problèmes géométriques du point de vue des faisceaux, en particulier les faisceaux de coniques. [138] (best paper award, ENGAGE 2023).

Les algorithmes sont implémentés, en open-source, dans le générateur de bibliothèque Garamon [100], voir le Portfolio.

**Théorie du deep learning** Le deep learning n'est aujourd'hui plus à présenter. Le domaine est en pleine expansion, et fait les titres des journaux grand public. L'équipe A3SI prend part à ce développement, en faisant progresser la théorie à plusieurs niveaux. Nous présentons ci-après des résultats pour apprentissage auto-supervisé, pour la co-opération humains/machines, pour la combinaison apprentissage machine et morphologie mathématique, et pour la robustesse des réseaux neuronaux.

**A - Apprentissage auto-supervisé** – L'apprentissage auto-supervisé ("self-supervised learning" en anglais) (SSL) est une méthode d'apprentissage automatique où le modèle apprend à partir d'échantillons de données non annotées. C'est un domaine en expansion très rapide, et de nombreuses approches sont proposées à chaque conférence. Des travaux co-encadrés par L. Najman et Y. LeCun (NYU/Meta) ont montré [230, Outstanding Paper Honorable Mention at ICLR 2023] que les méthodes classiques, dites *examples-constratives* (comme SimCLR) et *variable-constratives* (comme VICReg) sont en fait duales.

Une étude [229], co-supervisée par L. Najman et Y. LeCun, propose un critère simple, non supervisé, qui est révélateur de la qualité des représentations des modèles auto-supervisés par intégration conjointe (JE-SSL) : leur rang effectif. Bien que simple et conviviale en termes de calcul, cette méthode – baptisée RankMe – permet d'évaluer les performances des représentations, même sur différents ensembles de données en aval, sans nécessiter d'étiquettes. Un autre avantage de RankMe est qu'il n'a aucune formation ni hyper-paramètres à régler.

Des progrès récents ont été réalisés vers l'apprentissage de représentations *invariantes* ou *équivariantes* par apprentissage auto-supervisé. Un travail co-encadré par L. Najman et Y. LeCun [232] a pour objectif de combler le fossé entre les deux afin d'apprendre des représentations plus diverses et adaptées à un large éventail de tâches. Pour cela, un ensemble de données appelé 3DIEBench, a été introduit. Il est composé de rendus de modèles 3D sur 55 classes et de plus de 2,5 millions d'images, et permet un contrôle total sur les transformations appliquées aux objets. Le travail a montré que l'on peut apprendre des représentations plus riches sans supervision dans des scénarios plus complexes, et ainsi obtenir des gains de performance significatifs par rapport aux méthodes existantes sur les tâches liées à l'équivariance, tant d'un point de vue qualitatif que quantitatif.

Les réseaux antagonistes génératifs (en anglais, GAN) sont une forme populaire d'apprentissage auto-supervisé. En étudiant l'espace latent de ces réseaux, D. Picard a démontré [442] que la gaussienne sur laquelle on échantillonne pour générer une image se structure en régions séparées linéairement correspondant aux différents modes (classes) de l'ensemble d'entraînement. Il montre que c'est une structure qui maximise la qualité des images produites. Ce résultat peut servir pour améliorer la qualité et la vitesse de convergence des GANs. Ce résultat confirme une observation faite empiriquement dans [183], où le générateur de personnes segmentait naturellement l'espace latent entre les différentes parties du corps humain.

**B - Aider les experts humains** – Plutôt que de remplacer les interprétations humaines par des prédictions issues d'apprentissage-machine, une autre voie est d'assister les experts pour identifier et analyser les motifs.

Dans ce but, M. Aubry développe le concept de *structure visuelle*. En partant d'images sans annotation, le but est d'identifier automatiquement des motifs cohérents, et de modéliser leurs variations et évolutions. Leurs caractéristiques clés doivent être leur interprétabilité, en termes de correspondance, de déformations ou de propriétés des images observées, et leur capacité à intégrer des connaissances préalables sur les données et les retours d'experts. Deux approches complémentaires pour définir et identifier formellement des structures visuelles ont été proposées : l'une basée sur l'analyse de correspondances, l'autre sur l'apprentissage de modèles d'images interprétables.

La première approche, basée sur l'analyse de correspondances, a été explorée dans des travaux visant la récupération de motifs répétés dans les collections d'œuvres d'art [427, 426] ou de documents historiques [425, 279, 24]. La seconde approche, l'apprentissage de modèles d'image repose sur l'idée de revisiter les méthodes classiques de clustering en utilisant des outils d'apprentissage profond [340]. La méthode associe chaque

image à un cluster représenté par une image prototype, offrant des résultats interprétables. Cette approche a été étendue à l'analyse de formes 3D [338, 298, 299], du son [297] et à la découverte d'objets dans les images [341, 339, 456].

Une autre direction de recherche est l'aide à l'exploitation par des opérateurs humains de l'information des caractéristiques obtenues par deep learning. Malgré les progrès des méthodes d'annotation interactive d'images, annoter les pixels avec une grande qualité reste une tâche fastidieuse. Des travaux pilotés par L. Najman [98] proposent d'annoter simultanément des segments à partir de plusieurs images, guidés par une projection dans l'espace des caractéristiques. Cette méthode obtient des résultats compétitifs avec les meilleures méthodes dans les ensembles de données de segmentation (en particulier sémantique), tout en étant extrêmement plus rapide. Cette contribution ouvre une nouvelle voie pour l'annotation interactive d'images, compatible avec les méthodes existantes.

**C - Combinaison Apprentissage Machine et Morphologie Mathématique** – La morphologie mathématique est un des domaines historiques de l'équipe A3SI. Savoir comme combiner ce domaine avec les avancées récentes en machine learning, et notamment avec les réseaux profonds, est donc d'un grand intérêt.

Une méthodologie pour l'optimisation continue de distance ultramétrique (équivalent à une représentation hiérarchique) a été développée par G. Chierchia et B. Perret [135, 136]. Cette méthode peut s'intégrer dans les réseaux de neurones sous la forme d'une couche ultramétrique, transformant, de manière différentiable, une fonction de dissimilarité en une distance ultramétrique. Une méthodologie similaire, développée par B. Perret et J. Cousty, permet de définir des fonctions de coût topologiques utilisables pour l'apprentissage de réseaux de neurones [369]. Les applications actuelles sont pour le clustering hiérarchique et la segmentation hiérarchique d'images [288].

D'autres travaux, pilotés par L. Najman, ont étudié comment utiliser l'outil principal de la morphologie mathématique pour la segmentation d'image, la ligne de partage des eaux, comme un outil de classification ou de clustering [121]. L'utilisation de cet outil comme une couche de réseaux de neurones a permis d'obtenir l'état de l'art pour la classification d'image hyperspectrale, tant en mode supervisé que semi-supervisé [122].

**D - Robustesse du deep learning** – E. Dokladalova a dirigé des travaux proposant une nouvelle organisation d'un réseau d'apprentissage profond doté d'invariance par rotation permettant la prédiction de la classe et prédiction non supervisée de la rotation. Le réseau préserve également l'invariance de translation pour les images pivotées. Les filtres proposés appris et les activations associées servent à capturer les propriétés géométriques internes de l'exemple. Ces propriétés représentent les relations spatiales et angulaires mutuelles entre les bords de l'exemple d'entrée. L'orientation globale est supprimée et l'exemple peut être représenté dans une orientation arbitraire. Les résultats dépassent l'état de l'art avec un seul filtre de base et un modèle beaucoup plus petit [400, 398, 399, 397].

Elle a également proposé une nouvelle méthodologie de caractérisation de l'impact des annotations inexactes dans le processus d'apprentissage des réseaux de neurones d'apprentissage profonds. Un nouvel ensemble de données synthétiques, Syncrack a été développé pour mesurer quantitativement l'impact d'annotations inexactes. Les travaux ont montré que les approches de correction traditionnellement utilisées dans la classification faiblement supervisée apportent une amélioration significative en ce qui concerne les annotations inexactes [388].

**Vision par ordinateur** – La vision par ordinateur est une branche de l'intelligence artificielle dont le principal but est de permettre à une machine d'analyser et de traiter une ou plusieurs images ou vidéos prises par un système d'acquisition. L'équipe A3SI traite un large éventail des nombreux sous-domaines de la vision par ordinateur.

Pour la *compréhension de scènes 3D*, V. Lepetit développe des méthodes pour récupérer les positions en 3D et les modèles en 3D des objets et de la disposition des murs présents dans les images [262, 8, 383, 436, 466]. La dernière itération de l'algorithme combine la recherche d'arbre et la descente de gradient ; elle a été utilisée pour produire des annotations de haute qualité pour l'ensemble de données ScanNet mises à disposition de la communauté.

Pour la *localisation de caméra en 6D*, V. Lepetit a développé une méthode qui met en correspondance une image d'entrée avec une base de données d'images enregistrées, permettant de récupérer la position et l'orientation de la caméra qui a capturé l'image d'entrée. Des améliorations progressives de l'approche prennent en compte des conditions plus difficiles (illumination, occlusions, structures répétitives, etc.) [234, 235, 236].

Pour l'*estimation de la pose en 6D d'objet*, V. Lepetit a développé plusieurs méthodes pour estimer la translation et l'orientation des instances d'objet visibles dans les images en tenant compte de divers défis rencontrés dans des conditions réelles [375, 357, 355, 356]. La dernière méthode est capable d'estimer une pose en 6D précise à partir d'une seule image de l'objet cible en référence.

V. Lepetit et P. Monasse étudient l'*exploration de scène pour la reconstruction 3D* à partir d'images.

En particulier, ils ont développé une méthode capable d'évaluer efficacement où déplacer une caméra pour améliorer une reconstruction même dans des environnements vastes et complexes [251, 252].

En vision 3D, les problèmes de régression en présence de bruit et données aberrantes sont typiquement traités par la méthodologie RANSAC, avec au moins une centaine de variantes. Les plus intéressantes sont celles reposant sur un critère statistique pour estimer simultanément le seuil lié au bruit. P. Monasse et V. Nozick ont mené une analyse fine, et implémenté un tel algorithme [391]. Ce travail a été enrichi par une méthodologie pour construire de façon exacte des vérités terrain dans les problèmes issus de la vision 3D et banc d'essai quantitatif avec précision et rappel des algorithmes RANSAC adaptatifs. Enfin, un banc d'essai plus riche, permettant le calcul de pose à partir de correspondances 2D-3D, a été développé [392].

En utilisant du *Deep 3D*, P. Monasse a amélioré plusieurs étapes de la *chaîne stéréo multi-vues* : appariement de points entre images [161] ; stéréo multi-vues "in the wild" en auto-supervisé [162], grâce à 3 ingrédients cruciaux : super-résolution des sorties, agrégation des coûts soft-min dans le volume de coût, fonction de perte simple ; stéréo multi-vues NERF [163], méthode à l'état de l'art lors de parution.

Pour le *SLAM*, *Simultaneous Localization And Mapping*, en français reconstruction de la trajectoire et de la géométrie 3D de la scène à partir de la vidéo issue d'une caméra mobile, P. Monasse et E. Dokladalova ont dirigé des travaux proposant une méthode hybride à coût de calcul identique, qui permet de traiter des vidéos qui font échouer toutes les méthodes existantes [44].

Les *occlusions entre objets* constituent un obstacle significatif pour aborder la compréhension de scènes 3D de manière rigoureuse et efficace. Elles sont introduites par le processus de projection 3D-vers-2D lors de la formation de l'image. Dans [379], C. Wang propose une nouvelle méthode pour l'estimation des relations d'occlusion au niveau des pixels, indépendante de la tâche, à partir d'images uniques. Cette méthode est complétée par une nouvelle approche de raffinement de la carte de profondeur, qui améliore systématiquement les performances. Il s'agit de l'un des premiers travaux qui exploitent les frontières d'occlusion orientées pour la compréhension de scène. Une définition formelle des *frontières d'occlusion* est proposée dans [458], en même temps que deux nouvelles approches pour détecter les frontières d'occlusion dans les séquences vidéo. Par ailleurs, dans un papier fondateur [217], C. Wang propose, en discrétisant la profondeur, une nouvelle manière d'estimer la profondeur monoculaire, comme un problème de régression ordinaire.

R. Marlet a abordé de nombreux problèmes de vision par ordinateur, en utilisant l'apprentissage profond : reconstruction de surface, maillées ou implicites, par apprentissage [438] ; exploitation de la géométrie et de la multi-modalité pour la construction de caractéristiques auto-supervisées dans des nuages de points 3D [415, 81] ; exploitation de caractéristiques auto-supervisées pour la découverte d'objet non supervisée [431] ; estimation de pose peu supervisée et sur des classes de données inconnues [460, 466] ; calcul de flot entre nuages de points [378].

G. Varol se concentre sur des applications de la vision et du langage, où l'aspect vision implique des données visuelles dynamiques, sous forme de (a) mouvements humains, (b) vidéos, ou (c) langue des signes. Ces orientations de recherche sont devenues influentes dans le domaine de la vision par ordinateur. Par exemple, les publications pionnières [372, 373] sur la synthèse de mouvements conditionnée par l'action et par le texte ont été à l'origine d'un grand nombre de travaux. L'article [30] a été le premier à effectuer un apprentissage de la représentation vidéo de bout en bout pour la recherche vidéo. Enfin, les travaux sur la langue des signes [455, 454, 386], sont les premiers à traiter de très grands vocabulaires. Voir le Portfolio pour plus de détail.

Mentionnons également les travaux de L. Landrieu, qui a rejoint l'équipe récemment, pour la segmentation sémantique de grands nuages de points 3D [393].

**Optimisation** L'optimisation est une branche des mathématiques cherchant à modéliser, à analyser et à résoudre analytiquement ou numériquement les problèmes qui consistent à minimiser ou maximiser une fonction sur un ensemble. Parmi les nombreuses thématiques de ce sujet, l'équipe A3SI aborde plus particulièrement la programmation par contraintes, et l'optimisation sous contraintes implicites.

B. Neveu a continué l'étude de la programmation par contraintes avec variables à domaines continus, en intégrant les résultats dans la bibliothèque logicielle IBEX<sup>7</sup> qui utilise des calculs par intervalles, dans le but d'obtenir des calculs garantis.

- Dans le domaine de l'optimisation globale sous contraintes non convexe, le principal algorithme de résolution est basé sur le principe de séparation-évaluation (Branch & Bound). Il construit un arbre de recherche et un point clé est d'avoir à chaque nœud une estimation d'un minorant (dans le cas d'une minimisation) de la solution. Pour cela, il existe diverses méthodes de relaxations linéaires ou convexes. B. Neveu a particulièrement étudié les méthodes de relaxation quadratique convexe [192, 193].

7. <https://github.com/ibex-team/ibex-lib>

- Dans le domaine des systèmes de contraintes manipulant des équations différentielles, B. Neveu a participé au développement de méthodes de résolution pour les problèmes de satisfaction de contraintes différentiels algébriques (DACSP) [401] qui ont abouti à la bibliothèque logicielle CODAC<sup>8</sup> qui utilise Ibex.
- Il a également étudié les tubes de capture garantis pour des mobiles soumis à des équations différentielles avec contraintes, en utilisant des méthodes qui aboutissent à des résultats garantis grâce à l'utilisation des calculs par intervalles [40].

L'axe principal des recherches de G. Chierchia, en partie en collaboration avec R. Negrel (A3SI) et J.-F. Bercher (MMSID), s'est développé autour de l'optimisation sous contrainte implicite et ses applications. La nouveauté de l'approche consiste à reformuler un problème d'optimisation de façon à ce qu'une contrainte soit remplacée par une opération équivalente, qui s'ajoute directement au critère à optimiser. Pour les contraintes étudiées, l'opération introduite est différentiable, permettant ainsi la conception d'algorithmes flexibles et efficaces qui peuvent prendre en charge l'apprentissage de réseaux de neurones. Cela représente une rupture par rapport aux méthodes existantes, lesquelles gèrent usuellement la contrainte en alternant un pas (implicite) de (sous-)gradient avec une étape de projection. Voici un résumé des applications.

- *Plongement et partitionnement de graphes*. [188, 189] Développement d'un algorithme permettant d'entraîner un réseau de neurones de manière non supervisée, afin de plonger un graphe dans un espace euclidien à faible dimension qui convient au partitionnement de ses nœuds. La nouveauté de l'approche porte sur la formulation du problème par contrainte implicite.
- *Alignement de graphes*. [310, 311, 312] Développement de plusieurs algorithmes permettant l'alignement de deux graphes, en utilisant la métrique de Wasserstein issue du transport optimal. La nouveauté de l'approche porte sur la formulation du problème par contrainte implicite dans un cadre stochastique de type Bayésien.
- *Apprentissage de représentations*. [256, 254, 257, 306, 328, 330, 329, 307, 433, 255, 432] Développement de plusieurs algorithmes permettant l'apprentissage d'un réseau de neurones de manière supervisée ou non supervisée, afin de plonger des données dans un espace euclidien à faible dimension qui convient à une tâche ultérieure de classification ou clustering. La nouveauté de l'approche porte sur la formulation de nouveaux critères d'apprentissage qui prennent en compte les caractéristiques des données, ainsi que le contexte offline, online et continue de l'apprentissage.

L. Najman continue l'exploration du cadre d'optimisation fondé sur la Power-Watershed<sup>9</sup>. Le cadre a été étendu pour le clustering spectral [123], le filtrage par plus court chemins [159], ainsi que pour le partitionnement de graphe isopérimétrique [158]. Un état de l'art [160], contenant les travaux d'autres équipes sur le sujet, a été rédigé.

**Traitement de grand volume de données, et adéquation Algorithme-Architecture** La taille des données à traiter croît exponentiellement, et il est plus que jamais nécessaire, soit de pouvoir traiter ces données en temps réel, soit de pouvoir traiter des données qui ne tiennent pas en mémoire.

T. Grandpierre et E. Dokladalova développent une méthodologie qui a pour but d'aider les concepteurs d'applications temps réel à les implanter sur des architectures matérielles multicomposants hétérogènes : architectures multicœurs, multiDSP, FPGA, GPU. Les travaux abordent actuellement les architectures flot de données à gros grains (SPS-CGRA, Software Programmable Streaming Coarse-Grained Reconfigurable Architectures) [37, 35, 36].

B. Perret, J. Cousty, et L. Buzer développent une méthodologie et des algorithmes pour le calcul et l'analyse *out-of-core* de représentations hiérarchiques sur de très grandes images [154, 291]. L'objectif ici est de pouvoir traiter des données potentiellement plus grandes que la mémoire disponible sur la station de travail tout en conservant des propriétés d'optimalité globale.

**Interactions et applications** Les travaux de l'équipe A3SI se prêtent particulièrement bien à des applications. Ils offrent donc un accès à des interactions riches avec d'autres domaines, comme la médecine, l'astronomie, l'histoire, ou encore le traitement des matériaux. Nous proposons ci-après un aperçu de ces interactions.

**A - Traitement de données biologiques et médicales** – Historiquement, l'équipe A3SI a eu de nombreuses collaborations dans le domaine biomédicales, que ce soit du côté public ou industriel.

8. <https://github.com/codac-team/codac>

9. Laurent Najman. *Extending the PowerWatershed framework thanks to  $\Gamma$ -convergence*. SIAM Journal on Imaging Sciences, 2017, 10 (4), pp.2275-2292. 10.1137/17M1118580, [hal-01428875](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01428875).  
Camille Couprie, Leo Grady, Laurent Najman, Hugues Talbot. *Power Watersheds : A Unifying Graph Based Optimization Framework*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33 (7), pp.1384-1399. [hal-00622510](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00622510)

Des travaux pilotés par L. Najman [231, Ian Lawson Van Toch Memorial Award for Outstanding Student Paper at ISMB 2022] ont proposé une approche pour identifier une structure arborescente significative à partir de *données de séquençage d'ARN de cellules uniques (scRNA-seq) de haute dimension*, et visualiser cette structure en basse dimension.

Dans le cadre de la segmentation automatique des *tumeurs cérébrales* à partir d'images IRM de patients atteints de tumeurs GBM (Glioblastome multiforme ou glioblastome), M. Akil et R. Kachouri ont proposé deux méthodes "End-to-End" [45, 47, 347, 46].

M. Akil et R. Kachouri ont également étudié le dépistage et l'aide au diagnostic précoces de *pathologies oculaires* à partir des images de fond de l'œil acquises par des *caméras rétiniennes portables*. Dans ce cadre, plusieurs méthodes ont été proposées pour le dépistage précoce de glaucome à partir des images de la rétine [274, 9, 10, 78, 342, 79, 345, 346, 308].

Y. Kenmochi a abordé le problème de la *modélisation des vaisseaux sanguins* [405] en intégrant des a-priori topologiques, tels que des structures arborescentes, basés sur les fonctions de perte topologiques, où l'outil clé est l'homologie persistante appliquée aux images numériques.

L. Najman et H. Talbot ont proposé des méthodes fondées sur la morphologie mathématique pour détecter des *cancers à partir d'imagerie PET/CT* [249, 250], et pour *filtrer les vaisseaux sanguins en 2D et 3D* [326, 282].

Du côté industriel, mentionnons d'une part des études pilotées par H. Talbot, J. Cousty, L. Buzer, et financées par *L'Oréal*, pour le traitement de plusieurs types de poissons utilisés pour les études cliniques [294, 293, 233]; et, d'autre part des études pilotées par H. Talbot, B. Perret et M. Couprie, et financées par *Clarins*, pour le traitement de la peau [394, 395, 396].

**B - Médecine personnalisée - Perfusion cardiaque** – Des travaux pilotés par H. Talbot et L. Najman, en partenariat avec la société Heartflow, visent à construire un modèle de la perfusion cardiaque, adapté à chaque patient [269, 365, 409, 282]. Voir le Portfolio pour plus de détail.

**C - Deepfakes** – V. Nozick, dans un papier fondateur, a été un des premiers chercheurs à avoir proposé des méthodes de détection de deepfakes [6]. Voir le Portfolio pour plus de détail.

**D - Impression 3D du béton** – E. Dokladalova a dirigé des travaux proposant une méthode de détection de défauts automatisée, basée sur le Deep Learning (DL) pour le processus d'*impression 3D du béton*. Cette méthode est la première à permettre la caractérisation géométrique et qualitative des couches imprimées. Elle permet de détecter et de localiser les anomalies, décrivant ainsi implicitement des propriétés fortement liées aux caractéristiques rhéologiques du béton [388, 389, 390].

**E - Avionique** – T. Grandpierre étudie des problèmes de temps réel strict. Les travaux [207] visent à construire un ordonnancement optimisé de machines virtuelles temps réel dans un contexte avionique certifié. Il s'agit de développer un drone volant autonome capable de détecter des anomalies sur des infrastructures d'importances vitales (conduite d'eau forcée pour EDF, pylônes électriques pour Enedis et clôture aéroportuaire pour l'aérodrome de Caen).

**F - Autres Interactions et Applications** – D'autres domaines d'applications sont également étudiés dans l'équipe. Mentionnons en particulier les interactions avec les historiens (voir l'ERC Discover dans le Portfolio), l'imagerie satellitaire, aérienne et GIS (M. Aubry, L. Landrieu, L. Najman) [228, 122, 435, 299], ou encore le traitement d'images astronomiques (H. Talbot, L. Najman, G. Chierchia et B. Perret) [353, 354].

### 3-2.1.2 Animation scientifique de l'équipe

**Animation de la recherche.** Nous décrivons ci-après les différentes actions d'animation menées par les membres de l'équipe.

- M. Aubry a été Area chair pour CVPR (2018, 2020, 2023), ICCV (2023), NeurIPS (2023), MVA (2021), BMVC (2021, 2023), ACCV (2021, 2022), award comitee pour CVPR2022. Il a été Éditeur pour la revue Computer Vision and Image Understanding (CVIU) de 2021 à 2023.
- J. Cousty a été co-organisateur de Discrete Geometry for Computer Imagery 2019 à l'ESIEE, et co-éditeur du numéro spécial de JMIV sur Discrete Geometry for Computer Imagery DGMM (2020). Il est co-responsable du groupe de travail Géométrie Discrète et Morphologie Mathématique (GDMM) des GDR IM et IGRV.
- M. Couprie a été co-organisateur de Discrete Geometry for Computer Imagery 2019 à l'ESIEE, et co-éditeur du numéro spécial de JMIV sur Discrete Geometry for Computer Imagery DGMM (2020).
- E. Dokladalova a été co-éditrice invitée d'un numéro spécial de Energy Aware HPC Revisited : AI Concerns, Architectures and Optimization Strategies, section "Computer Science & Engineering".
- Y. Kenmochi est Éditrice pour la revue Pattern Recognition Letters depuis 2019 et a été co-organisatrice de Discrete Geometry for Computer Imagery 2019 à l'ESIEE, et co-éditrice du numéro spécial de JMIV sur Discrete Geometry for Computer Imagery DGMM (2020).

- L. Landrieu est co-chair of the ISPRS working group Temporal Geospatial Data Understanding, co-lead of the IEEE GRSS working group Image and Signal Processing, membre de l'Editorial Advisory Board of ISPRS Journal et membre du Reviewing Committee du journal Remote Sensing. Il a été program chair du ISPRS Congress 2022, co-organizer of the EarthVision CVPR Workshop (2021, 2022, 2023, 2024), et Area Chair pour ECCV24 et IGARSS 2024.
- V. Lepetit a été Program Chair pour le Congrès Reconnaissance des Formes, Image, Apprentissage et Perception (RFIAP) en 2021 et 2022, co-organisateur du International Workshop on Recovering 6D Object Pose at ICCV or ECCV en 2018, 2020, 2022 et 2023, et co-organisateur de l'International Workshop on Observing and Understanding Hands in Action at ICCV, ECCV, ou CVPR en 2018 et 2022. Il est aussi régulièrement Area Chair pour CVPR, ECCV, ICCV et NeurIPS. Il est éditeur pour la revue IEEE TPAMI.
- R. Marlet a été Logistic Chair pour ICCV 2023.
- P. Monasse a été Éditeur en Chef de la revue Image Processing OnLine (IPOL, 2020-2022). Il est Éditeur pour le Journal of Mathematical Imaging and Vision (depuis 2023).
- L. Najman a été Organization Chair pour ICCV 2023. Il est membre du steering committee de DGMM (Digital Geometry et Mathematical Morphology). De 2013 à 2019, il était membre nommé du Conseil Scientifique Local de l'UFR de Math-Info de l'université Paris-Descartes. Il est membre élu du Conseil d'Administration de l'AFRIF, branche française de l'IAPR. Il est Éditeur pour les revues Journal of Mathematical Imaging and Vision (JMIV, depuis 2023), International Journal of Computer Vision (IJCV, depuis 2019), Signal Processing Letters (SPL, 2016-2022), et Computer Vision and Image Understanding (CVIU, 2015-2023).
- B. Perret a été chair (2021-2022) du TC 18 de l'IAPR, et en est maintenant vice-chair (depuis 2023). Il a co-organisé l'International Symposium on Mathematical Morphology (ISMM) en 2019, et est membre du steering committee de DGMM (Digital Geometry et Mathematical Morphology).
- Gül Varol a été Area chair pour CVPR (2021, 2022, 2023, 2024), ICCV (2021, 2023), ECCV (2022), ACCV (2020), award committee pour ICCV 2023, et Diversity Chair pour ICCV 2023. Elle est Program Chair de ECCV 2024. Elle a co-organisé 9 workshops, et a donné 40 conférences invitées.

### Responsabilités Agences de financements

- E. Dokladalova a été rapporteuse pour le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG).
- V. Lepetit est rapporteur régulier pour le SNSF (Suisse) et la FNRS (Belgique).
- L. Najman a été rapporteur pour le COFECUB.
- B. Neveu a été rapporteur pour l'ANR.

**Encadrements de doctorants et de post-doctorants.** La liste des doctorants encadrés par les membres de l'équipe et qui ont effectué au moins une partie de leur doctorat au cours de la période d'évaluation, est disponible en annexe. Beaucoup ont été co-encadrés par des collègues extérieurs à l'UGE ou à l'ENPC.

### Collaborations scientifiques

#### *Collaborations Internationales*

- CEFIPRA - CSRP Proposal No. 68T05-F, porteur France L. Najman 2023-2026, projet de collaboration France-Inde avec le Birla Institute of Technology & Science, Pilani.
- CAPES-COFECUB 42067SF/ Ma 933/19, 2019-2024, porteur France : L. Najman, projet de collaboration France-Brésil impliquant à A3SI J. Cousty, Y. Kenmochi, B. Perret, en partenariats avec de nombreuses universités tant françaises que brésiliennes.
- Projet EGIDE PHC UTIQUÉ 2019-2021 - 41797ZK, porteur France : R. Kachouri - système intelligent mobile d'aide au dépistage de la dégénérescence maculaire liée à l'âge (SIMAD-DMLA), en partenariat avec la Faculté de Médecine de Monastir, Tunisie,
- projet EGIDE PHC MAGHREB 2023-2025 - 48672RG, porteur France : R. Kachouri - Système Intelligent Mobile d'Aide au Dépistage des Pathologies Rétiniennes (SIMAD-PR), porté par R. Kachouri, en partenariat avec la Faculté de Médecine de Monastir (FMM), Tunisie et l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, et la Faculté des sciences et Techniques (USMBA-FST) de Fès, Maroc.

### Collaborations internes à UGE / ENPC

- I-SITE TREMPLIN FUTURE. Porteur : Jean-François Caron, NAVIER, Ecole des Ponts. R. Marlet, T. Grandpierre, E. Dokladolova. Digital Construction Site, le numérique pour la construction
- Urbarisklab : porteur LATTIS École des ponts, Valérie November. UrbaRiskLab (URL) est un projet qui vise à fédérer la recherche d'excellence au niveau francilien, national et international sur la thématique risque / crise en milieu urbain. Le maître-mot de la démarche scientifique d'UrbaRiskLab est l'interdisciplinarité. E. Dokladalova était membre du comex.
- Collaboration autour de la thèse de N. Michel, ANR APY, WP leader J.-F. Bercher, avec G. Chierchia et R. Negrel. Une collaboration entre MMSID et A3SI.

### 3-2.1.3 Ressources financières

Les ressources financières A3SI sur la période considérée sont décrites dans le tableau 5 :

Type	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ressources propres obtenues sur appels à projets régionaux et locaux (sommes issues de AAP Idex, I-site, CPER, collectivités territoriales, BQR, etc.)	21 k€		9 k€			
Ressources propres obtenues sur financements publics ou associatifs nationaux (sommes obtenues du PIA, de l'ANR, de la FRM, de l'INCa, des organismes de recherche, du réseau des MSH etc.)	270 k€	270 k€	483 k€	445 k€	257 k€	270 k€
Ressources propres obtenues sur appels à projets internationaux			5 k€	98 k€		2 642 k€
Ressources issues de la valorisation, du transfert et de la collaboration industrielle (sommes obtenues grâce à des contrats, des brevets, des activités de service, des prestations, etc.)	64 k€	139 k€	240 k€	160 k€	447 k€	362 k€
Total	355 k€	409 k€	737 k€	703 k€	704 k€	3 274 k€

Table 5 – Ressources financières A3SI

En excluant les ERC EXPLORER et DISCOVER décrites dans le portfolio, le type de financement public est décrit dans le tableau ci-après.

Type	Titre	Porteur	Années
H2020	Sundial	H. Talbot	2017-2021
ANR	ADDS	N. Mustafa	2019-2023
DIM Thérapie génique	Thèse	L. Najman	2019-2023
ANR JCJC	Ultralearn	B. Perret	2020-2024
H2020	Genomed4all	L. Najman	2020-2024
ANR JCJC	Corvis	G. Varol	2022-2028

En ce qui concerne le financement industriel, mentionnons : Thermo Fisher Scientific (J. Cousty) L'Oreal (J. Cousty) Heartflow (L. Najman), GE healthcare (L. Najman) Safran (L. Najman), Facebook (L. Najman) Meta (L. Najman) Safran (T. Grandpierre), IFPEN (L. Najman)

### 3-2.1.4 Responsabilités dans l'environnement recherche

Il s'agit ici des responsabilités au sein de l'université Gustave Eiffel, et de l'ENPC.

- V. Biri est vice-président Formation et Innovation Pédagogique de l'université Gustave Eiffel depuis 2021, poste qu'il occupait déjà à l'UMLV depuis 2016.
- L. Buzer est co-responsable de la Filière Informatique de l'ESIEE depuis 2022.
- J. Cousty est responsable du département Informatique et Télécommunication de ESIEE Paris depuis 2021, membre élu du conseil d'École ESIEE Paris. Il a été co-responsable de la filière Informatique ESIEE Paris jusqu'en 2022, et responsable de l'équipe A3SI jusqu'en 2022.
- G. Chierchia est co-responsable de la Filière Data Science et Intelligence Artificielle (DSIA) de l'ESIEE.
- E. Dokladalova est membre élue du Conseil Académique de l'université Gustave Eiffel depuis 2020. De 2019 à 2022, elle était membre du COMEX du projet TREMPIN I-SITE FUTURE URBARISKLAB, et responsable de l'animation du minilab Capteurs et Usages.
- T. Grandpierre est chargé du développement et des plateformes, ainsi que représentant INFRA, pour le département IT de l'ESIEE. Il est co-responsable de la Filière Cybersécurité des Systèmes d'Information de l'ESIEE.
- L. Najman est responsable de l'équipe A3SI depuis 2022, Chargé de la recherche auprès du département IT de l'ESIEE, et membre élu du Conseil d'Administration de l'université Gustave Eiffel depuis 2020. Jusqu'en 2020, il était co-directeur de l'Institut Supérieur des BioSciences (ISBS), une école d'ingénieurs en biosciences en partenariat entre la Faculté de Médecine de l'université de Créteil et ESIEE Paris.
- V. Nozick est membre de la commission permanente pour les recrutements d'EC du LIGM depuis 2022. Il est responsable du Master 2 science de l'image, et de la Filière Image, Multimédia, Audiovisuel et Communication (IMAC) de l'ESIEE.
- B. Perret est co-responsable de la Filière Informatique de l'ESIEE depuis 2022, et est membre de la commission d'évaluation de l'ESIEE.
- D. Picard est représentant de l'équipe A3SI à l'ENPC.

### 3-2.1.5 Prise en compte des recommandations du précédent rapport

**A – Recommandations concernant les produits et activités de la recherche –** *La production scientifique actuelle de l'équipe A3SI est de très haut niveau et l'équipe est encouragée à continuer. L'équipe doit veiller cependant à rendre plus homogènes les taux de publications entre les différents permanents.*

*L'équipe doit aussi veiller à réduire la durée des thèses qui est actuellement supérieure à trois ans et demi (44 mois en moyenne). La durée moyenne des thèses doit être ramenée au niveau des recommandations nationales.*

**Réponse –** L'équipe a maintenu la qualité et la quantité de ses productions scientifiques tout au long de la période considérée. Afin de rendre plus homogènes les taux de publications, l'équipe essaie de toujours faire collaborer un "ancien" et un "jeune" pour l'encadrement des thèses. La covid a eu un impact négatif sur la durée des thèses, ne permettant pas un retour total au niveau des recommandations nationales.

**B – Recommandations concernant l'organisation et la vie de l'équipe –** *Dans l'ensemble, l'équipe A3SI est toujours scindée en deux parties, elles-mêmes subdivisées autour des thèmes de ses leaders. L'équipe doit veiller à ne pas laisser des permanents de l'équipe sur le bord du chemin et essayer de travailler autour de sujets fédérateurs.*

*En particulier, l'intégration des nouveaux membres devrait se faire sans ajouter de nouveaux thèmes, mais, au contraire, en cimentant un ou des thèmes transversaux présents dans chacun des axes. Par exemple, les aspects classification et apprentissage doivent être clairement affichés afin de faire émerger une thématique transversale qui permettrait à de nombreux permanents de l'équipe de travailler ensemble et de créer de nouvelles collaborations.*

**Réponse –** Les thèmes de l'équipe ont évolué au cours de la période considérée, en prenant en compte les recommandations et en suivant l'évolution scientifique. La thématique apprentissage est maintenant une thématique transversale autour de laquelle de nombreux permanents travaillent.

Cependant, une certaine disparité de la production est toujours présente. S'il est possible d'inciter les individus à collaborer, il est impossible de les y forcer.

### C – Recommandations concernant les perspectives scientifiques à cinq ans et la faisabilité du projet

– *L'équipe A3SI est à un moment clé où un grand nombre de ses cadres sont sur le départ et où de nouveaux projets surviennent. La grande taille de l'équipe et sa structuration en deux parties ont été compensées par la présence de leaders forts dans chaque axe qui ont eu une grande part dans le succès scientifique indéniable de l'équipe.*

*Le futur est plus incertain, et sans remettre en cause les thèmes d'excellence développés durant cette période d'évaluation, l'équipe devrait envisager une restructuration, par exemple en constituant deux équipes plus homogènes, de manière à faire apparaître des thèmes fédérateurs et permettre aux nouveaux HDR de prendre toute leur place dans la nouvelle structure.*

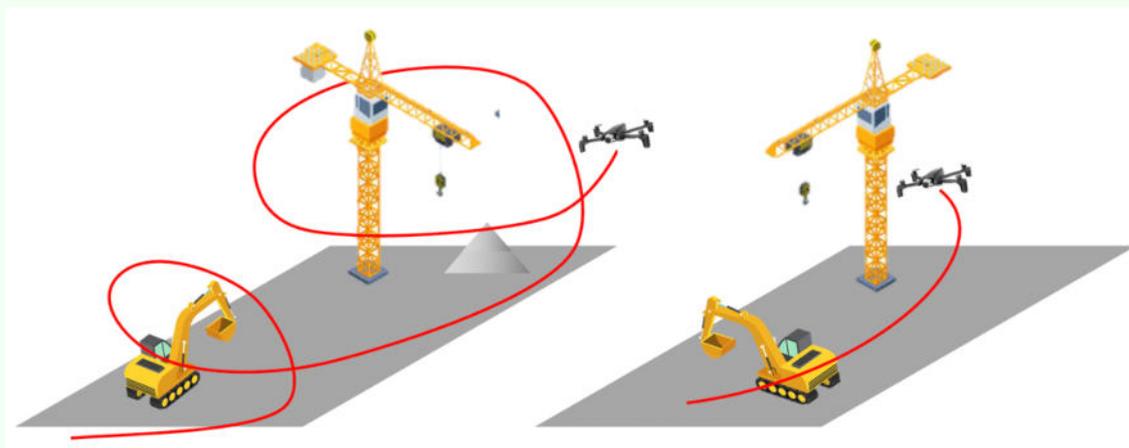
**Réponse** – L'équipe A3SI est composée de 23 enseignants-chercheurs et chercheurs : 3 UGE ex-UPEM, 8 UGE ex-ESIEE et 8 ENPC. Cette équipe est donc majoritairement constituée d'EC UGE ex-ESIEE et de CR ENPC ; sur les trois collègues UGE ex-UPEM de l'équipe A3SI, l'un est le vice-président enseignement UGE et un second bénéficie de la reconnaissance de la qualité de travailleur handicapé (RQTH) qui le maintient malheureusement assez souvent hors du laboratoire. La répartition des thèmes de recherche est constituée de deux pôles relativement indépendants et une restructuration en deux équipes pourrait sembler cohérente. Néanmoins, cette restructuration n'a pas été jugée pertinente par la direction du laboratoire. En effet, la scission de l'équipe A3SI selon les deux pôles conduirait à la création de deux équipes organisées par tutelles (UGE ex-ESIEE et ENPC) et par bâtiment (bâtiment ESIEE et bâtiment Coriolis). Plus impactant, cette scission de l'équipe A3SI conduirait à la création d'une équipe composée exclusivement d'EC (UGE ex-UPEM et UGE ex-ESIEE) et une autre composée exclusivement de C (ENPC). Une telle réorganisation ne nous a pas semblé opportune pour la cohérence et le maintien des équilibres au sein du laboratoire.

#### 3-2.1.6 Portfolio A3SI

Le Portfolio A3SI est composé par deux ERC, un projet ANR, un projet de médecine personnalisée, nos logiciels créés pendant la période, un article fondateur sur la détection de DeepFake, et enfin un travail théorique, celui sur les hiérarchies, qui impliquent plusieurs membres de l'équipe. Ce choix vise à mettre en avant non seulement la reconnaissance des membres de l'équipe au niveau international, mais aussi l'inscription des activités de recherche dans la société.

1. L'ERC Advanced Grant *Explorer* aborde les jumeaux numériques pour les scènes 3D ;
2. L'ERC Starting Grant *Discover* vise à aider les experts à identifier et à analyser des motifs ;
3. L'ANR CorVis vise à reconnaître la langue des signes à l'aide de la vision par ordinateur ;
4. Le projet de médecine personnalisée de simulation de la perfusion du myocarde permettra, à terme, aux médecins de mieux planifier la pose de stent ;
5. Les logiciels de l'équipe démontrent que nos travaux sont utilisés par de nombreuses équipes dans le monde ;
6. Un article fondateur sur la reconnaissance de DeepFake est un des premiers travaux qui aborde un problème de grande importance dans le monde dans lequel nous vivons tous aujourd'hui ;
7. Enfin, le travail sur les hiérarchies illustre les compétences de l'équipe pour le développement théorique.

## ERC Explorer – Exploration of Unknown Environments for Digital Twins



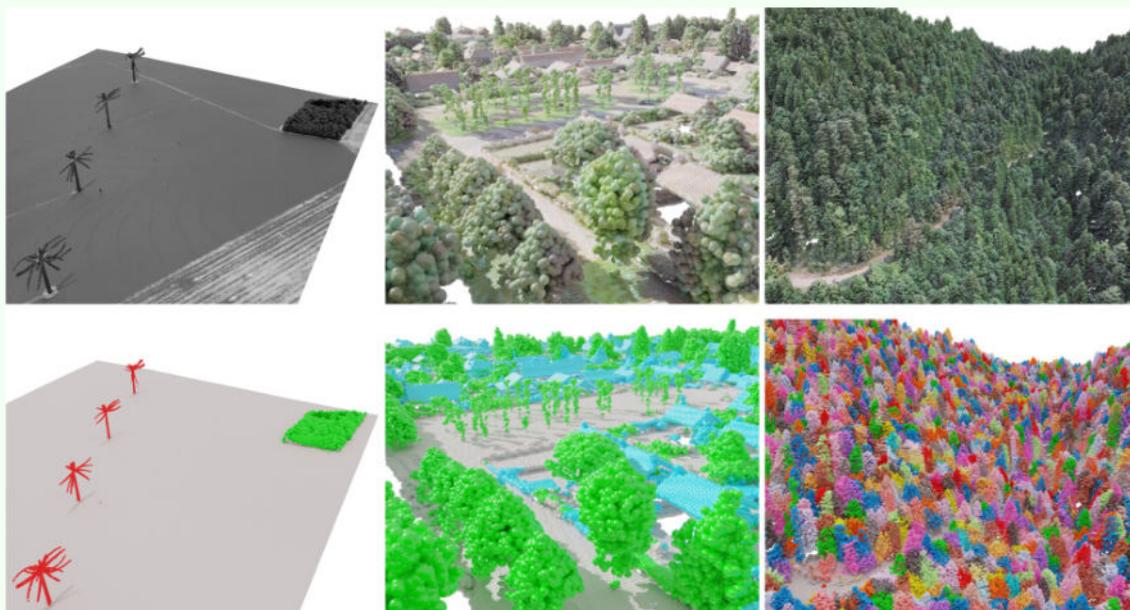
Les algorithmes développés dans le projet Explorer apprendront à reconnaître de nouveaux objets de façon autonome, pour mettre à jour un Jumeau Numérique efficacement.

L'ERC Advanced Grant **Explorer** (Exploration of Unknown Environments for Digital Twins), portée par V. Lepetit, vise à développer des méthodes pour capturer et étiqueter automatiquement les données vidéo dans des *mondes ouverts*. Le but final est de faciliter grandement la création et la maintenance de Digital Twins (Jumeaux Numériques) : les Digital Twins sont des copies virtuelles en 3D de scènes complexes telles que des villes, des usines ou des chantiers de construction. Pas juste une reconstruction 3D, ils doivent capturer la sémantique de la scène, c'est-à-dire l'identité de chaque objet et la dynamique de la scène, c'est-à-dire la façon dont les objets se déplacent. Parce que les jumeaux numériques ont le potentiel d'être extrêmement utiles pour surveiller de grands sites complexes et planifier le développement de ces sites, leur marché prévisionnel est énorme, ils restent principalement un concept en raison des limitations importantes de la technologie actuelle. Nos méthodes guideront les systèmes autonomes tels que les plates-formes robotiques et les drones à travers des environnements complexes et inconnus afin de capturer des données visuelles pour créer et maintenir des jumeaux numériques. Ceci est extrêmement difficile, car ces systèmes rencontreront des objets sans aucune connaissance préalable à leur sujet et devront collecter suffisamment de données à leur sujet. À notre connaissance, cette capture active et automatique dans des environnements réels complexes constitue une nouvelle problématique. Il est cependant très important de le résoudre, car cela réduirait le besoin d'expertise humaine et de temps : actuellement, la capture de ces données est effectuée manuellement uniquement par les chercheurs et nécessite une solide compréhension de ce qu'exigent les algorithmes d'apprentissage. Pour aborder la complexité de ce problème, notre approche s'inspire des techniques de l'Intelligence Artificielle appliquées à l'exploration d'arbres de très grande taille. Cette approche nous permettra de réunir la partie perception et la partie planification du problème sous un même cadre d'optimisation, de le formaliser et de le résoudre efficacement. Pour évaluer nos développements, nous développons un simulateur de scènes complexes de sites de travail, que nous partagerons avec la communauté.

Plus d'information :

- Un [article](#) du CNRS.
- [Page web](#) du projet.

## ERC Discover – Discovering and analyzing visual structures



Un exemple [299] d'une méthode non supervisée pour analyser de grands scans 3D de scènes réelles en parties interprétables. L'objectif est de fournir un outil pratique pour analyser des scènes 3D avec des caractéristiques uniques dans le contexte de la cartographie et de la surveillance aériennes, sans avoir recours à des annotations spécifiques à une application particulière.

Le but de l'ERC starting grant **DISCOVER** (Discovering and analyzing visual structures), pilotée par M. Aubry, est de développer des approches pour aider les experts à identifier et à analyser des motifs. En effet, alors que le succès de l'apprentissage profond sur les données visuelles est indéniable, les applications sont souvent limitées au scénario d'apprentissage supervisé où l'algorithme tente d'inférer une étiquette pour une nouvelle image basée sur les annotations faites par des experts dans un jeu de données de référence. En revanche, nous prendrons en entrée des images sans aucune annotation, identifierons automatiquement des motifs cohérents et modéliserons leur variation et évolution, afin qu'un expert puisse les analyser plus facilement.

Le concept clé qu'il développera est celui des structures visuelles. Leurs caractéristiques clés seront leur interprétabilité, en termes de correspondances, déformations, ou propriétés des images observées, ainsi que leur capacité à incorporer des connaissances antérieures sur les données et les retours d'experts. Il explorera deux approches complémentaires pour définir et identifier formellement les structures visuelles : l'une basée sur l'analyse des correspondances, l'autre sur l'apprentissage de modèles d'images interprétables.

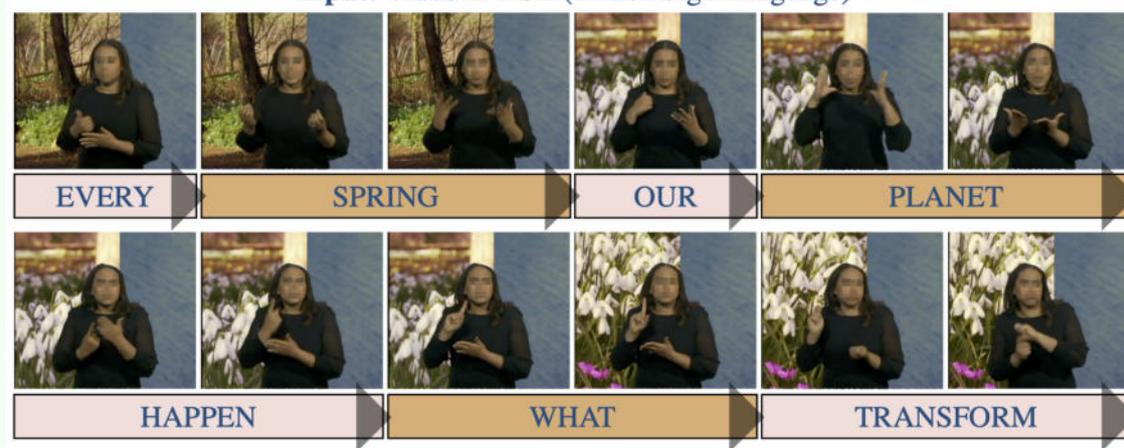
Nous développerons des structures visuelles dans deux domaines : les documents historiques et les images de la Terre. Par exemple, à partir de séries temporelles d'images multispectrales de la Terre, nous identifierons des types d'objets en mouvement, des zones avec différents types de végétation ou de constructions, et modéliserons l'évolution de leurs caractéristiques, qui peuvent correspondre à des changements dans leur activité ou leur cycle de vie. En fin de compte, les experts seront toujours nécessaires pour sélectionner des structures visuelles pertinentes et effectuer des analyses, ce qui nécessitera de travailler étroitement avec eux, de concevoir des fonctionnalités pertinentes dans nos algorithmes et des interfaces adaptées pour l'interaction.

Plus d'information :

- un [article](#) du CNRS
- une [vidéo](#)

## ANR CorVis – Reconnaissance de la langue des signes par vision par ordinateur

**Input: Video in BSL (British Sign Language)**



**Output: Translation in English “*Every Spring, our planet is transformed.*”**

Le projet CorVis (ANR JCJC), mené par G. Varol en collaboration avec l'université d'Oxford, vise à développer des techniques de traduction automatique de la langue des signes vers du texte, à partir d'une représentation vidéo. Le projet fait appel aux progrès récents de l'intelligence artificielle, pour apprendre à l'algorithme la correspondance entre signes et texte. Le « signe » étant compris avec la main, le visage et le torse; le « texte » étant entendu au sens de phrases complètes, avec un vocabulaire riche, non limité à un domaine.

L'équipe a noué un partenariat avec la BBC, qui lui fournit des milliers de vidéos en langue des signes, anglaise donc – un succès du projet pourrait ouvrir la voie à d'autres langues des signes –, afin de pouvoir entraîner l'algorithme grâce à des sous-titres synchronisés. Le projet s'articule ainsi autour de deux axes : la représentation visuelle d'entrée, ou comment incorporer une séquence vidéo continue; et la conception du modèle pour la sortie de texte, ou comment trouver une correspondance entre les langues des signes et parlées.

De nombreuses applications sont possibles. Les techniques développées dans le cadre du projet CorVis ont vocation à faciliter la communication entre sourds et entendants, dans les deux sens, mais aussi l'accès à l'apprentissage de la langue des signes. Elles pourraient également permettre aux personnes sourdes de disposer d'une interface pour interagir avec les outils activés par la parole.

Publications : [182, 337, 377, 455]

Plus d'information :

— [Page web](#) du projet.

## Médecine personnalisée – Simulation de la Perfusion du Myocarde

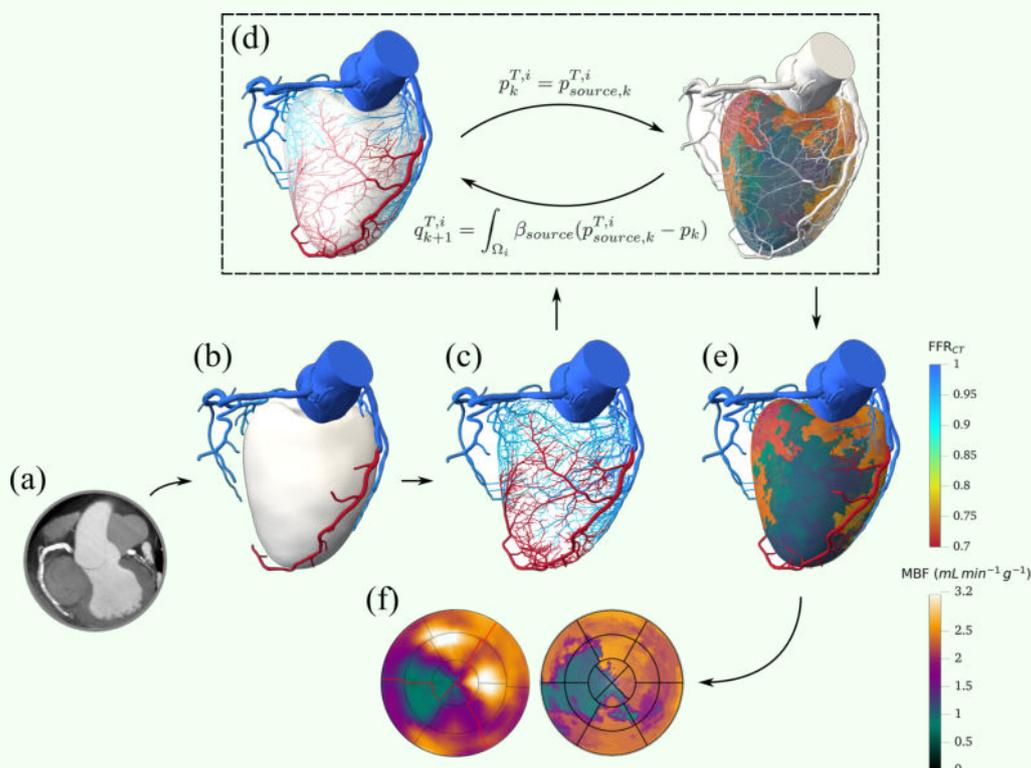


Illustration [365] du processus de modélisation, pour un patient atteint de maladie dans l'artère coronaire interventriculaire antérieure gauche. (a) Données d'imagerie CT. (b) Géométrie segmentée et analyse  $FFR_{CT}$ . (c) Résultats  $FFR_{CT}$  dans la vasculature segmentée et synthétique. (d) Illustration de la boucle de couplage, démontrant les quantités échangées entre le modèle coronaire (à gauche) et le modèle myocardique (à droite) à l'itération de couplage  $k$ . (e) Débit sanguin myocardique hyperémique pour le modèle couplé. (f) Comparaison des cartes de perfusion hyperémique simulées (à droite) et du PET  $[^{15}O]H_2O$  (à gauche).

Depuis 2014, un projet piloté par H. Talbot et L. Najman, en partenariat avec la société HeartFlow, vise à construire un modèle de la perfusion cardiaque, adapté à chaque patient. Le test cardiaque personnalisé non invasif  $FFR_{CT}$ , proposé par HeartFlow à partir d'imagerie CT, offre une visualisation des artères coronaires de chaque patient, permettant aux médecins de créer des plans de traitement plus efficaces pour leurs patients. Le challenge actuel est de compléter  $FFR_{CT}$ , par une simulation de la perfusion du myocarde, adaptée à chaque patient.

Pour cela, le défi est de combler le fossé entre le flux dans les artères (mesuré par  $FFR_{CT}$ ), et la microcirculation alimentant le myocarde, invisible à l'imagerie. Les modèles précédemment proposés sont descriptifs plutôt que prédictifs, et n'ont pas été appliqués à des données humaines. L'objectif est ici de développer un modèle multi-échelle, spécifique au patient, permettant la simulation du flux sanguin depuis les grandes artères coronaires jusqu'au tissu myocardique.

En 2021, pour la première fois, un modèle permettant la simulation du flux sanguin des artères coronaires épicaudales au myocarde du ventricule gauche, appliqué et validé sur des données humaines, a été publié [365]. Les défis pour amener ce modèle à la pratique clinique, restent immenses.

De par l'ampleur des objectifs de ce projet, l'équipe est naturellement pluridisciplinaire et internationale, impliquant des numériciens (notamment Irene Vignon-Clementel, INRIA Saclay), des médecins et des industriels (Heartflow).

Publications : [269, 365, 409, 282]

## Développement logiciel @ A3SI



Un exemple d'utilisation d'Higra : simplification d'images par une hiérarchie de ligne de partage des eaux.

L'équipe A3SI développe et met à disposition de nombreux outils de calculs, notamment des codes github open-source permettant de reproduire la plupart des articles produits par l'équipe. En plus de cela, l'équipe développe régulièrement des bibliothèques ou des logiciels à part entière, qui reposent sur son travail théorique. Dans la période 2018-2023, ces logiciels ont pour nom Higra et Garamon.

**Higra** [368] – Hierarchical Graph Analysis (Responsable : B. Perret) – est une bibliothèque C++/Python pour une analyse efficace des graphes peu denses, avec un accent particulier sur les méthodes hiérarchiques capables de traiter de grandes quantités de données. Les principaux aspects de l'analyse hiérarchique de graphes abordés dans Higra sont la construction de représentations hiérarchiques (clustering agglomératif, hiérarchies de morphologie mathématique, etc.), l'analyse et le traitement de telles représentations (filtrage, clustering, caractérisation, etc.), et leur évaluation. Higra vise un large public, des étudiants et praticiens souhaitant une bibliothèque accessible pour expérimenter rapidement, aux chercheurs développant de nouvelles méthodes pour l'analyse hiérarchique des données de graphe. Higra est une boîte à outils générique pour l'analyse de graphes et peut être utilisée dans une grande variété de domaines d'application tels que l'apprentissage automatique, la science des données, l'analyse de motifs et la vision par ordinateur. Higra est compatible avec les bibliothèques de deep learning comme pytorch, et est utilisé mondialement, tant dans l'académie que dans l'industrie.

La [documentation](#) est disponible en ligne.

**Garamon** [100] (Responsable : V. Nozick) est un générateur de bibliothèques C++, implémentant l'algèbre géométrique pour des dimensions aussi bien basses qu'élevées, avec une métrique arbitraire. Garamon repose sur un arbre préfixe comme support de calcul récursif des opérations d'algèbre géométrique. Garamon est conçu pour produire des bibliothèques faciles à installer, faciles à utiliser, efficaces et numériquement stables.

La [documentation](#) est disponible en ligne.

## Reconnaissance de DeepFakes



Identification d'une image falsifiée.

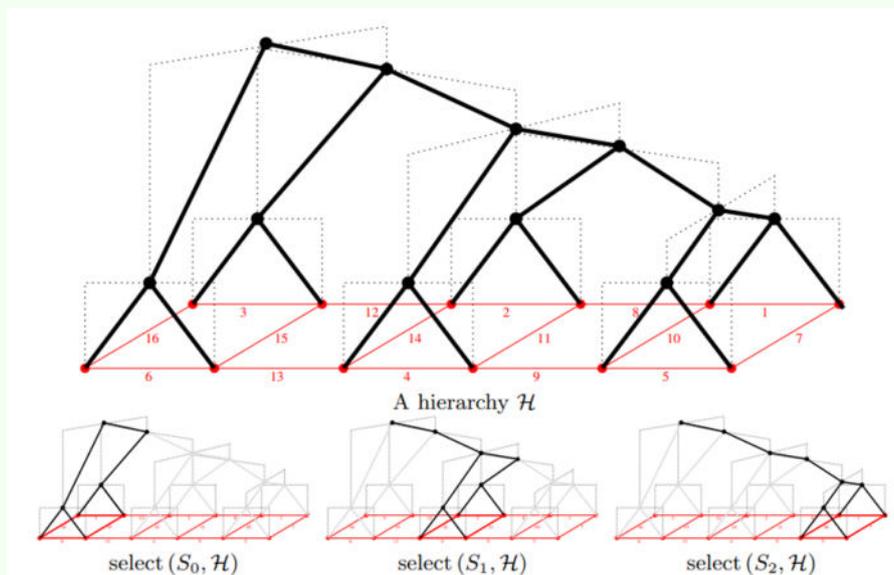
Apparus en 2017, les deepfakes sont une technique d'apprentissage profond permettant de changer sur une vidéo le visage de quelqu'un par celui de quelqu'un d'autre. Une des particularités des deepfakes est de pouvoir conserver les intentions du visage original en les reproduisant sur le visage copié, ce qui en fait un outil très performant pour l'industrie du cinéma, des communications (compression de vidéos de visages), et de la sécurité (anonymisation de visage). Leur facilité d'utilisation fait également des deepfakes une menace s'ils sont utilisés pour usurper l'identité de quelqu'un afin de lui faire virtuellement délivrer un message mensonger ou bien de mettre la personne dans une situation humiliante ou controversée (élections présidentielles, industrie des vidéos pour adultes, etc.). Pour ces types de deepfakes, il est nécessaire de pouvoir les détecter et les identifier comme vidéo falsifiée.

Forts de notre expérience dans la détection de falsification d'images, nous avons été les premiers à proposer une méthode de détection des deepfakes en 2018. Ce projet a été piloté par V. Nozick, en collaboration avec D. Afchar (doctorant A3SI) et en partenariat avec I. Echizen et J. Yamagishi (NII, Japon). Contrairement aux méthodes de forensic digital du moment, nous avons été pionniers dans l'utilisation de méthodes d'apprentissage profond pour détecter ce genre de falsifications. L'approche que nous proposons se focalise sur un niveau intermédiaire de l'image entre le niveau du pixel (microscopique) et l'image dans sa globalité (macroscopique), d'où son nom *MesoNet* (niveau méso-scopique). Notre expertise a été reconnue au niveau scientifique, ainsi que sur le plan de la vulgarisation scientifique, incluant un certain nombre d'interventions dans les médias.

Plus d'information :

- La publication [6] décrivant la méthode.
- Une [revue de presse](#)

## Théorie des hiérarchies @ A3SI



Hiérarchies sur un graphe, et distribution de cette hiérarchie sur trois sous graphes. Le cadre algébrique proposé [154, 291] permet de calculer efficacement les trois sous hiérarchies, en ne chargeant jamais plus de deux sous graphes adjacents en mémoire.

Les hiérarchies sont des représentations multi-échelles des données. En analyse d'image, une représentation hiérarchique permet intuitivement de décomposer une scène en objets et sous-parties des objets, capturant ainsi l'information à plusieurs niveaux de détails simultanément. Les hiérarchies sont fréquemment utilisées comme des représentations intermédiaires, offrant un espace de recherche réduit et structuré, pour les problèmes de segmentation ou de détection d'objets.

L'équipe A3SI (autour d'un noyau constitué par G. Chierchia, J. Cousty, Y. Kenmochi, L. Najman, B. Perret) possède une expertise reconnue sur la définition, l'analyse et l'algorithmie liées à ces représentations. Les hiérarchies de partitions sont généralement représentées par des dendrogrammes. Elles peuvent également être représentées par des cartes de saillance, ou des arbres couvrants de poids minimum. Nous avons étudié les liens entre ces représentations [153]. De plus, nous avons réalisé une étude approfondie d'une classe particulière de représentations hiérarchiques appelées hiérarchies de lignes de partage des eaux. La ligne de partage des eaux est une méthode de segmentation qui correspond à un problème d'optimisation combinatoire bien identifié et son extension au cas hiérarchiques produits des structures possédant elles-mêmes des propriétés d'optimalité. Nous avons proposé des propriétés constructives menant à des algorithmes efficaces afin de caractériser [413], dénombrer [410] et transformer [411, 412] les hiérarchies de lignes de partages des eaux.

Nous avons également proposé un cadre algébrique pour la définition et la construction des hiérarchies compatibles avec le calcul parallèle et distribué de ces structures. Nous avons en particulier identifié des définitions constructives [154] et des algorithmes efficaces [291] compatibles avec les contraintes de calcul "out-of-core", c'est-à-dire permettant de construire des hiérarchies sur des données trop volumineuses pour entrer dans la mémoire vive d'une station de travail.

Une direction de recherche récente concerne l'obtention de hiérarchies par résolution d'un problème d'optimisation continue [135, 136, 369] avec en visée l'intégration comme couche de réseaux de neurones [288].

Les hiérarchies sont un outil méthodologique que nous avons utilisé dans des contextes variés : par exemple, segmentation interactive d'image basée [34, 290], filtrage [370], détection d'objets dans des images astronomiques [354], ou encore extension d'une méthode populaire de segmentation non supervisée au cas multi-échelle [119, 118].

### 3-2.1.7 Auto-évaluation de l'équipe A3SI

L'équipe A3SI a un taux de publications très soutenu (voir Table 6), dans les meilleurs journaux (PAMI, IJCV, etc.) ou conférences (ICCV, CVPR, etc.) du domaine. Les thèmes de l'équipe vont du plus théorique

	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Total
Article	27	41	28	27	25	13	5	166
Actes de conférences	44	44	29	61	59	59	8	304
Ouvrages	2	2	0	0	0	0	0	4
Direction Ouvrages	1	0	0	1	0	2	0	4
Chapitre d Ouvrages	0	0	0	0	0	0	0	0
Brevet	0	1	0	0	0	1	0	2
Thèse	18	5	4	10	9	9	0	55
Autre	5	7	6	2	4	12	5	41
<b>Total</b>	<b>97</b>	<b>100</b>	<b>67</b>	<b>101</b>	<b>97</b>	<b>96</b>	<b>18</b>	<b>576</b>

Table 6 – Publications de l'équipe A3SI sur la période considérée

au très appliqué, en passant par le développement de logiciels (comme Higura et Garamon), le tout sur des techniques d'actualités, en particulier en intelligence artificielle, apprentissage profond, et sciences des données.

Parmi les éléments de reconnaissance de l'équipe, mentionnons les ERC Explorer (V. Lepetit) et Discover (M. Aubry), ou encore, le projet de prématuration CNRS, DeepOeil<sup>TEL</sup>, (R. Kachouri), pour une plateforme télé-ophtalmologique. Un autre élément de reconnaissance est constitué par les prix reçus par les membres de l'équipe, y compris les doctorants.

Prix reçu par des permanents :

- V. Lepetit, Koenderick 'test of time' award at ECCV 2020.

Prix reçus par des doctorants :

- Philippe Chiberre, [134], Best paper award at the CVPR2021 Workshop on Event-based Vision.
- Clément Chomicki, [138], Best paper award at ENGAGE 2023
- Quentin Garrido, [230], Outstanding Paper Honorable Mention at ICLR 2023
- Quentin Garrido, [231], Ian Lawson Van Toch Memorial Award for Outstanding Student Paper at ISMB 22
- Fu Huan, [218], Best Paper Finalist (top 1%), at CVPR 2019
- Fu Huan, [218], Premier prix du challenge *Single Image Depth Prediction*, Robust Vision Challenge 2018, joint à CVPR 2018.
- Josselin Lefèvre, [291], Best Student Paper award, DGMM 2021

#### Analyse SWOT *Points forts :*

- Les résultats montrent une forte 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 ont un fonctionnement en équipe, en particulier avec de nombreux co-encadrements internes de thèses, et une politique de HdRisation forte ;
- l'équipe a su développer un réseau de partenaires académiques extérieurs de haut niveau ;
- l'équipe a un grand nombre de partenaires industriels, solides techniquement, qui nous permettent d'aborder de vrais défis scientifiques.

*Points à améliorer :*

- En science des données, en vision artificielle et en apprentissage machine, la quantité et la largeur des champs ouverts entraîne des difficultés à répondre à une demande toujours croissante, tant des étudiants (cours, mentor, projets, stages ...), que des industriels
- Il existe toujours quelques difficultés pour coordonner les tutelles ; par exemple, à l'ENPC, la politique d'embauche (définition de la fiche de poste) est établie par l'établissement, pas par le laboratoire

*Risques liés au contexte :*

- De nombreux départs dans la période, ce qui montre une certaine instabilité, et met en danger certaines thématiques A3SI (par exemple, la géométrie discrète, portée Y. Kenmochi ;
- une fragilité à l'ESIEE, liée au statut des enseignants chercheurs, qui entraîne en particulier des difficultés dans le recrutement ;
- un questionnement sur l'intégration annoncée de l'ENPC dans l'Institut Polytechnique de Paris, et son impact sur les chercheurs de l'ENPC affectés au LIGM.

*Possibilités liées au contexte*

- Dynamique liée à l'I-SITE FUTURE (ville de demain) et à la création/consolidation de l'UGE
  - Émergence du thème Ville et Mobilité durable (ex : les travaux sur le béton, les contrats en cours avec IFPEN, le PEPR Mobidec, etc.)
- Dynamique scientifique forte créée par nos partenariats académiques et industriels, en particulier dans le domaine du deep learning.

### 3-2.1.8 Trajectoire de l'équipe

Au cours de la période évaluée, l'équipe a intensifié ses efforts dans l'apprentissage machine, y compris le deep learning. Les applications, très nombreuses, permettent de valoriser nos développements théoriques, et notre expertise. Nous allons continuer ces efforts au cours du prochain quinquennal.

Le thème théorie et algorithmes des structures discrètes reste très actif, malgré le départ de Y. Kenmochi. G. Bertrand a récemment proposé une réécriture complète de la théorie de Morse discrète [58, 60], offrant en particulier une présentation et des preuves beaucoup plus simples. Cela aura définitivement un impact sur la pratique. La bibliothèque Higras est de plus en plus utilisée à l'échelle mondiale, montrant l'intérêt des travaux de l'équipe. Le thème Théorie du deep learning est en pleine expansion, et restera un des axes essentiels de l'équipe dans les années qui viennent. En ce qui concerne la Vision par ordinateur, l'équipe A3SI s'est particulièrement renforcée sur ce thème au cours de la précédente période, et a une expertise fortement reconnue (mentionnons les ERC EXPLORER et DISCOVER). Le thème Optimisation continue à produire des résultats significatifs, ainsi que le thème Traitement de grand volume de données, et adéquation Algorithme-Architecture. On peut là aussi envisager l'avenir avec sérénité.

En ce qui concerne les Interactions et applications, le contexte, tant local que mondial, permet d'envisager un avenir plus que radieux. La question n'est pas tant d'aller chercher de nouveaux projets, que de sélectionner, parmi toutes les sollicitations que nous recevons, les plus porteuses. Mentionnons spécifiquement que, encouragés par le contexte local, nous envisageons de développer le thème applicatif Ville et Mobilité Durable (Cf., entre autres projets, l'ERC Explorer).

Afin de pouvoir réaliser pleinement nos objectifs, il faudra être particulièrement vigilant en ce qui concerne les risques évoqués dans l'analyse SWOT.

## 3-2.2 Équipe Algorithmique Discrète et Applications (ADA)

### 3-2.2.1 Membres permanents de l'équipe

À ce jour l'équipe compte 17 membres permanents listés dans le tableau ci-dessous :

Rémy Belmonte	MCF	<i>Recruté en 2022</i>
Laurent Bulteau	CR CNRS	
Maxime Crochemore	PR ém.	
Isabelle Fagnot	MCF	<i>Université Paris Cité</i>
Philippe Gambette	MCF	
Alfredo Hubard	MCF	
Gregory Kucherov	DR CNRS	<i>Co-responsable de l'équipe</i>
Tita Kyriacopoulou	PR	
Anthony Labarre	MCF	
Éric Laporte	PR	
Arnaud de Mesmay	CR CNRS	<i>Affecté en 2019, co-reponsable de l'équipe</i>
Takyuya Nakamuyra	IE CNRS	
Dominique Revuz	MCF	
Johan Thapper	MCF	
Éric Colin de Verdière	DR CNRS	
Stéphane Vialette	DR CNRS	
Mathias Weller	CR CNRS	<i>Actuellement en détachement à la TU Berlin</i>

En ce qui concerne les départs pendant la période d'évaluation, Xavier Goac (PR UGE) est parti à la rentrée 2018 pour rejoindre le LORIA à Nancy.

### 3-2.2.2 Les thématiques scientifiques et leurs enjeux

L'équipe ADA (*Algorithmique Discrète et Applications*) est issue de la scission de l'équipe MOA (*Modèle et Algorithmes*), et regroupe environ la moitié de ses anciens chercheurs et enseignants-chercheurs qui travaillent autour de thèmes algorithmiques. L'approche commune aux membres de l'équipe est celle de l'informatique fondamentale, mais avec une attention particulière aux applications. Le spectre thématique des recherches de l'équipe recouvre en particulier la conception et l'analyse d'algorithmes exacts, d'approximation ou bien paramétrés, la bioinformatique, théorique et appliquée, le traitement automatique des langues et la géométrie algorithmique et combinatoire.

L'équipe est structurée en trois axes de recherche :

1. Algorithmique des structures combinatoires et algorithmiques pour la bioinformatique
2. Géométrie algorithmique et combinatoire
3. Linguistique pour le traitement des langues

L'animation scientifique de l'équipe est centrée autour d'un séminaire hebdomadaire issu de l'équipe MOA, qui est maintenant commun avec l'équipe BAAM, et illustre la volonté de brassage thématique de l'équipe. Des thèses et des stages sont co-supervisés par plusieurs membres de l'équipe. Des groupes de travail aux thèmes plus ciblés ont été montés durant la période, d'abord un groupe de travail autour de thématiques de min-max en géométrie avec des collègues du LAMA, de 2018 à 2020, qui s'est transformé après le covid en un groupe de travail de géométrie algorithmique et combinatoire.

**Algorithmique des structures combinatoires et algorithmique pour la bioinformatique.** Cet axe porte sur l'algorithmique des graphes et des séquences, avec applications à la bioinformatique. Plus spécifiquement, il s'agit de la conception et de l'analyse de complexité d'algorithmes sur les graphes ou séquences qui sont soit NP-complets soit polynomiaux. Dans le premier cas, nos recherches visent à établir la NP-complétude ainsi qu'à analyser la structure du problème afin d'identifier sa complexité avec la méthodologie de la complexité paramétrée. Dans le deuxième cas, nous cherchons à développer des algorithmes de complexité optimale et efficaces en pratique, en s'appuyant sur des structures de données avancées que nous développons également. Le domaine d'application de prédilection est la bioinformatique où l'on peut distinguer trois types de problèmes sur lesquels nous travaillons : modélisation et analyse des réseaux et arbres phylogénétiques, calcul de distances

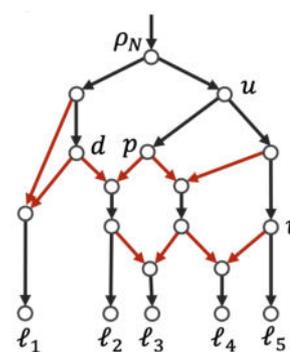
phylogénétiques basées sur les réarrangements génomiques, et enfin le traitement de grands volumes de données génomiques à l'aide de structures de données ultra-compactes.

Les membres permanents impliqués dans cet axe sont Rémy Belmonte, Laurent Bulteau, Maxime Crochemore, Philippe Gambette, Gregory Kucherov, Anthony Labarre, Johan Thapper, Stéphane Vialette, Mathias Weller. Notons que les travaux en bioinformatique de l'équipe remontent au début de cette discipline ; l'équipe prend une part active dans la communauté bioinformatique française et internationale et compte dans son actif des projets communs avec des biologistes (voir Section 3-2.2.9). Ci-dessous nous survolons quelques résultats principaux de cet axe obtenus dans la période de référence.

*Algorithmiques des séquences*, également dénommée *stringologie*, est un thème historique de l'équipe dont l'un des sujets majeurs porte sur les motifs répétés dans les séquences. Un type particulier de répétitions, appelé  $\alpha$ -gapped repeats, a été étudié dans [156] où des algorithmes optimaux de recherche de ces structures ont été proposés. Dans les articles [109, 108], nous avons étudié les répétitions "carrés-mélanges" (*shuffled squares*) et avons montré, en particulier, que reconnaître si un mot binaire est un carré-mélange ou si un mot (sur un alphabet arbitraire) contient un carré-mélange sont des problèmes NP-complets. L'article [107] porte sur un autre problème NP-complet, classique en stringologie, celui de la sous-séquence commune la plus longue d'un ensemble de séquences. Répondant à une question ouverte, nous y avons montré que le problème est *fixed-parameter tractable* par rapport au nombre de caractères à supprimer dans une des séquences d'entrée, et même linéaire si ce paramètre est fixe. La notion de mot de Lyndon basée sur un ordre de l'alphabet structure des données brutes et permet la conception d'algorithmes de traitement optimaux sur différents aspects. L'article [29] porte sur la construction des arbres qui intègrent la notion et qui sont aussi des arbres Cartésiens [157]. L'arbre est un outil fondamental pour l'étude des répétitions dans les textes. L'apport de l'article est un algorithme plus complexe que ceux existants mais surtout beaucoup plus naturel. Notons également la parution en 2021 chez Cambridge University Press du livre "125 Problems in Text Algorithms — with solutions" qui contient une large sélection d'exercices et de problèmes de stringologie représentatifs du domaine.

Nos compétences en *algorithmique des graphes* ont été renforcées avec le recrutement en 2022 de Rémy Belmonte (MCF). Parmi les contributions dans ce thème, citons l'article [104], publié dans *Journal of Graph Theory*, qui étudie de manière exhaustive la complexité de la décompositions de graphes dits sous-cubiques en de petits graphes avec trois arêtes. L'objet d'un autre article [43] est la décomposition d'un graphe en des graphes pairs et impairs, ayant respectivement un degré pair ou impair de chaque sommet. L'article étudie le nombre chromatique impair défini comme le nombre minimal de graphes impairs dont l'union forme le graphe donné. Il y est prouvé que plusieurs familles bien connues de graphes ont un nombre chromatique impair borné. L'article [281] porte sur une variante du problème classique d'ensemble dominant, à savoir sur les ensembles dominants dits tropicaux, et présente une série de nouveaux résultats associés sur la complexité algorithmique.

Plusieurs contributions ont été faites dans la période de référence à l'algorithmique des *arbres et réseaux phylogénétiques*. Les réseaux phylogénétiques généralisent les arbres phylogénétiques en tenant compte de *reticulation events*, tels que le transfert horizontal par exemple, très important dans le monde des bactéries. Ce sont donc des objets plus complexes qui demandent de nouveaux développements algorithmiques. Nous avons étudié, par exemple, le problème central de décider si un arbre phylogénétique est représenté dans un réseau, problème NP-complet dans sa généralité, et avons proposé des algorithmes linéaires pour des variantes restreintes mais représentatives de ce problème [459, 227, 453]. Nous avons également introduit et étudié de nouvelles mesures de complexité de réseaux phylogénétiques [52] et avons obtenu des résultats nouveaux sur le comptage et des propriétés combinatoires de ces réseaux [95]. Beaucoup de problèmes combinatoires sur les arbres et réseaux phylogénétique et plus généralement, problèmes d'optimisation combinatoire en bioinformatique, sont présentés dans l'article de survol [110].

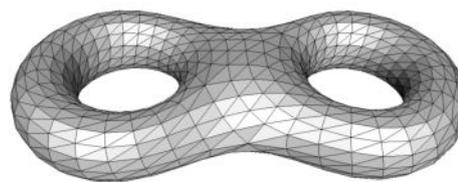


Dans le volet *Algorithmique pour la bioinformatique*, une recherche a été menée sur des méthodes de représentation de grands volumes de données sous une forme très compacte, appelée un *sketch*. En bioinformatique, les sketches sont employés pour représenter des ensembles de mots génomiques de longueur fixe, appelés  $k$ -mers [285]. La technique dite MinHash sert à comparer les ensembles représentés par des sketches et a eu beaucoup de succès en bioinformatique. Nous avons étudié une amélioration de MinHash qui la rend plus précise tout en se basant sur la même information [286]. Cependant, MinHash ne s'applique pas pour comparer des ensembles très grands qui ne diffèrent que de peu d'éléments. Pour ce cas de figure, nous avons proposé un autre type de sketches basés sur des techniques probabilistes, à savoir les *filtres de Bloom inversés* [428]. Il est remarquable que la taille de ces sketches ne dépend que de la différence possible des ensembles et non pas de leur taille. Nous avons également proposé des sketches pour stocker les tables de fréquences de

$k$ -mers, prérequis pour différentes analyses bioinformatiques [430, 429]. Ces sketches s'appuient sur plusieurs techniques avancées telles que le CountMin sketch, les fonctions statiques compressées, ou encore les minimiseurs. Pour le sketch CountMin, nous avons mené une étude approfondie et avons démontré une propriété fondamentale de transition de phase dans le fonctionnement de cette structure [222, 221] (travail commun avec l'équipe BAAM). Enfin, nous avons étudié une nouvelle méthode d'échantillonnage de séquence d'ADN [216] qui se montre dans certains cas supérieure à la technique de minimiseurs communément utilisée. Par ailleurs, nos recherches algorithmiques ont été appliquées aux données biologiques [103, 102], en particulier à l'analyse de la résistance bactérienne aux antibiotiques [103], travail paru dans *Nature Microbiology*. Dans une autre direction, la notion de mot absent minimal dans une séquence autorise une caractérisation globale qui est utile lors de comparaisons de plusieurs séquences génomiques car il élimine les recours au procédé d'alignement pour lequel la complexité algorithmique n'est pas satisfaisante sur des données importantes. L'article [155] présente le premier algorithme qui effectue le calcul de l'ensemble de ces mots au cours de la lecture de la séquence et en temps linéaire.

**Géométrie algorithmique et combinatoire.** Les membres permanents de cet axe de recherche sont Éric Colin de Verdière, Alfredo Hubbard, Arnaud de Mesmay, ainsi que, sur le tout début de la période d'évaluation, Xavier Goaoc. La *géométrie algorithmique* consiste en la conception et l'analyse d'algorithmes pour des problèmes de nature géométrique. Ces études soulèvent naturellement des problèmes de *géométrie combinatoire*, domaine qui vise à comprendre les propriétés d'objets géométriques discrets tels que les arrangements de points, de lignes, de courbes, etc. À son origine, la géométrie algorithmique était très concentrée autour de problèmes algorithmiques dans les espaces euclidiens, en particulier le plan, mais de nouveaux thèmes sont apparus lors des deux dernières décennies, se plaçant dans des espaces à la topologie et la géométrie plus riches. Une partie importante des recherches de l'axe se place dans ce nouveau cadre de *topologie algorithmique*.

Un objet d'étude fédérateur qui illustre bien les thématiques de recherche de l'axe est celui des graphes plongés sur des surfaces, dont un exemple est illustré à droite. Le cas classique des graphes plongés dans le plan définit la famille des graphes planaires, et l'on peut généraliser ceux-ci en plongeant des graphes non pas dans le plan mais sur des surfaces, dont le nombre de poignées s'appelle le *genre*. Ces objets, omniprésents dans les applications (réseaux routiers, ou bien maillages exploités en infographie, en conception assistée par ordinateurs ou en calcul scientifique) constituent un cadre d'étude très riche à l'intersection de plusieurs disciplines : théorie des graphes et algorithmique bien sûr, mais également topologie et géométrie différentielle. Un problème essentiel pour manipuler les graphes plongés est de disposer d'une panoplie d'outils pour décomposer et découper ceux-ci, pour se ramener au cas bien mieux étudié et compris des graphes planaires. Les travaux des membres de l'équipe ADA ont permis de développer une compréhension très fine de la complexité algorithmique de problèmes de découpes et de décomposition de graphes plongés sur les surfaces. Par exemple, dans l'article [141], Éric Colin de Verdière et Arnaud de Mesmay ont conçu (avec Vincent Cohen-Addad) un nouvel algorithme pour résoudre le problème algorithmique fondamental du calcul des multicoups (Multicut) en temps presque linéaire pour des graphes plongés sur les surfaces, en utilisant une combinaison d'outils d'algorithmique paramétrée, d'approximation, mais aussi de topologie algébrique. Dans un article subséquent [142], mis en avant dans le portfolio de l'équipe, ils ont développé avec leurs coauteurs de nouvelles techniques pour prouver des bornes inférieures presque optimales pour des problèmes de coupes et de décompositions de surface. Cet article a été récompensé du *Best Paper Award* à l'*International Symposium on Computation Geometry (SoCG)*, principale conférence du domaine. Dans une autre direction, les travaux d'Alfredo Hubbard, Arnaud de Mesmay et de leur doctorante Niloufar Fuladi [220] ont mis en lumière une nouvelle connexion étonnante entre d'une part les décompositions de graphes plongés sur des surfaces non-orientables, et d'autre part la *distance de renversement signée*, une distance entre des permutations signées très utilisée en bioinformatique. Cette nouvelle connexion a également mené à de nouveaux résultats sur une variante du nombre de croisements [219], et est un produit direct de la richesse thématique de l'équipe (MOA puis ADA) qui favorise les interactions, en particulier avec des bioinformaticiens.



Plus largement, les membres de cet axe ont obtenu des nombreux résultats sur des problèmes algorithmiques et combinatoires en lien avec la géométrie et la topologie. En voici un panorama non-exhaustif.

Un problème essentiel de topologie est de reconnaître algorithmiquement lorsque deux espaces, fournis par exemple par une triangulation, sont équivalents (plus techniquement, s'ils sont homéomorphes). Ce problème est indécidable en général, mais dans le cas des sphères ou des boules, des approches combinatoires se révèlent très puissantes à la fois en théorie et en pratique. Celles-ci reposent sur la *collapsibilité* ou la *shellabilité*,

qui reviennent à itérativement simplifier un espace tout en préservant sa topologie. Dans un résultat de 2018, Xavier Goaoc et ses coauteurs [244] ont montré que tester la *shellabilité* d'un complexe simplicial est cependant NP-difficile, ce qui répond à une vieille question ouverte du domaine et établit de fortes limites à l'efficacité de telles approches. Cet article a également été récompensé du *Best Paper Award* à SoCG.

Éric Colin de Verdière et son doctorant Thomas Magnard ont développé [146, 145] de nouveaux algorithmes pour tester la plongeabilité d'un graphe sur un complexe simplicial : c'est un problème à l'interface entre la théorie des graphes et la topologie, qui généralise à la fois le problème classique de tester la plongeabilité d'un graphe sur une surface, et celui de calculer le nombre de croisements d'un graphe. Si le problème est en général NP-difficile, ils ont montré qu'il peut être résolu efficacement lorsque l'on paramètre par la taille du complexe simplicial.

Arnaud de Mesmay et ses coauteurs se sont intéressés à de multiples problèmes de topologie en trois dimension. Ce domaine historique des mathématiques donne lieu à des problèmes algorithmiques extrêmement délicats, pour lesquels les meilleurs algorithmes ont souvent des complexités galactiques. C'est le cas par exemple pour le problème de déterminer si deux nœuds sont équivalents. Pourtant, jusque-là, essentiellement aucune borne inférieure algorithmique n'était connue pour de tels problèmes. Dans cette direction, de nombreux résultats ont été obtenus par les membres de l'équipe [112, 166, 167, 168, 304, 169], dont notamment les premiers résultats de difficulté algorithmique en théorie des nœuds. Dans une toute autre direction, une avancée majeure dans le domaine des algorithmes d'approximation a été obtenue pour le problème Metric Violation Distance. Dans ce problème, on vise à réparer une matrice de façon minimale pour qu'elle représente les distances d'un espace métrique. Un des résultats principaux de l'article [143] est un nouvel algorithme pour ce problème, qui est plus simple, plus rapide, et avec une garantie d'approximation exponentiellement meilleure que les algorithmes connus jusque-là. Du côté géométrie combinatoire, Alfredo Hubbard et Andrew Suk [267] ont obtenu de nouveaux résultats sur une version topologique du problème de Heilbronn, qui concerne l'aire de triangles définis par une famille de  $n$  points dans le plan.

Une spécificité de cet axe de recherche est la nature très mathématique de certains thèmes de recherche, ce qui a donné lieu à des collaborations avec des mathématiciens, par exemple dans le domaine de la géométrie différentielle des surfaces [124] ou de la géométrie systolique [26], et en particulier avec des mathématiciens du laboratoire voisin LAMA, avec lesquels les membres de l'axe ont monté le projet ANR PRC MIN-MAX : c'est le cas des articles [32, 212] en géométrie convexe, et de l'article [130] sur les quasi-géodésiques dans les surfaces polyédrales.

**Linguistique pour le traitement des langues.** Le thème "Linguistique pour le traitement des langues" couvre toute la chaîne depuis les connaissances linguistiques fondamentales jusqu'à l'extraction d'informations et autres applications. Les chercheurs qui contribuent à ce thème sont Éric Laporte, Tita Kyriacopoulou et Takuya Nakamura, et ont des partenaires extérieurs variés, en France et à l'étranger.

Du côté théorique de la linguistique, il s'agit d'architecturer, de créer et de maintenir des bases de données lexicales et grammaticales. Les langues abordées sont le français, l'anglais, le japonais [348], le coréen [263], le portugais [374] et le grec [21]. Notamment, la place et la typologie des expressions polylexicales dans ces bases de données sont discutées. Par exemple, [210] délimite par des critères une catégorie d'expressions aspectuelles et montre qu'il est préférable de les traiter comme des constructions à verbe support plutôt que comme des expressions verbales figées ; [211] montre comment certaines expressions, apparemment intermédiaires entre deux catégories : constructions à verbe support et expressions verbales figées, peuvent être représentées dans des bases de données lexicales sans renoncer à distinguer ces deux catégories. Ces travaux ont un impact sur le traitement automatique des expressions polylexicales, car celui-ci dépend de la délimitation et de la typologie de ces expressions. D'autres travaux portent sur la syntaxe des noms à complétive en français, sur des expressions de dialogue, sur des constructions à sens intensif, sur l'adaptation des bases de données lexicales au vocabulaire de corpus nouveaux.

Du côté du traitement des langues naturelles (TLN), l'équipe contribue à la plateforme libre Unitex/-GramLab et à sa documentation, et elle exploite cette plateforme dans plusieurs domaines. Un brevet a été déposé aux Etats-Unis (n° 11386269-B2) sur une méthode d'analyse de corpus dans laquelle des programmes ayant accès à des ressources extérieures sont intégrés aux grammaires formelles qui déterminent l'analyse. Par ailleurs, l'équipe construit des données d'apprentissage pour la fouille d'opinion et pour des agents conversationnels. [263] montre ainsi que des grands modèles de langage (LLM) appliqués à des données d'apprentissage construites à l'aide de graphes de grammaires locales (LGG) faits à la main permettent d'extraire le sens de commentaires évaluatifs avec une bonne F-mesure. Les membres de l'équipe interviennent dans le débat sur la contribution des méthodes symboliques de TLN à l'apprentissage profond, démontrant l'intérêt de ces méthodes pour construire des données d'apprentissage [289].

Dans le domaine de l'extraction d'informations, [283] propose des ressources de détection et d'étiquetage

de noms propres qui sont conformes à un cadre multilingue commun, illustré pour cinq langues européennes et applicable à de nouvelles langues. À propos d'analyse automatique de textes en français du dix-septième siècle, [284] a montré que les méthodes d'extraction automatique de noms de lieux pouvaient obtenir de meilleures performances après une modernisation automatique ou manuelle des textes. Plusieurs méthodes de modernisation automatique ont été proposées dans [39], les méthodes statistiques obtenant de meilleures performances, mais les méthodes symboliques permettant de caractériser les évolutions de la langue observées [224].

### 3-2.2.3 Pilotage et participation aux projets financés

Les membres de l'équipe ont dirigé et participé à de multiples projets sur la période :

- Philippe Gambette a co-dirigé avec Caroline Trotot le projet I-site FUTURE Impulsion "Cité des Dames, créatrices dans le cité", de 2019 à 2023, pour un budget de 239 644 €. Ce projet vise à faire mieux apparaître la contribution des femmes à la construction de la culture commune en montrant la présence des lieux urbains dans les œuvres et la présence des créatrices dans les lieux urbains. Il a donné lieu à de multiples publications, réalisations et colloques.
- Il a également coordonné le projet PEPS CNRS/RNMSH "VisiAutrices" (Visibilité des femmes de lettres dans l'enseignement du secondaire et du supérieur, 2017-2019, 18 218 €), avec 3 autres chercheurs et chercheuses (Université Gustave Eiffel, Université Sorbonne nouvelle, Université de Rouen), un PHC Merlion avec Louxin Zhang à Singapour (12 000 €) et a participé aux projets Impulsion "Urbanature" et au projet Amorçage "Fractext" et "PROGEVI".
- Éric Colin de Verdière a été porteur local du projet ANR-FNR PRCI "Structures on Surfaces" (2018-2023, 460 000€), auquel participaient également Alfredo Hubbard et Arnaud de Mesmay. Ce projet franco-luxembourgeois a permis de nombreuses avancées dans le domaine des structures combinatoires et géométriques sur les surfaces, notamment via le recrutement d'une post-doctorante, d'un séminaire régulier en ligne pendant le covid et de multiples événements, dont une importante conférence internationale de clôture. Ils sont tous trois également membres du projet ANR MINMAX (porté par Stéphane Sabourau) avec des mathématiciens du LAMA, qui a notamment permis de co-financer une thèse avec le Labex Bezout, et Arnaud de Mesmay a également participé sur la période aux projets ANR GATO et FOCAL.
- Tita Kyriacopoulou a coordonné les projets Malentin (Machine learning pour l'analyse textuelle automatisée de l'innovation non technologique, projet exploratoire financé par UPEM- Université Gustave Eiffel depuis 2019), qui a notamment permis le recrutement d'une post-doctorante, et Fractext (Identification des textes et analyse multifractale), financé par UPE (2020-2022).
- Xavier Goaoc a été coordinateur local du projet ANR PRC ASPAG (2018-2022, 393 731€) sur l'analyse probabiliste d'algorithmes géométriques.
- Laurent Bulteau a été porteur du projet "PRINT" (CNRS JCJC, 6000€), sur l'algorithmique paramétrée des arbres des réseaux.
- Éric Laporte est porteur du projet "AMoMa" (Aspect et modalité en malgache), qui doit contribuer à décrire et modéliser l'organisation grammaticale de la langue malgache, qui est parlée dans l'île africaine de Madagascar, et les résultats aideront à équiper et outiller cette langue. Le consortium implique 6 chercheurs de l'Université Gustave Eiffel, l'Université Western Ontario, Université d'Antananarivo (Madagascar) pour un montant de 3000 euros.
- Dominique Revuz a bénéficié, dans le cadre du développement de la plateforme PLaTon, qui vise à fournir des outils automatisés pour l'enseignement, de financements PIA et AMI WIMS-EVO.

### 3-2.2.4 Animation de la recherche

**Responsabilités locales.** Les membres de l'équipe ADA sont très impliqués dans les activités de direction au sein de l'Université Gustave Eiffel :

- Stéphane Vialette est directeur du LIGM depuis 2019 et a été chargé de mission au CNRS jusqu'en juin 2019
- Éric Colin de Verdière a été directeur du Labex Bézout (2018-2022) et de la Fédération de Recherche Bézout (2019-2022).
- Tita Kyriacopoulou est directrice de l'Institut d'électronique et d'informatique Gaspard Monge (IGM) depuis 2022.
- Éric Laporte a coordonné le suivi doctoral au LIGM jusqu'en 2022, Philippe Gambette est chargé de mission science ouverte de l'UGE, et Maxime Crochemore est référent Intégrité Scientifique à l'UGE.

**Organisation.** Un des évènements phares sur la période est l'organisation en 2023 de la 34<sup>e</sup> édition du symposium international *Combinatorial Pattern Matching* (CPM) à l'Université Gustave Eiffel par plusieurs membres des équipes ADA et BAAM (Aaron Boussidan, Laurent Bulteau, Philippe Gambette, Vincent Jugé, Gregory Kucherov, Anthony Labarre, Stéphane Vialette, Mathias Weller). Cette conférence est un rendez-vous annuel essentiel de la communauté de stringologie.

Plusieurs évènements internationaux ont été organisés par des membres de l'équipe sur la période, par exemple la conférence "Structures on Surfaces" (CIRM, 2022), le colloque final du projet "Cité des dames, créatrices dans la cité" (Paris et UGE, 2023), la conférence en mémoire de Pierre Rosenstiehl (2023), les journées SeqBIM 2019, le workshop satellite RecombCG 2019, les journées françaises de géométrie algorithmique (CIRM, 2020), les journées UNITEX 2020 et 2022, les écoles d'été "Low-Dimensional Geometry and Topology : Discrete and Algorithmic Aspects" (IHP, 2018) et "Summer School on Geometric and Algorithmic Combinatorics" (Paris, 2019), les Dagstuhl Seminars "Computation and Reconfiguration in Low-Dimensional Topological Spaces" en 2022 et "Triangulations in Geometry and Topology" en 2024. Stéphane Vialette a participé à l'organisation de RECOMB à Paris en 2018.

**Animation au niveau national.** L'essentiel des membres de l'équipe émerge au sein du Groupe de Recherche Informatique Fondamentale et ses Mathématiques (anciennement GDR-IM), qui fédère la communauté française en informatique théorique et en combinatoire. Cette structure est divisée en Groupes de Travail, au sein desquels les membres de l'équipe sont directement impliqués : Laurent Bulteau est animateur du GT SeqBIM et Arnaud de Mesmay est membre du conseil scientifique du GT CoA. Les journées annuelles du GT de géométrie algorithmique (co-dirigé par Théo Lacombe, également au LIGM dans l'équipe MMSID) ont été organisées par des membres de l'équipe en 2020, et le séminaire francilien de géométrie algorithmique et combinatoire est organisé à l'Institut Henri Poincaré par Alfredo Hubard et Arnaud de Mesmay.

### 3-2.2.5 Accompagnement des personnels

**Doctorants et post-doctorants** Quatre doctorants dont les thèses se sont déroulées au LIGM et ont été dirigées par des membres de l'équipe ADA ont soutenu pendant la période : Niloufar Fuladi (2020-2023), Thomas Magnard (2017-2021), Alexis Neme (2020, thèse sur travaux) et Yoshihiro Shibuya (2018-2022), et quatre thèses sont en cours : Aaron Boussidan, Corentin Lunel et Pacien Tran-Girard (toutes trois débutées en 2021) et Loïc Dubois (débutée en 2022).

Les membres de l'équipe ont participé/participent également en tant que co-encadrants aux thèses de Virginia Ardévol Martinez (LAMSADE, début en 2021), Théo Boury (Polytechnique, début en 2023), Jean Chartier (LAMA, début en 2020), Valavani Christina (Université d'Athènes, soutenue en 2018), Chuanming Dong (IGN, ADEME, soutenue en 2023), Joël Cédric Anyou Elanga (Cameroun, débutée en 2020), Hélène Langlois (ENPC, soutenue en 2020), Nolwenn le Quellec (LAMA, débutée en 2023), Bertrand Marchand (Polytechnique, soutenue en 2023), Cheikh Saliou Ndiaye (LAMA, débutée en 2021) et Larissa Picoli (État régional de São Paulo, soutenue en 2020).

Trois chercheuses post-doctorantes ont renforcé les rangs de l'équipe pendant la période : Eleni Kogkitsidou (Cité des dames, 2019-2020), Revekka Kyriakoglou (Malentlin, 2019-2021), Zili Wang (ANR SoS, 2019-2020), et par ailleurs Alfredo Hubard et Arnaud de Mesmay ont collaboré avec les chercheurs post-doctorants Chenglin Fan (LIP6) et Marcos Cossarini (LAMA), financés par les projets ANR MINMAX et FOCAL.

**Stagiaires.** Sur la période, 13 stages de M2 ont été réalisés au sein de l'équipe ADA, ainsi que 48 stages du L1 jusqu'au M1.

**Chercheurs invités.** Les membres de l'équipe ADA ont invité de nombreux chercheurs internationaux pour des séjours prolongés, en particulier grâce aux programmes de chercheurs invités du Labex Bezout et de l'université Paris Est. Notamment, des séjours invités d'au moins un mois ont été réalisés par Andreas Holmsen (KAIST, 2021, 2022), Sergio Cabello (Ljubljana, 2018), Steven Skiena (Stony Brook, 2022), Djamel Belazzougui (CERIST, Alger, 2018, 2019), Koichiro Kawashima (Fukuoka, année sabbatique 2023-2024), Romeo Rizzi (Vérone, 2019), Christian Komusiewicz (Marburg, 2021), Anne Dister (Bruxelles/Louvain, 2019). L'équipe a également accueilli de multiples chercheurs et chercheuses confirmés ainsi que des doctorants et doctorantes pour des séjours plus courts.

### 3-2.2.6 Expertise et évaluation scientifique

**Responsabilité éditoriales.** Les membres de l'équipe ont eu de nombreuses responsabilités éditoriales, en particulier au sein du *European Journal of Combinatorics* (Éric Colin de Verdière, éditeur exécutif jusqu'en 2022), *Journal of Computational Geometry* (Éric Colin de Verdière), *Computing in Geometry and Topology* (Éric Colin de Verdière et Arnaud de Mesmay), *Algorithms for Molecular Biology* (Gregory Khucherov), *Linguisticae Investigationes* (Takuya Nakamura), *L'information grammaticale* (Takuya Nakamura), LINX (Takuya Nakamura).

**Comités de programme.** L'équipe est très impliquée dans la programmation de conférences internationales. En particulier,

- Gregory Khucherov a été PC chair du *14th International Computer Science Symposium in Russia* en 2019, conférence majeure d'informatique théorique, et co-éditeur des actes de la conférence (*Lecture notes in Computer Science vol. 11532*) et du numéro spécial *Theory of Computing Systems 65*, paru en 2021.
- Éric Colin de Verdière a été (avec Kevin Buchin) PC chair de l'*International Symposium on Computational Geometry* en 2021, conférence de référence en géométrie algorithmique, et éditeur des proceedings ainsi que de deux numéros invités associés dans les revues *Discrete & Computational Geometry* et *Journal of Computational Geometry*.
- Laurent Bulteau a été (avec Zsuzsanna Lipták) PC Chair du *34th Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching (CPM 2023)*, conférence de référence en algorithmique des séquences, et co-éditeur des actes (LIPIcs, Volume 259) de la conférence.

Maxime Crochemore a été membre du *Steering Committee* de CPM jusqu'en 2021. Par ailleurs, les membres de l'équipe ont été dans les comités de programmes de très nombreuses conférences internationales d'informatique fondamentale et de bioinformatique : ECCB 2022, ESA 2019, EuroCG 2020 et 2022, CPM 2018, 2021 et 2024, IWOCA 2019 (x2), LATIN 2022, RECOMB 2022 et 2023, SeqBIM 2019 (x2), 2020 2021, 2022 et 2023, SoCG 2023, SOFSEM 2020 (x2) et 2021, SODA 2023, SPIRE 2018, STOC 2024, WABI 2020, 2022 et 2023, WADS 2019, ainsi que de traitement automatique des langues : ACL 2018, CLIB 2020-2023, CMLF 2020, ICNLS 2018-2023, JDP 2021-2023, LREC 2018-2023, MWE 2018-2023, PROPOR 2018-2023, TALN 2018-2022, WiNLP 2021.

**Participation aux instances d'évaluation et expertise.** Les membres de l'équipe sont impliqués dans les instances d'évaluation nationales et internationales. Ainsi, Gregory Kucherov a fait partie du comité d'évaluation 45 de l'ANR "Mathématiques et Sciences du Numérique pour la santé et la biologie" en 2019 et fait partie du panel d'évaluation du National Science Center de Pologne depuis 2021. Philippe Gambette a participé en 2023 à un panel d'évaluation de projets financés par Fonds National de Recherche du Québec - Nature et Technologie (FRQNT). Éric Laporte a réalisé des expertises techniques pour le Conseil de recherches en sciences humaines fédéral (Canada) et le FNRS (Belgique). Éric Colin de Verdière a été membre du comité de programmation scientifique de l'Institut Henri Poincaré (2019-2023) et est expert scientifique au sein du MESR pour l'évaluation des partenariats Hubert Curien. Arnaud de Mesmay a été au jury du prix de thèse Gilles Kahn de la SIF de 2021 à 2023. Les membres de l'équipe ont fait partie de nombreux comités de sélection, pour des postes locaux mais également en tant que membres extérieurs.

**Participation aux jurys de thèse et d'HDR.** Les membres de l'équipe ont participé à de très nombreux jurys de thèses et d'HDR sur la période. En particulier, Éric Colin de Verdière, Philippe Gambette, Tita Kyriacopoulou, Gregory Kucherov, Antony Labarre, Éric Laporte et Stéphane Vialette ont été au total rapporteurs de douze thèses (dont huit à l'étranger) et quatre HDR.

### 3-2.2.7 Rayonnement

Le rayonnement scientifique des membres de l'équipe est excellent, comme en attestent les points suivants.

**Prix et distinctions scientifiques.** Des membres de l'équipe ADA ont remporté deux années consécutives le prix du meilleur article à la conférence SoCG, qui est la conférence phare en géométrie algorithmique : en 2018 pour l'article "Shellability is NP-complete" (Xavier Goaoc et ses coauteurs [244]) et en 2019 pour l'article "Almost tight lower bounds for hard cutting problems in embedded graphs" (Éric Colin de Verdière, Arnaud de Mesmay et leurs coauteurs [142]). Dans les deux cas, il s'agit d'un unique prix décerné au meilleur article parmi plus de 200 soumissions.

**Invitations.** Durant la période examinée, les membres de l'équipe ont été orateurs invités à de nombreux événements de stature internationale, en particulier :

- Alfredo Hubard a donné un cours au Congrès National de la Société Mathématique Mexicaine (2023).
- Éric Laporte a donné un keynote au International Congress on Natural Language and Speech Processing (2022).
- Éric Colin de Verdière et Arnaud de Mesmay ont donné des exposés invités au Joint Congress of Mathematics AMS-EMS-SMF à Grenoble en 2022.
- Arnaud de Mesmay a donné une *Special Lecture* lors de l'école d'hiver Winterbraids en 2023.
- Mathias Weller a donné un exposé invité au sein du workshop "Algorithmic Aspects of Temporal Graphs" de la conférence ICALP 2021.

Plus largement, les membres de l'équipe sont régulièrement invités à des événements comme les séminaires à Dagstuhl ou à Oberwolfach (uniquement sur invitation), ou dans le cadre de séminaires et de workshops en France et à l'étranger.

**Collaborations internationales** Les membres de l'équipe ont développé de nombreuses collaborations avec des chercheurs issus d'universités et instituts de premier plan à travers le monde, par exemple l'université Ben Gourion (Israël), Oxford University (Royaume-Uni), Simon Fraser University (Canada), l'université de Ljubljana (Slovénie), l'UNAM (Mexique), l'académie des sciences hongroise, l'université d'Eindhoven (Pays-Bas), l'université du Luxembourg, l'université Dartmouth (États-Unis), l'université de Sydney (Australie), l'université de Warwick (Royaume-Uni), l'université Stony Brook (États-Unis), l'université de Mons (Belgique), l'université nationale de Singapour, l'université d'Athènes (Grèce), l'université de Fukuoka (Japon), l'université de Dresden (Allemagne), l'université de Vérone (Italie), l'université de Belgrade (Serbie), l'université Charles de Prague (République Tchèque), la Freie Universität de Berlin (Allemagne), Warsaw University (Pologne), City, University of London (Royaume-Uni), Universidade de Lisboa (Portugal)....

### 3-2.2.8 Valorisation, transfert

**Contributions logicielles** Les recherches de l'équipe s'accompagnent de développement de logiciels mettant en œuvre les travaux algorithmiques. Ces logiciels sont de différents types : certains sont des outils de recherche, d'autres sont conçus pour valider des algorithmes proposés ou les tester sur des données réelles (*proof of concept*), d'autres sont destinés à l'utilisation extérieure.

En bioinformatique, plusieurs logiciels expérimentaux ont été créés dans la période de référence. En phylogénie, le logiciel `tree_order_evaluation` résout le problème de minimisation du nombre de conflits entre un arbre aux feuilles étiquetées et un ordre sur les étiquettes des feuilles. Nous avons également contribué à la bibliothèque C++ `phylo_tools`. D'autre part, trois logiciels ont été créés dans le cadre de la thèse de Yoshihiro Shibuya pour valider de nouvelles structures de données pour les données de séquences : `km-peeler`, `locom` and `fress`. D'autres implémentations faites dans la période servent à tester des algorithmes de décomposition de graphes ou des algorithmes d'analyse de réarrangements génomiques.

En traitement automatique des langues, à part la contribution continue à la plateforme Unitex/GramLab mentionnée plus haut, plusieurs développements ont été faits. Dans le cadre du projet *Cité des Dames* (voir ci-dessus), l'outil `Plaques Du Matrimoine` permet l'identification, dans une ville donnée, des lieux nommés d'après des femmes. Dans le même esprit, le site `Théâtre de femmes 16-18` recense les pièces de théâtre écrites par des femmes du seizième au dix-huitième siècle et l'outil `ABA` permet de moderniser automatiquement des textes en français du 17<sup>e</sup> siècle. Sur le thème d'analyse de textes littéraires, le logiciel `paramatch` compare les successions de personnages dans des pièces de théâtre.

Mentionnons également la plateforme d'enseignement PLaTon développé par Dominique Revuz et ses collègues [387].

**Brevets** Nos travaux dans le domaine du Traitement Automatique des Langues ont abouti à un dépôt d'un brevet sur une méthode originale d'analyse de textes (US Patent no. 11386269-B2) par Tita Kyriacopoulou, Cristian Martinez et leurs collègues. L'approche proposée s'appuie sur les grammaires locales représentées par des transducteurs finis et augmentées d'une ou plusieurs "fonctions externes". La méthode est capable de tolérer des erreurs morphologiques, syntaxiques ou sémantiques dans le texte d'entrée et peut être implémentée dans les chatbots et autres applications.

### 3-2.2.9 Prise en compte des recommandations du précédent rapport

*“Vu sa taille, l'équipe doit faire attention à son fonctionnement. Le comité l'encourage fortement à intensifier ses collaborations internes, car elles pourraient amener à des résultats extrêmement intéressants et originaux.” et “Afin d'enrichir la production et d'augmenter l'impact des recherches, le comité recommande d'intensifier les collaborations internes entre membres travaillant sur des thématiques différentes (visées vers des problèmes en linguistique par exemple).”*

Conformément aux recommandations émanant du précédent rapport HCERES, l'équipe MOA a été scindée en deux équipes : BAAM (Bases de données, Automates, Analyse d'algorithmes et Modèles) et ADA (Algorithmique Discrète et Applications). Cette scission a permis de recentrer les thématiques, et actuellement l'équipe ADA travaille autour de trois thématiques liées : (i) Algorithmique des structures combinatoires et algorithmique pour la bioinformatique, (ii) Géométrie algorithmique et combinatoire et (iii) Linguistique pour le traitement des langues. La structure resserrée des deux nouvelles équipes permet d'encourager les collaborations en interne, démontrées notamment par les publications mises en avant dans le portfolio.

*“Vu sa petite taille, le comité encourage le thème « Linguistique pour le traitement automatique des langues » à intensifier ses collaborations dans l'équipe, dans le laboratoire comme à l'extérieur.” et “Le comité souligne deux points sur lesquels l'équipe doit porter son attention dans le futur : la fragilité du thème « géométrie algorithmique et combinatoire » avec le départ de l'un de ses membres ; et le besoin de développer des interactions, internes et externes, du thème « Traitement Automatique des Langues ».”*

Le thème Traitement Automatique des Langues a bénéficié du soutien constant de l'équipe et du laboratoire pendant la période, et des liens avec les chercheurs des autres axes ont été noués, notamment avec Philippe Gambette. Le départ de Xavier Goac, identifié comme un risque pour le thème "Géométrie Algorithmique et Combinatoire", a été compensé par l'arrivée d'Arnaud de Mesmay, chargé de recherche CNRS, dont les activités de recherche renforcent les thématiques en géométrie algorithmique déjà représentées par Éric Colin de Verdière et Alfredo Hubard.

*Le comité encourage l'extension de l'activité en bio-informatique vers des collaborations avec des équipes de biologie pour trouver des possibilités de publication à plus fort impact, en exploitant l'innovation méthodologique de l'équipe pour traiter d'importantes questions biologiques nécessitant l'analyse et l'interprétation de données biologiques complexes.*

De telles collaborations ont été engagées avec succès, notamment par Gregory Kucherov, ce qui a mené en particulier à des publications à fort impact dans les journaux *Nature Microbiology* [103] et *Genome Biology* [102].

*Le comité encourage l'équipe à diminuer la durée moyenne des thèses.*

Comme partout ailleurs, le covid a eu des répercussions négatives sur le déroulement des thèses, ce qui s'est traduit par une augmentation des durées de thèse.

*Le comité recommande fortement de cartographier et d'assurer la maintenance de son importante production logicielle.*

Une réflexion est menée au niveau du laboratoire, notamment autour de Teresa Gomez-Diaz, pour fournir un cadre unifié au développement et au maintien des logiciels du laboratoire.

*“Le comité recommande aussi de concentrer les efforts pour lever des fonds européens pour les années à venir.” et “Un effort particulier devrait être fait pour recruter plus de post-doctorants, ainsi que pour animer les échanges des doctorants et post-doctorants, dans le but de stimuler les collaborations entre eux et avec le monde de la recherche française”.*

Le recrutement des post-doctorants est étroitement lié à la recherche de financements. L'équipe s'est bien positionnée sur les financements locaux et nationaux (ANR), ce qui a permis le recrutement de trois chercheurs post-doctoraux : Zili Wang, Eleni Kogkitsidou et Revekka Kyriakoglou, ainsi que de Chenglin Fan et Marcos Cossarini qui ont collaboré avec des membres de l'équipe bien que n'étant pas physiquement basés au LIGM. Les financements européens font l'objet d'une attention particulière, aussi bien en local avec la formation de comités individuels pour les accompagner, qu'au niveau national, via la cellule ERC de l'institut Sciences Informatiques du CNRS, mais cela n'a pas abouti à des candidatures sur la période.

*Vu la taille de l'équipe, la création d'un séminaire autogéré des non-permanents pourrait leur permettre de créer une synergie entre eux et entre leurs thématiques. Ils pourraient également y inviter des chercheurs extérieurs au LIGM.*

Un séminaire de doctorants autogéré a été créé avec succès au niveau de l'unité, qui permet stimuler les interactions entre chercheurs non-permanents.

### 3-2.2.10 Introduction du portfolio

Les cinq éléments suivants constituent un échantillon représentatif des travaux de l'équipe ADA et forment son portfolio.

- Dans l'article "Almost Tight Lower Bounds for Hard Cutting Problems in Embedded Graphs" [142], des membres de l'axe *Géométrie algorithmique et combinatoire* ont obtenu des bornes inférieures paramétrées pour des problèmes algorithmiques de découpes de graphes et de surfaces. Une nouveauté importante de cette contribution est d'avoir développé de nouvelles techniques pour identifier des problèmes algorithmiquement intractables lorsqu'on les paramètre par un invariant de nature topologique, le genre. De telles techniques n'étaient pas connues auparavant. Ces résultats ont répondu à des questions de 2004 d'Erickson et Har-Peled et ont été couronnés d'un Best Paper Award à la conférence phare en géométrie algorithmique, SoCG, en 2019. L'article a été ensuite invité et publié dans le Journal of the ACM, revue généraliste de référence en informatique théorique.
- Des membres de l'équipe ont publié une série d'articles sur des problèmes liés à la *reconstruction phylogénétique*. Il s'agit d'un des sujets essentiels de la bioinformatique, qui vise à modéliser l'évolution d'espèces à l'aide de structures combinatoires : *arbres phylogénétiques* et, plus généralement, *réseaux phylogénétiques*. Ces derniers tiennent compte de l'interaction entre lignées évolutives, telle que les transferts horizontaux par exemple. De nombreux problèmes algorithmiques se posent autour de ces structures, et l'équipe a obtenu de nouveaux résultats sur des problèmes de plongements d'arbres dans les réseaux phylogénétiques [227, 459, 453] ainsi que de problèmes de réarrangement génomiques [105], d'enracinement [111] et de calcul de parsimonie [418]. L'équipe a également développé une nouvelle mesure de complexité pour ces réseaux [52], et de nouvelles méthodes de dénombrement [95].
- Les articles de survol [144], par Éric Colin de Verdière, [285], par Gregory Kucherov, et [110], par Laurent Bulteu et Mathias Weller, présentent tous les trois un état de l'art, les défis et les tendances pour trois domaines d'algorithmique : topologie algorithmique sur les surfaces, évolution des algorithmes de recherche de séquences biologiques, et algorithmes paramétrisés en bioinformatique. Ces publications témoignent d'un important recul, nécessaire pour présenter une vue synthétique et critique du domaine et d'un bon positionnement international de l'équipe dans ces domaines.
- Le livre *125 Problems in Text Algorithms* par Maxime Crochemore et ses co-auteurs est paru en 2021 chez Cambridge University Press. Il contient une collection riche et représentative de problèmes de stringologie, entre des problèmes purement combinatoires jusqu'aux applications, telle que compression de textes. Ce livre est un aboutissement d'une longue série de travaux en stringologie au laboratoire, y compris d'autres livres parus précédemment.
- Développé dans le cadre de l'I-Site FUTURE consacré aux villes de demain, le projet *Cité des dames, créatrices dans la cité*, coordonné par Philippe Gambette (membre de l'équipe) et Caroline Trotot, vise à faire mieux apparaître la contribution des femmes à la construction de la culture commune en montrant la présence des lieux urbains dans les œuvres et la présence des créatrices dans les lieux urbains. Un outil créé dans le cadre du projet vise à repérer les voies et les lieux nommés d'après des femmes. Le projet a d'ailleurs fait objet d'un article pour le grand public, paru cette année dans un numéro du Télérama (numéro 3866, 14/02/24).

### 3-2.2.11 Auto-évaluation de l'équipe

#### Points forts

- La qualité des travaux scientifiques de l'équipe nous paraît excellente, ce qui est illustré à la fois par la quantité (on dénombre 192 publications sur la période) et la qualité des publications, qui sont parues dans les meilleurs conférences (FOCS, SODA, ESA, SOCG, RECOMB, ...) et journaux (Journal of the ACM, SIAM Journal of Computing, Information and Computation, Discrete & Computational Geometry, Bioinformatics, ...) au niveau international, ainsi que par des livres et articles de survol de référence.
- L'équipe est bien positionnée sur le plan international comme le montrent les nombreuses collaborations et échanges internationaux fructueux, l'implication dans des conférences et instances d'évaluation internationales. Elle est également activement impliquée dans des structures nationales (GDR ...) et locales (Labex, projets UGE ...).
- Des membres de l'équipe sont fortement impliqués dans la direction de structures de recherche et d'enseignement (direction du laboratoire, du Labex Bésout, de l'Institut Gaspard-Monge).
- Une partie des travaux de l'équipe a un caractère interdisciplinaire (bioinformatique, linguistique) et s'accompagne de développement de logiciels et de plateformes. Des publications à fort impact en bioinformatique et linguistique sont également à souligner.

### Points de vigilance

- L'équipe éprouve des difficultés à attirer des doctorants disposant de la formation initiale adéquate pour ses thématiques, ce qui se traduit par un faible nombre de thèses soutenues sur la période.
- L'équipe doit tâcher d'augmenter sa participation dans des projets européens ainsi que d'autres projets d'envergure, ce qui pourrait lui permettre, entre autres, de recruter des chercheurs post-doctoraux.

### Opportunités

- L'équipe ADA nourrit de très fortes interactions avec le LAMA, comme en témoignent les multiples thèses co-encadrées. Le labex Bezout joue un rôle important dans ces collaborations, qui seront encore développées pendant les prochaines années.
- Un seul enseignant-chercheur a été recruté dans la période de référence. À l'avenir, l'équipe vise à attirer des candidats de qualité sur les postes de chercheurs et enseignant-chercheurs pour renforcer ses thématiques phares.

### Risques liés au contexte

- Les recherches en bioinformatique de l'équipe pourraient être déstabilisées suite au détachement de Mathias Weller à l'Université Technique de Berlin et l'affectation de Gregory Kucherov à l'IRL FILOFOCS à Tel-Aviv (repoussée temporairement au vu du contexte international). Il faudra être vigilant sur ce point.
- Tita Kyriacopoulou a pris la direction de l'Institut Gaspard Monge, ce qui pourrait fragiliser l'axe de Traitement Automatique des Langues.

#### 3-2.2.12 Trajectoire

L'axe "Algorithmique des structures combinatoires et bioinformatique" est issu du groupe "Algorithmique pour la bioinformatique" de l'ancienne équipe MoA, qui à son tour était ancré dans les thématiques de stringologie. Au cours des années, des thèmes d'algorithmique des graphes et complexité paramétrée ont pris de l'ampleur, au détriment des thèmes traditionnels de stringologie. Ces travaux vont se poursuivre. D'autre part, l'évolution propre de la bioinformatique a porté au premier plan les études des structures de données capables de répondre à la croissance exponentielle des données de séquences. Dans les années à venir, nous prévoyons la poursuite de travaux à caractère théorique, alors que la poursuite de travaux plus applicatifs en bioinformatique dépendra du recrutement d'étudiants et post-doctorants.

L'axe "Géométrie algorithmique" a acquis une bonne dynamique pendant la période de référence que nous souhaitons continuer à développer. Le départ de Xavier Goaoc a été compensé par l'arrivée d'Arnaud de Mesmay, et malgré sa petite taille, les chercheurs et enseignants chercheurs impliqués occupent une place de premier plan au niveau national et international, comme en témoignent les publications et les responsabilités (en particulier, Éric Colin de Verdière a été *PC Chair* de SoCG, la principale conférence en géométrie algorithmique). Sur le plan scientifique, les thématiques de l'équipe restent centrées autour de problèmes algorithmiques et topologiques sur les surfaces et de la géométrie combinatoire, mais l'arrivée d'Arnaud de Mesmay a insufflé de nouveaux thèmes de recherche, en particulier sur les aspects algorithmiques de la topologie en trois dimensions. De nouveaux sujets de recherche sont apparus suite aux nombreuses interactions avec les chercheurs du LAMA, en particulier en lien avec la géométrie riemannienne et la géométrie convexe, et ceux-ci seront encore développés lors des prochaines années. Dans une perspective plus appliquée, les membres de cet axe prévoient de s'intéresser à l'algorithmique des surfaces polyédrales *intrinsèques*, qui font l'objet depuis quelques années d'une grande attention en infographie et en traitement géométrique. Il est également prévu de renforcer les collaborations avec les autres chercheurs de l'équipe en montant un groupe de travail sur des projets où les intérêts convergent, c'est notamment le cas de l'algorithmique des graphes et l'algorithmique paramétrée. Une partie importante des travaux de cet axe ont été réalisés sous l'égide du projet PRCI ANR-FNR Structures on Surfaces, qui s'est terminé en 2023. Un projet successeur, qui serait porté par Arnaud de Mesmay, est actuellement en cours de soumission et est actuellement en phase 2 de l'appel à projets générique.

Finalement, dans l'axe "Linguistique", les travaux portent à la fois sur des questions purement linguistiques et sur le traitement automatique des langues naturelles. Cet axe apporte un champ d'application intéressant pour les développements algorithmiques. Les collaborations avec des chercheurs en lettres ont été fructueuses. Notons également les passerelles qui existent entre les questions en bioinformatique et celles en linguistique qui peuvent enrichir l'approche scientifique. L'extension de cet axe est cependant conditionnée par la présence de candidats de bon niveau dans le domaine, qui sont très rares en général.

### 3-2.3 Équipe Base de données, automate, analyse d'algorithmes et modèles (BAAM)

#### Membres permanents de l'équipe

Marie-Pierre Béal	PR	
Arnaud Carayol	PR	<i>Recruté en 2020, depuis CR CNRS</i>
Didier Caucau	DR CNRS	
Olivier Curé	PR	<i>Promu PR en 2022 (repyramidage)</i>
Claire David	MCF	
Léo Exibard	MCF	<i>Recruté en 2022</i>
Wenjie Fang	MCF	<i>Recruté en 2019</i>
Nadime Francis	MCF	
Eric Fusy	DR CNRS	<i>Affecté en 2020, promotion DR</i>
Vincent Jugé	MCF	
Victor Marsault	CR CNRS	<i>Affecté en 2018</i>
Antoine Meyer	MCF	
Cyril Nicaud	PR	
Dominique Perrin	PR ém.	
Liat Peterfreund	CR CNRS	<i>Affectée en 2021, partie en 2023</i>
Carine Pivoteau	MCF	
Fabian Reiter	MCF	<i>Recruté en 2019</i>
Giuseppina Rindone	MCF	<i>Départ à la retraite en 2022</i>
Chloé Rispal	MCF	
Pablo Rotondo	MCF	<i>Recruté en 2021</i>
Marie Van Den Bogaard	MCF	<i>Recrutée en 2020</i>

#### 3-2.3.1 Les thématiques scientifiques et leurs enjeux

L'équipe BAAM (*Base de données, Automates, Analyse d'algorithmes et Modèles*) est issue de la scission de l'équipe MOA (*Modèle et Algorithmes*). Les membres de l'équipe travaillent sur des thèmes variés, avec comme approche commune la modélisation de phénomènes informatiques et l'analyse formelle des modèles obtenus. On y étudie ainsi un continuum allant des applications jusqu'à la modélisation formelle pour les bases de données ou pour l'implantation des algorithmes dans les langages de programmation, tout en développant des outils mathématiques adaptés en logique, systèmes dynamiques symboliques, combinatoire et probabilité discrètes. L'équipe est structurée en deux principaux axes de recherche :

1. Bases de données et méthodes formelles
2. Analyse d'algorithmes

**Bases de données et méthodes formelles** O. Curé travaille sur le traitement de flux de graphes et raisonnement. Ce thème couvre les opérations de gestion de flux de données représentés sous la forme de graphes orientés, étiquetés et acycliques. Les opérations vont de l'interrogation continue au raisonnement, en tenant compte des aspects d'optimisation, par exemple une approche adaptative du traitement de requêtes. Les enjeux associés à ce thème concernent la détection d'anomalies et l'identification de situations exceptionnelles dans des divers secteurs, comme l'industrie, ou la distribution d'énergie. Il est donc essentiel de proposer des solutions capables (i) de répondre à des requêtes expressives avec une faible latence, (ii) de passer à l'échelle et (iii) d'être tolérant à certaines pannes. Les premiers travaux sur le thème, Strider [384], financés dans le cadre d'un projet FUI (Fonds Unique Interministériel) ont mis en évidence des résultats significatifs dans un domaine industriel (gestion de la distribution d'eau potable). Ces derniers ont été adaptés à un contexte d'informatique

à la périphérie (Edge computing) en modélisant le système de gestion de flux à l'aide de structures de données succinctes (SDS), comme des bitmaps et des wavelet trees, obtenant ainsi une représentation frugale de graphes de connaissances et de flux de données [463]. Diverses extensions garantissent l'adaptabilité et l'autonomie de notre approche. Par exemple, lorsqu'une anomalie est détectée dans les données émises par un capteur, le système raisonne sur un ensemble de connaissances du domaine et exploite ensuite une solution de réécriture de requêtes pour initier l'interrogation des données initialement latentes [170].

Une partie de l'équipe a formé un groupe qui s'intéresse à des questions fondamentales de théorie des bases de données. Par exemple, L. Peterfreund a obtenu une série de résultats [296, 149] sur la gestion de bases de données incomplètes. Ces travaux s'inscrivent dans le cadre de l'ANR QUID (2019-2024), dont C. David est la coordinatrice. Sur la période d'évaluation, le groupe s'est en particulier intéressé à la formalisation de systèmes réels de gestion de graphes de données. Cette démarche a permis de nourrir l'état de l'art de nouvelles questions fondamentales mais aussi d'identifier les points aveugles des modèles théoriques traditionnels. N. Francis, V. Marsault et L. Peterfreund ont développé une expertise en matière de formalisation de langages de requêtes réels, qui est valorisée à travers des collaborations avec des acteurs privés. N. Francis et V. Marsault ont collaboré avec l'entreprise Neo4j afin de formaliser et d'analyser le langage de requête Cypher. Ce travail a donné lieu à deux publications [215, 246] dans des conférences majeures du domaine. Avec L. Peterfreund, ils ont ensuite participé à l'élaboration du standard pour le nouveau langage de requêtes GQL sous l'égide de l'ISO (GQL [213, 214] et SQL/PGQ [177]). V. Marsault a également participé à un groupe mixte visant à proposer un système de schema pour GQL [23]. Ce travail a été récompensé du *best paper award* à la conférence ACM-Sigmod. Depuis 2022, V. Marsault et L. Peterfreund conseillent l'entreprise RelationalAI sur leur langage de requêtes *Rel*, et sur la faisabilité de traduire d'autres langages (SQL, GQL) vers *Rel*.

Cet effort de formalisation a été le point de départ de travaux théoriques sur les sémantiques des requêtes de chemin sur les graphes de données. En effet, bien que le nombre de chemins satisfaisant une requête dans un graphe de données puisse être infini, le résultat renvoyé par le système doit être fini. Le choix d'une *sémantique* revient à décider d'un critère pour choisir les "bons" chemins à conserver. L'approche théorique classique, consistant à ne renvoyer que les extrémités des chemins (*endpoint semantics*), ne suffit donc pas à décrire le comportement des systèmes réels. D'autre part, l'approche la plus utilisée en pratique, consistant à interdire les chemins qui répètent une arête (*trail semantics*) ou un sommet (*acyclic semantics*), pose des problèmes tant en termes d'expressivité que de complexité d'évaluation. C. David, N. Francis et V. Marsault ont proposé deux nouvelles sémantiques (*simple-run* et *binding-trail* [164]) qui permettent d'énumérer les réponses à une requête avec un délai polynomial, tout en offrant de bonnes garanties théoriques de complexité et d'expressivité. De plus, C. David, N. Francis et V. Marsault ont récemment proposé un nouvel algorithme [165] d'énumération des plus courts chemins satisfaisant la requête (*all-shortest-walks semantics*) qui est l'autre approche dominante en pratique. Cet algorithme traite efficacement les cas où les algorithmes classiques produisent plusieurs fois le même chemin, des cas pouvant arriver dans la réalité mais généralement impossible dans le cadre considéré en théorie. Parallèlement, V. Marsault et A. Meyer mènent des travaux plus prospectifs visant à aller au delà des sémantiques usuellement utilisées en pratique, dans la continuité des travaux sur la sémantique *simple-run*. Ils s'intéressent en particulier à établir des critères formels permettant d'évaluer la qualité d'une sémantique, et à définir de nouvelles sémantiques qui satisfont ces critères de qualité. A. Meyer a également engagé une reconversion thématique vers la didactique de l'informatique, bénéficiant d'un CRCT ; dans ce cadre il participe à l'ANR JCJC DEmain avec des collègues de Montpellier.

M. Van Den Bogaard s'intéresse aux critères de rationalité dans les jeux multijoueurs sur graphes à somme non-nulle. Ces jeux représentent un outil puissant pour modéliser des systèmes interactifs complexes. Dans ce modèle, chaque joueur a son propre objectif, qui peut coïncider ou non avec ceux des autres. Le cadre le plus célèbre, l'équilibre de Nash, fait l'hypothèse que les joueurs sont rationnels dans une certaine mesure. En effet, une limite de ce concept est la tolérance pour les menaces non-crédibles : les joueurs peuvent, dans certains scénarios, prévoir des comportements qui ne prennent plus en compte leurs objectifs. Cette limite pose la question de la pertinence des différents critères de rationalité (existants ou à définir). M. Van Den Bogaard s'attelle, principalement en collaboration avec ses collègues de l'Université libre de Bruxelles, à répondre à ces questions, notamment en étudiant le concept d'*équilibre parfait en sous-jeux*, dans différents contextes (types de condition de gain, vérification / synthèse, niveaux d'information). Ces travaux sont également la base de la thèse de Léonard Brice, démarrée en 2021 à l'Université libre de Bruxelles et co-encadrée avec le Professeur Jean-François Raskin.

D. Cauca et C. Rispal ont étendu la notion classique de reconnaissabilité d'Eilenberg aux automates infinis, en introduisant une condition structurelle sur les morphismes pour extraire des algèbres de Boole de diverses familles de langages. En restreignant l'approche aux morphismes déterministes qui préservent la longueur, ils parviennent à obtenir des algèbres de Boole pour les automates à pile, permettant ainsi de reconnaître des langages contextuels et algébriques visibles [116, 117]. À la suite de leurs travaux sur la reconnaissabilité,

D. Caucal et C. Rispal ont montré comment construire des transducteurs infinis pour capturer les itérations de fonctions arithmétiques complexes telles que la fonction de Collatz. Par ailleurs, D. Caucal a donné des caractérisations simples et sous certaines conditions effectives des graphes de Cayley de monoïdes, de demi-groupes et de groupes [114, 115, 113].

Le projet de F. Reiter vise à appliquer des méthodes formelles au cadre du calcul distribué. Un thème central de ses travaux est l'identification d'équivalences entre des classes d'algorithmes distribués et des classes de formules logiques. Il a utilisé cette approche pour montrer que plusieurs concepts et résultats de la théorie de la complexité classique se généralisent bien lorsqu'on passe d'une machine unique à un réseau de machines synchronisées. En particulier, on peut généraliser la notion de réduction polynomiale, plusieurs résultats de NP-complétude, tels que le théorème de Cook-Levin, ainsi que le théorème de Fagin, qui fournit une caractérisation logique de la classe NP. Mais ce qui est peut-être plus surprenant, c'est que la séparation de classes de complexité devient plus facile dans le cas général : alors que l'infinité de la hiérarchie polynomiale reste une grande question ouverte de la théorie de la complexité, on peut prouver que la généralisation de cette hiérarchie au cadre distribué est en effet infinie

L. Exibard cherche à étendre les méthodes formelles au cas des systèmes réactifs *avec données*. Les systèmes réactifs sont en interaction continue avec l'environnement au sein duquel ils se situent, et sont notoirement difficiles à concevoir correctement. On suppose habituellement que le système et l'environnement interagissent via des signaux issus d'un ensemble fini, typiquement de petite taille. Suffisant pour modéliser le contrôle du système, ce cadre ne capture pas la manipulation des flux de données, ni la structure qui peut exister, par exemple lorsque les signaux sont ordonnés. Parmi les méthodes formelles, la synthèse réactive consiste à générer automatiquement un système réactif à partir de la spécification de son comportement attendu. L. Exibard a étudié la synthèse de transducteurs à registres, un modèle capable de stocker et de comparer des données entre elles, montrant que les procédures existantes se généralisent dans le cas de spécifications de sûreté, modélisées par des automates à registres universels, mais échouent dans le cas des automates non-déterministes [200, 199]. Il s'est par la suite intéressé à la vérification à l'exécution, qui consiste à surveiller l'exécution d'un système pour s'assurer qu'il satisfait sa spécification, avec le groupe réuni autour du projet MoVeMnt à Reykjavik University qui développe l'outil *detectEr*. Ils ont raffermi les fondements théoriques de l'outil, permettant de découvrir et de corriger un bug important. Cela a donné lieu à des développements théoriques supplémentaires visant à fonder de manière plus robuste la vérification à l'exécution dans le cas des systèmes avec données.

L'objectif de la thèse de L. Charamond, encadrée par A. Carayol et O. Serre (IRIF, Paris Cité), est de caractériser les limites de l'expressivité des schémas récursifs d'ordre supérieur. Ces schémas sont des modèles abstraits qui représentent les programmes fonctionnels purs utilisés dans le domaine de la vérification afin de décrire l'arbre de toutes les exécutions possibles d'un programme. Pour une sous-famille des schémas, ils ont donné un critère simple permettant de montrer que des arbres infinis ne sont pas descriptibles par des schémas dit *sûrs*. En utilisant des résultats récents de théorie des nombres, ils concluent que ces schémas ne peuvent pas servir à décrire des nombres réels qui sont des irrationnels algébriques.

Le livre *Profinite Semigroups and Symbolic Dynamics* est paru en 2020 [20]. C'est le résultat d'une collaboration entre le LIGM (R. Kyriakoglou, D. Perrin) et deux collègues portugais (Jorge Almeida, de Porto et Alfredo Costa, de Coimbra). Le livre expose le lien entre un système dynamique minimal  $X$  et un groupe profini, appelé *groupe de Schützenberger* de  $X$ . Le travail sur ce sujet a aussi donné lieu à des articles [19] ainsi qu'à la thèse de R. Kiriakoglou [287]. Le livre *Dimension Groups and Dynamical Systems* [185] par F. Durand et D. Perrin est la première présentation complète des groupes de dimension pour les systèmes de la dynamique symbolique. Il incorpore aussi de nombreux résultats des recherches conduites par un groupe comprenant V. Berthé (IRIF), F. Dolce (Prague), V. Delecroix (Bordeaux), C. De Felice (Salerno), J. Leroy (Liège), D. Perrin et G. Rindone sur les espaces dendriques [53, 55, 180].

La thèse d'A. Ryzhykov [404], préparée sous la direction de Dominique Perrin, porte sur les codes à longueur variable. Elle contient en particulier des résultats nouveaux sur le problème de la synchronisation dans les automates non-déterministes [280, 371, 403]. C. Nicaud a également travaillé sur la synchronisation des automates, mais dans un cadre probabiliste [50, 358] : il a notamment montré que la *Conjecture de Cerny* était vraie avec forte probabilité quand on tirait un automate déterministe au hasard.

Dans le cadre de sa thèse encadrée par A. Carayol et C. Nicaud, F. Koechlin a travaillé à la frontière entre les deux axes de l'équipe, en étudiant la notion d'ambiguïté dans les langages formels au moyen d'outils issus de la combinatoire analytique. Un langage rationnel peut toujours être représenté par un automate déterministe, donc non-ambigu. Ce n'est pas le cas pour un langage algébrique, qui peut être *intrinsèquement ambigu* au sens où il n'est décrit par aucune grammaire non-ambiguë. Dans les années 80, Ph. Flajolet a donné un critère analytique pour prouver qu'un langage algébrique  $\mathcal{L}$  est intrinsèquement ambigu : sa série de comptage  $L(z) := \sum_{n \geq 0} \ell_n z^n$ , où  $\ell_n$  est le nombre de mots de taille  $n$  de  $\mathcal{L}$ , doit être *algébrique* au sens des séries

formelles. Par contraposée, si elle ne l'est pas, alors  $\mathcal{L}$  est intrinsèquement ambigu. A. Bostan (INRIA Saclay), A. Carayol, F. Koechlin et C. Nicaud ont étendu ce résultat [77] : ils se sont intéressés aux automates de Parikh qui permettent de généraliser de façon naturelle les langages algébriques, et les ont reliés aux *séries holonomes* qui sont les séries formelles solutions de systèmes d'équations aux dérivées partielles. Cela permet de s'appuyer sur les développements récents en combinatoire pour obtenir des critères d'intrinsèque ambiguïté, mais aussi des algorithmes de décisions pour les automates de Parikh.

**Analyse d'algorithmes** Cet axe consiste à étudier finement les performances d'algorithmes, en allant au-delà de l'analyse classique dans le pire cas. On s'intéresse par exemple à de la complexité en moyenne, à introduire des paramètres pertinents pour affiner l'analyse, ou à obtenir des résultats plus précis que des  $\mathcal{O}$ . Cela nécessite souvent d'utiliser des outils mathématiques issus de la combinatoire énumérative, de la combinatoire analytique, ou des probabilités discrètes ; une partie de l'équipe s'est spécialisée dans leur développement.

Dans ce cadre, V. Jugé a continué l'étude des algorithmes de tri modernes, tels qui sont implantés dans les langages de programmation comme Java, Python, Rust, ... Ces algorithmes sont devenus populaires suite au succès de TimSort, créé au début des années 2000 pour Python, et exploitent notamment le fait que les données réelles sont souvent déjà partiellement triés quand on appelle un algorithme de tri en pratique. Cette notion peut être formalisée par l'entropie des longueurs des plages : si on découpe le tableau de taille  $n$  à trier en suites monotones maximales de longueurs  $r_1, r_2, \dots, r_k$ , puis que l'on tire un élément du tableau au hasard et que l'on note la suite à laquelle cet élément appartient, on obtient une variable aléatoire dont l'entropie de Shannon est la quantité  $\mathcal{H} = -\sum_{k=1}^k \frac{r_k}{n} \log_2 \frac{r_k}{n}$ . Si une borne inférieure classique indique qu'il faut en général  $n \log_2 n$  comparaisons pour trier un tableau, on peut en fait préciser cette borne pour démontrer que, les longueurs  $r_1, r_2, \dots, r_k$  étant prescrites,  $n\mathcal{H}$  comparaisons restent nécessaires. Il est alors naturel de chercher un algorithme qui atteint cette borne au premier ordre de grandeur ; un tel algorithme est dit *adaptatif* si cette borne est atteinte quelle que soit la valeur de  $\mathcal{H}$ . C'est ce qu'a fait V. Jugé [273] en proposant un algorithme utilisant  $n\mathcal{H} + \mathcal{O}(n)$  comparaisons dans le pire cas, là où TimSort en fait  $1.5n\mathcal{H} + \mathcal{O}(n)$ . Avec ses stagiaires, il a également mené une étude fine d'une heuristique de TimSort, en étudiant son impact général pour toute une catégorie d'algorithmes basés sur la fusion de suites monotones [237], et censée être efficace pour trier les tableaux ne contenant que peu de valeurs distinctes. Il a ainsi démontré que cette heuristique pouvait échouer et requérir  $\Omega(n \log n)$  comparaisons pour trier des tableaux avec seulement trois valeurs ; il en a alors proposé une variante plus simple qui permet de trier tout tableau contenant  $\sigma$  valeurs distinctes en utilisant de l'ordre de  $n \log(\sigma)$  comparaisons.

Avec une approche similaire, C. Nicaud et P. Rotondo ont initié une collaboration avec C. Martinez de l'Université de Barcelone, autour de l'analyse de la façon dont les tables de hachage sont implantés en pratique. Dans un premier travail sur ce thème [313], ils ont mené une analyse probabiliste qui révèle des défauts dans l'implantation des *tables* en LUA, qui sont des structures hybrides entre tableaux et tables de hachage. Ils ont montré que dans le cadre d'un scénario simple où on ajoute un élément avec probabilité  $p \in (\frac{1}{2}, 1)$  et en supprime un avec probabilité  $1 - p$ , le coût amorti d'une opération est  $\Theta(\log n)$  au lieu du  $\Theta(1)$  attendu. Ils proposent également des solutions faciles à mettre en place pour corriger ce défaut.

Ce type d'études nécessite parfois d'affiner le modèle d'ordinateur sous-jacent pour incorporer des mécanismes d'architecture modernes dans l'analyse. Profitant de leur expertise sur le sujet, C. Nicaud, C. Pivoteau et S. Vialette (ADA) ont par exemple initié une collaboration sur l'impact de la prédiction de branchement sur les algorithmes de recherche de motif : les ordinateurs possèdent un pipeline, qui permet de paralléliser l'exécution des instructions, mais qui a besoin d'anticiper quelle sera l'instruction suivante quand il y a un branchement (un *if* ou une boucle) pour être efficace. Il y a des mécanismes internes classiques pour le faire, qui peuvent être ajoutés au modèle théorique d'ordinateurs pour en étudier l'impact sur les performances.

Le projet STIC-AmSud EPAA (France, Argentine, Chili, Uruguay) coordonné par Pablo Rotondo approche la question de la complexité de façon orthogonale, en étudiant la notion d'entropie, en tant que mesure de la complexité, vue principalement à travers une perspective probabiliste. Il s'agit de donner un cadre formel aux questions suivantes : à quoi ressemble un objet de basse complexité ? Comment construire ces objets (rares) ? Plusieurs perspectives sont adoptées sur ces questions, de la théorie de l'information et de la combinatoire analytique aux systèmes dynamiques symboliques. Notamment, ils ont étendu les théorèmes de changement de base à des sources d'entropie nulle, en introduisant une fonction dite de poids, qui joue un rôle analogue à l'entropie, quand celle-ci est nulle [54]. Ils ont aussi étudié la profondeur moyenne des "tries" (arbres dictionnaire) associés à certaines de telles sources [54].

Les analyses ci-dessus utilisent de nombreux outils mathématiques issus de la combinatoire, plus précisément de la combinatoire bijective et énumérative, et de la combinatoire analytique. Plusieurs membres de l'équipe BAAM sont des spécialistes de ces sujets, s'intéressent aux objets fondamentaux de ces domaines et développent des techniques avancées pour les étudier.

Dans le cadre de sa thèse encadrée par É. Fusy et V. Jugé, J. Roupin étudie les monoïdes de tresses, qui sont des monoïdes finiment présentés, et la représentation de leurs éléments par des mots. Son approche consiste à étudier des formes normales, c'est-à-dire le choix d'un représentant canonique de chaque élément du monoïde, et leurs propriétés algébriques ou algorithmiques : L'ensemble des mots de la forme normale est-il rationnel ? La multiplication de deux éléments, dans le monoïde, peut-elle être simulée avec des transducteurs ? Quelle complexité peut-on attendre d'algorithmes destinés à vérifier qu'un mot est en forme normale ou à calculer la forme normale d'une tresse donnée ? J. Roupin s'intéresse notamment aux formes normales alternante et rotative, qui sont en lien étroit avec un ordre total sur les tresses compatible avec la multiplication à droite (c'est-à-dire que  $x < y$  si et seulement si  $xz < yz$ ), et au centre de nombreuses conjectures formulées par P. Dehornoy dans les années 2000.

La combinatoire bijective cherche à dévoiler des liens cachés entre des objets en apparence différents. La transformation bijective d'objets compliqués en des objets plus simple donne une méthode d'énumération élégante, et aussi souvent des algorithmes de manipulation efficace, et des résultats structurels profonds.

Les cartes combinatoires (définies comme recollements de polygones pour former une surface combinatoire, ou comme dessins topologiques de graphes sur une surface) illustrent à merveille l'apport des méthodes bijectives. Les bijections développées depuis les premiers travaux de Cori-Vauquelin-Schaeffer permettent d'obtenir des preuves éclairantes des formules d'énumération, et d'étendre ces formules. Elles donnent par ailleurs accès aux propriétés métriques (diamètre, limite d'échelle) des cartes planaires aléatoires, un domaine très actif depuis une vingtaine d'année, en lien avec la gravité quantique 2d. Dans ce domaine, la thèse de Z. Salvy, co-encadrée par E. Fusy et M. Albenque (IRIF, Paris Cité) propose une étude détaillée de modèles de cartes aléatoires faisant apparaître une transition de phase entre un comportement branchant (arbre brownien comme limite d'échelle) et un comportement de carte 2d (carte brownienne comme limite d'échelle), de tels modèles étant inspirés par l'étude de certains espaces métriques formés par branchement de bulles (travaux précédents de V. Bonzom de l'équipe Combi). D'autre part les bijections développées pour les cartes planaires s'appuient sur des structures combinatoires (notamment les bois de Schnyder) qui ont été récemment généralisées et utilisées pour des nouveaux algorithmes de dessin de graphes (travaux d'E. Fusy en collaboration avec O. Bernardi et S. Liang, Brandeis Univ). De telles structures combinatoires ont aussi des liens avec des objets de géométrie discrète (rectangulations, polyèdres en coins), et permettent de les énumérer exactement et asymptotiquement, voir les travaux d'E. Fusy avec E. Narmanli, doctorant à École polytechnique, et G. Schaeffer (LIX).

Par ailleurs, W. Fang et É. Fusy ont approfondi l'étude bijective des liens entre les intervalles dans le treillis de Tamari et les cartes combinatoires. Le treillis de Tamari est un ordre partiel sur les arbres binaires de même taille défini par la rotation d'arbre, une opération aussi utilisée dans de nombreux structures de données comme les arbres automatiquement équilibrés. Dans la continuation de travaux précédents, W. Fang a établi une nouvelle bijection entre une famille d'intervalles du treillis de Tamari, les cartes planaires biparties, et certaines familles de  $\lambda$ -termes linéaires. Cela permet d'énumérer les objets en questions raffinés par des paramètres intéressants en transférant les résultats sur les cartes. Récemment, W. Fang et É. Fusy, en collaboration avec P. Nadeau (CNRS, ICJ), ont trouvé une nouvelle bijection entre les intervalles de Tamari et les arbres bourgeonnants, un objet très utilisé dans l'étude bijective des cartes combinatoires, qui permet de retrouver de manière unifiée tous les résultats bijectifs connus entre les intervalles de Tamari et les cartes combinatoires. Cette bijection permet également d'énumérer les intervalles de Tamari avec symétrie.

### 3-2.3.2 Animation scientifique de l'équipe

**Organisation de la vie de l'équipe** Les membres de l'équipe sont tous au même étage du même bâtiment, ce qui rend les interactions faciles au quotidien.

En plus du séminaire général du laboratoire, nous avons créé deux groupes de travail, autour des activités "analyse d'algorithmes" et "bases de données". Ils sont organisés comme des lieux de rencontre libres et souple, où l'on peut aussi bien présenter un travail en cours, un article qu'on a lu, un problème à résoudre, mais aussi demander des conseils de carrières, préparer des réponses à des appels à projets, ... C'est aussi le bon endroit pour que les doctorants fassent leurs premières présentations, ce qui est systématiquement encouragé.

Nous veillons également à ce que les moniteurs et les ATER croisent de nombreux collègues différents lors de leurs missions d'enseignement, pour qu'ils aient d'autres opportunités de discuter de leurs travaux et de leur poursuite de carrière.

**Animation de la recherche** O. Curé a participé d'organisation d'AWD en 2019 et 2020, L. Exibard de YR-CONCUR en 2023, et V. Jugé de CPM 2023.

Par ailleurs, M.P. Beal et D. Perrin ont bénéficié d'une "Actions Incitatives Internationales UGE" en 2023 afin de continuer le développement de collaboration avec Palerme. P. Rotondo et C. Nicaud ont organisé un workshop d'une semaine en 2023 sur les thèmes du projet (AAP CNRS & UGE) "A fine study of algorithmic choices in common programming languages". P. Rotondo a également organisé le Meeting projet STIC-AMSUD RAPA2 en 2020, et E. Fusy les Journées ANR 3dMaps en 2022.

En 2019, dans le cadre d'une école **Cimpa**, C. Nicaud a donné 30 heures de cours de M2 à Antananarive (Madagascar).

En ce qui concerne les invitations à l'étranger :

- D. Caucau a effectué 4 séjours de plus de 3 semaine pour donner des cours à l'université de Bobo Dioulasso (Burkina Faso) ;
- D. Caucau est régulièrement invité à l'université de Fianarantsoa (Madagascar) ;
- W. Fang une semaine à la National University of Singapore en 2023 ;
- V. Jugé une semaine à l'Université de Séville (Espagne) en 2019 ;
- V. Marsault, deux fois une semaine à l'université de Liège en 2019 ;
- C. Rispal, une semaine à l'Université de Pondicherry (Inde) en 2023 ;
- M. Van Den Bogaard, une semaine à l'Université libre de Bruxelles en 2023 ;

Par ailleurs, nous avons reçu la visite de M. Sciotino (Université de Palerme, Italie) en 2023, d'A. Restivo (Université de Palerme, Italie) en 2022 et de T. Asir (Université de Pondicherry, Inde) en 2023.

**Prix et distinctions** Les publications de plusieurs membres de l'équipe ont été distinguées comme "best paper" : L. Exibard (COORDINATION 2022), N. Francis, V. Marsault et L. Peterfreund (BDA 2023), V. Marsault (SIGMOD 2023, industrial track) et M. Van Den Bogaard (CONCUR 21).

Pour sa thèse réalisée sous la direction d'A. Carayol et C. Nicaud, F. Koechlin a obtenu le prix de thèse Paris-Est en 2022 et un accessit au prix de thèse Gilles Kahn de la SIF en 2023.

**Encadrements** Le tableau ci-dessous donne la liste des doctorants qui ont fait tout ou partie de leur doctorat au LIGM pendant la période évaluée.

Nom	Statut actuel	Années	Encadrement
<i>Nicolas Auger</i>	Sect. privé	14 - 18	C. Nicaud, C. Pivoteau
<i>Badre Belabbess<sup>+</sup></i>	Sect. privé	16 - 18	O. Curé
Aaron Boussidan	Doctorant	21 - ...	Ph. Gambette (ADA), C. Nicaud
Lucien Charamond	Doctorant	22 - ...	A. Carayol
Loris Créantor	Doctorant	23 - ...	A. Carayol, R. Forax (LRT)
<i>Joffrey De Oliveira*</i>	Sect. privé	21 - 23	O. Curé, P. Calvez (ENGIE)
<i>Revekka Kyriakoglou</i>	MdC P8	15 - 19	D. Perrin
<i>Florent Koechlin</i>	CR CNRS	18 - 21	A. Carayol, C. Nicaud
<i>Jérémy Lhez</i>	Sect. privé	14 - 18	O. Curé
<i>Xiangnan Ren<sup>+</sup></i>	Sect. privé	15 - 18	O. Curé
June Roupin	Doctorant.e	22 - ...	E. Fusy, V. Jugé
<i>Andrew Ryzhikov</i>	Postdoc	17 - 20	D. Perrin
Zéphyr Salvy	Doctorant.e	21 - ...	E. Fusy, M. Albenque (IRIF, Paris Cité)
Ludovic Schwob	Doctorant	23 - ...	W. Fang, J.-C. Novelli (Combi)
<i>Maxime Thouvenot*</i>	Sect. privé	19 - 22	O. Curé, P. Calvez (ENGIE)
<i>Wei qin Xu*</i>	Sect. privé	18 - 21	O. Curé, P. Calvez (ENGIE)

(+) B. Belabbess et X. Ren ont effectué des thèses CIFRE en partenariat avec ATOS Entreprise.

(\*) J. De Oliveira, M. Thouvenot et W. Xu ont bénéficié d'un financement d'ENGIE.

Les membres de l'équipe ont également participé à l'encadrement de plusieurs doctorants dans d'autres laboratoires :

Nom	Lieu	Années	Encadrement
Léonard Brice	ULB (Belgique)	21 - ...	J.F. Raskin, M. Van Den Bogaard
Sirine Boudabbous	La Réunion	22 - ...	D. Caucal, E. Payet (La Réunion)
Alexandre Mansard*	La Réunion	14 - 20	D. Caucal, Ch. Delhommé (La Réunion)
Ankhita Merin	Pondichéry, Inde	23 - ...	Asir (Pondichéry), D. Caucal
Erkan Narmanli	LIX	19 - 22	E. Fusy, G. Schaeffer (LIX)

(\* ) A. Mansard a effectué son doctorat alors qu'il était enseignant à plein temps en lycée.

Ayant effectué ou finissant leur doctorat hors de l'université, nous avons collaboré avec Carl-Frederik Nyberg Brodda et Pablo Rotondo sur des contrats d'ATER d'un an.

Nous avons également accueilli une vingtaine de stagiaires, de L3 à M2, pendant la période évaluée, venant principalement de nos masters, d'autre masters parisiens et d'Iran.

**Collaborations scientifiques** Les principales collaborations scientifiques de l'équipe sur la période évaluée sont avec :

- le CRIGEN d'Engie (O. Curé), sur l'étude des problématiques de gestion de données du type graphe ;
- les entreprises Neo4j et RelationIIA (N. Francis, V. Marsault, L. Perterfreund) sur les langages de requêtes en base de données ;
- M.P Béal et D. Perrin ont une collaboration, soutenue par deux projets locaux, avec l'université de Palerme, autour de la dynamique symbolique et de la combinatoire des mots ;
- Le GREYC (Caen) et C. Martinez (Barcelone, Espagne) sur l'analyse des algorithmes implantés dans les langages de programmation (W. Fang, V. Jugé, C. Nicaud, C. Pivoteau, P. Rotondo).
- D. Caucal entretient des collaborations avec les universités de Bobo Dioulasso (Burkina Faso) et de Fianarantsoa (Madagascar)

Continuant leur travaux initié en doctorat ou post-doctorat, on peut également noter des collaboration régulières de L. Exibard avec l'université de Reykjavik (Islande), M. Van Den Bogaard avec l'université libre de Bruxelles et de P. Rotondo avec le GREYC (Caen), l'IRIF (Paris Cité) et Université de Montévidéo (Uruguay).

### 3-2.3.3 Ressources financières

#### Projets ANR

- ANR QUID 2018-2024 porté par C. David, et avec la participation de N. Francis, V. Marsault et L. Perterfreund
- ANR 3dMaps (étude combinatoire et algorithmique des cartes 3D), dont E. Fusy est porteur local et à laquelle participe W. Fang
- V. Marsault participe à l' ANR VeriGraph (Verifiable Graph Queries and Transformations) ANR-21-CE48-0015
- M.P. Béal participe à l'ANR IZES (Inside Zero Entropy Systems), portée par Fabien Durand, 2022 – 2026
- W. Fang participe aux ANR suivantes :
  - ANR 3DMaps (ANR-20-CE48-0018, Adrian Tanasa), 2021 – 2025
  - ANR LambdaComb (ANR-21-CE48-0017, Noam Zeilberger), 2021 – 2025
  - ANR IsOMA (ANR-21-CE48-0007, Marie Albenque), 2021 – 2025
  - ANR PAGCAP (ANR-21-CE48-0020, Viviane Pons, Cesar Ceballos), 2022 – 2026
  - ANR CartesEtPlus (Guillaume Chapuy), 2023 – 2027
- E. Fusy participe à l'ANR Combiné (combinatoire énumérative et interactions)
- A. Meyer participe à l'ANR JCJC "DEMaIn - Didactique et Épistémologie des interactions entre Mathématiques et Informatique", 2016-2020.

#### Projets internationaux

- P. Rotondo porte un projet STIC-AmSud avec l'Amérique du Sud (40k€) : *Entropy and Probabilistic Analysis in Algorithms (EPAA)* 2023–2025.
- W. Fang participe au PHC Amadeus (Autriche) *Asymptotic behavior of combinatorial structures*, 2023 – 2024
- W. Fang participe au PHC Merlion (Taiwan) *Untangling tanglegrams and applications to chronological document analysis*, 2023 – 2024

### Projets initiateurs

- C. Pivoteau a bénéficié d'un financement AAP CNRS (5k€) : "prédiction de branchements et algorithmique" en 2019-2020
- P. Rotondo a bénéficié d'un financement UGE (5k€) et d'un AAP CNRS (5k€) : "A fine study of algorithmic choices in common programming languages" en 2022-2023
- M.P. Béal porte une "Actions Incitatives Internationales UGE", en 2023, pour ses collaboration avec l'université de Palerme.

### Secteur privé

- Le partenariat entre ENGIE et O. Curé, institutionnalisé par une convention en 2018, a permis le financement de 2 stages de M2, de 4 doctorats, ainsi que 40k€ de financement.
- En début de période d'évaluation, en 2018, deux thèses sur financement CIFRE (ATOS Entreprise) ont été soutenue sous la direction d'O. Curé
- Les travaux de consultant pour RelativeIA de V. Marsault sont en cours d'officialisation ; ils ont pour l'instant financé une semaine de groupe de travail en 2023.

### 3-2.3.4 Responsabilités dans l'environnement recherche

#### Responsabilités internationales

Les membres de l'équipe sont régulièrement sollicités pour participer aux comités de programme des conférences internationales de leurs domaines de recherche, ainsi que des conférences généralistes en informatique théorique. Sur la période évaluée, on décompte ainsi la participation à 42 comités de programme : AofA, AxD (x3), CIAA (x6), CiE (x2), CPM (x2), CSL, DLT, FPSAC, FSTTCS, GandALF, Highlights, ICDT (x2), ISWC (x4), PODS, LATA (x3), LATIN, LICS, STACS (x3), The Web conference (x6) et WORDS.

Par ailleurs, M.P. Béal est membre du Steering Committee de DLT (Development in language theory), la conférence de référence en théorie des langages, sur toute la période d'évaluation. Depuis 2022, C. Nicaud est membre du Steering Committee de la conférence généraliste internationale STACS ( International Symposium on Theoretical Aspects of Computer Science).

Concernant les responsabilités pour les revues scientifiques, O. Curé est éditeur de *Journal of Semantics* 2021, E. Fusy est éditeur associé d'*Annals of Combinatorics* depuis 2019 et d'*Electronic Journal of Combinatorics* depuis 2020, et D. Perrin est éditeur de *Theoretical Computer Science*, *Advances in applied mathematics* et *Semigroups forum* sur toute la période évaluée.

Pour les exposés invités, D. Caucal et C. Rispal ont été invités à ICSFA (Symposium on Algebra and Discrete Mathematics) en 2023, E. Fusy à FPSAC (Formal Power Series and Algebraic Combinatorics) en 2023, V. Jugé et C. Nicaud à AofA (Analysis of Algorithms) en 2019 et 2021, C. Nicaud à PSC (Prague Stringology Conference) en 2023, M.P. Béal à la Conférence Dyadisc en 2023 et aux JCB (Journées Combinatoires de Bordeaux) en 2023 et D. Perrin à DLT (Developments in Language Theory) en 2018.

#### Responsabilités nationales

C. David a été membre nommée du CNU 27 jusqu'en 2019. M.P. Beal a participé au comité HCERES de l'I2M (Institut de Mathématiques de Marseille) en 2022. C. Nicaud a été co-animateur du GT-ALEA du GDR-IM, réunissant plus de 200 chercheurs, sur la période évaluée.

Un peu plus éloigné de la recherche, mais qu'il nous paraît intéressant de mentionner : C. Nicaud est dans le jury de la toute jeune agrégation externe d'informatique depuis sa création en 2022, V. Jugé entraîne l'équipe de France des Olympiades de mathématiques, C. Pivoteau et A. Carayol ont fait partie du jury du prix de thèse Gilles Kahn de la SIF, et enfin V. Jugé, C. Pivoteau et P. Rotondo ont fait partie du jury du SWERC, le concours de programmation.

#### Responsabilités locales, articulation enseignement-recherche

Les membres de l'équipe sont très impliqués dans l'administration des enseignements, en L, en M et au département de l'IUT de Champs-sur-Marne : C. Rispal est responsable d'année et responsable des matières à l'IUT, C. Pivoteau est responsable du M1 informatique, A. Carayol est responsable du Master Informatique, C. Nicaud est responsable de la filière de M2 "Mathématiques et Informatique", O. Curé est responsable de la filière de M2 "Génie Logiciel", A. Meyer et V. Jugé ont été ou sont responsables de la Licence Informatique. N. Francis fait partie du groupe de réflexion sur l'évolution des maquettes. P. Rotondo est responsable du double diplôme de Master avec l'université de Palerme.

Nous participons également activement aux leviers entre enseignement et recherche disponibles via le Labex Bezout, qui va se transformer en Graduate School en 2024. C. Nicaud est directeur adjoint du Labex et à ce titre participe à la sélection des candidats sur les bourses internationales de Master, et A. Carayol est membre du comité d'attribution des bourses au mérite (ce sont quelques financements en M1 et M2, qui sont conditionnés à ce que l'étudiant ait la volonté de s'orienter vers un doctorat).

E. Fusy est directeur adjoint de l'école doctorale ED-MSTIC dont dépend le LIGM. Depuis 2022, M.P. Béal dirige la commission pour l'organisation du suivi doctoral du LIGM, commission à l'organisation de laquelle ont participé A. Carayol et C. Nicaud.

L. Exibard, N. Francis et V. Marsault font partie de la commission "transition bas-carbone" mise en place au LIGM. C. Rispal est référente parité du LIGM, M. Van Den Bogaard est sentinelle égalité, et L. Exibard participe au groupe de travail égalité-parité.

### 3-2.3.5 Prise en compte des recommandations du précédent rapport

Les recommandations du précédent rapport portaient sur toute l'équipe MOA, qui a été scindée en ADA et BAAM. Seules sont abordées ici les recommandations en lien avec l'activité de l'équipe BAAM.

*"Vu sa taille, l'équipe doit faire attention à son fonctionnement. Le comité l'encourage fortement à intensifier ses collaborations internes, car elles pourraient amener à des résultats extrêmement intéressants et originaux." et "Afin d'enrichir la production et d'augmenter l'impact des recherches, le comité recommande d'intensifier les collaborations internes entre membres travaillant sur des thématiques différentes (visées vers des problèmes en linguistique par exemple)."*

Cette recommandation a bien été prise en compte, notamment par le découpage de l'équipe MOA en ADA et BAAM. Les collaborations internes entre les axes de BAAM ont été encouragés (voir le lien entre automates de Parikh et classification de série du portfolio), tout comme celles avec ADA. Nous avons également créé deux groupes de travail hebdomadaires (voir "organisation de l'équipe") sur l'analyse d'algorithmes et sur les bases de données pour dynamiser les interactions internes.

*"Le comité encourage l'équipe à diminuer la durée moyenne des thèses."*

Un effort a été fait en ce sens : sur la période évaluée, la durée moyenne des thèses soutenues est de 40,3 mois, ce qui correspond à un mois de plus que le schéma classique de 3 ans et 3 mois d'un commencement en septembre pour une soutenance en décembre 3 ans après.

*"Le comité recommande fortement de cartographier et d'assurer la maintenance de son importante production logicielle."*

Cet élément important relève d'une stratégie générale du LIGM, l'équipe n'ayant pas de support propre pour cela.

*"Le comité recommande aussi de concentrer les efforts pour lever des fonds européens pour les années à venir."*

L'identification de potentiel candidat a été réalisée avec la direction du LIGM. Des jeunes collègues de l'équipe ont été sollicités pour s'engager dans un processus de dépôt d'ERC, et un comité de préparation individuel a été organisé pour deux d'entre eux. Cela n'a pour le moment pas abouti à un dépôt de candidature, notamment par manque de temps.

*"Un effort particulier devrait être fait pour recruter plus de post-doctorants, ainsi que pour animer les échanges des doctorants et post-doctorants, dans le but de stimuler les collaborations entre eux et avec le monde de la recherche française"*

Les possibilités de recrutement de post-doctorants sont directement liés aux financements obtenus par les projets. Le manque de tel possibilités dans l'équipe a bien été identifié et un effort est effectué pour initier de nouveaux projets, qui en sont pour le moment à l'étape de petits financements (PEPS ou financement locaux) et de dépôt ANR.

Pour l'animation des non-permanents, il y a un séminaire doctorants au niveau du LIGM. Nous proposons également systématiquement à nos doctorants de participer aux événements nationaux pour stimuler les

interactions et faire connaître leur travaux, notamment via le GDR IFM (ex GDR-IM) du CNRS : participation aux Journées ALEA, aux Ecoles Jeunes Chercheurs en Informatique Mathématique, poster aux Journées Nationales, ...

### 3-2.3.6 Introduction du portfolio

1. **Collaborations avec ENGIE** : de 2018 à 2023, O. Curé a mis en place une collaboration avec l'équipe CSAI (Computer Science and Artificial Intelligence) du laboratoire CRIGEN d'ENGIE. Elle a débuté par une convention de recherche entre le CSAI et Olivier Curé. Cette convention portait sur l'étude des problématiques de gestion de données du type graphe (suivant le modèle de données RDF) dans le cadre du paradigme d'informatique à la périphérie (Edge computing) et sur l'anonymisation de ces données. Ces thèmes correspondaient à des attentes de l'équipe du CRIGEN suite à des projets européens passés (ITEA2 SEAS - Smart Energy Aware Systems) et à venir (H2020 PLATOON - digital PLatform and analytic TOols for eNergy). Au terme de cette convention, la thèse de Weiqin Xu a été financée en 2018 (soutenue en 2021), qui portait sur la conception d'un prototype de RDF store, nommé SuccinctEdge, pour l'Edge computing intégrant l'optimisation de requêtes et l'intégration de raisonnements supportés par RDFS. A la suite de son stage de M2 au CSAI, Maxime Thouvenot a obtenu un financement de thèse (soutenue en 2022). Cette thèse portait sur l'anonymisation de graphes RDF et l'intégration de mécanismes garantissant une confidentialité au sein d'un RDF store. En 2021, Joffrey de Oliveira a réalisé son stage de M2 au CSAI puis a enchaîné sur une thèse (soutenue en 2023) dont l'objectif était d'étendre SuccinctEdge pour le support de flux de données et le requêtage continu. Cette même année, une seconde thèse a été financée par le CRIGEN. Celle-ci portait sur le traitement analytique en ligne et traitement en continu des graphes de graphiques.
2. **Formalisation de langages de requête réels** : le groupe autour du thème "bases de donnée" a développé une expertise en matière de formalisation de langage de requêtes réels, qui est valorisée à travers des collaborations avec des acteurs privés. N. Francis et V. Marsault ont collaboré avec l'entreprise Neo4j afin de formaliser et d'analyser leur langage de requêtes **Cypher**. Avec L. Peterfreund, ils ont ensuite participé à l'élaboration de standard sous l'égide de l'ISO (**GQL** et **SQL/PGQ**). Depuis 2022, V. Marsault et L. Peterfreund conseillent l'entreprise RelationalAI sur leur langage de requêtes **Rel**, et sur la faisabilité de traduire d'autres langages (SQL, GQL) vers Rel. Ces collaborations ont mené à des publications qui servent de base à l'étude théorique de ces langages par la communauté académique.
3. **Livres de référence sur les systèmes dynamiques** : les membres de l'équipe travaillant sur les systèmes dynamiques ont entrepris de rédiger une série de livres sur le sujet. Ainsi, D. Perrin et R. Kyriakoglou, en collaboration avec J. Almeida (Porto, Portugal) et A. Costa (Coimbra, Portugal) ont écrit le livre *Profinite Semigroups and Symbolic Dynamics* [20], qui constitue une introduction à l'algèbre profinie et ses liens avec la théorie des automates. Dans le livre *Dimension Groups and Dynamical Systems, Substitutions, Bratteli Diagrams and Cantor Systems* [186], D. Perrin et F. Durand ont présenté pour la première fois les groupes de dimensions sous leurs différents aspects et insistent en particulier sur les méthodes pour les calculer effectivement ; il a été particulièrement bien accueilli par la communauté<sup>10</sup>. M.P. Béal et D. Perrin, avec F. Durand, préparent un nouveau livre intitulé *Substitution shifts*, pour présenter un panorama complet des résultats obtenus depuis le début de cette théorie, dans les années 50, sur l'itération des morphismes. Il comporte aujourd'hui 14 chapitres et des centaines d'exercices et traite de beaucoup d'aspects allant de la logique aux probabilités et de la théorie des nombres à la théorie des groupes.
4. **Hierarchies de langages et de séries** : les deux premières classes de langages de la hiérarchie de Chomsky-Schützenberger sont les *langages rationnels* et les *langages algébriques*. Elles peuvent être naturellement mise en correspondance avec les deux premières classes de séries formelles, également appelées *rationnelles* et *algébriques*. Ce lien se base sur la notion de non-amibuité, qui est à mi-chemin entre le déterminisme et le non-déterminisme. Dans sa thèse, F. Koechlin (encadrée par A. Carayol et C. Nicaud) a étendu cette correspondance en mettant en relation des machines à compteurs côté langages avec les *séries holonomes*, qui sont les solutions de systèmes d'équations différentielles. En s'appuyant ensuite sur les nombreux travaux récents réalisés en calcul formel, il a notamment obtenu plusieurs résultats algorithmiques fondamentaux [77]. Pour sa thèse, F. Koechlin a obtenu un accessit au prix Gilles Kahn de la SIF (voir l'**annonce du CNRS**).

10. "The book under review is an impressive self-contained expository presentation that explores the connections between properties of topological dynamical systems and their dimension groups. The book is a rich source of material on topological and symbolic dynamics and will be useful for both graduate students in mathematics or computer science and experienced researchers.", Olena Karpel, MathsciNet.

5. **Algorithmes implantés dans les langages de programmation** : les bibliothèques des langages de programmation incluent de nombreux algorithmes de base liés à la manipulation de structures de données, tels que les algorithmes de tri. Ces algorithmes ont vocation à être aussi efficaces que possible sur des jeux de données réalistes, tout en conservant une simplicité qui permettra de s'assurer de leur correction. C'est le cas de l'algorithme TimSort, utilisé en Java et Android, ainsi qu'en Python jusqu'en 2021. En modifiant quatre lignes de code seulement, V. Jugé est parvenu à diminuer de 33% le nombre de comparaisons effectué par TimSort dans le pire des cas [273] (voir l'article du CNRS). Avec ses étudiantes, il s'est ensuite penché sur une heuristique utilisée dans TimSort mais compliquée et peu étudiée ; celle-ci a été reprise dans le nouvel algorithme utilisé en Python, mais volontairement omise dans l'implémentation de TimSort dans les langages Swift et Rust en raison de sa complexité. Ils ont alors démontré que cette heuristique pouvait s'avérer inefficace [237], mais en ont proposé une variante plus simple qui permet de trier en temps linéaire les tableaux où ne figurent qu'un nombre constant de valeurs distinctes.
6. **Bijections combinatoires** : la combinatoire bijective vise à établir des liens précis et riche entre différents objets discrets. Cela permet d'exporter des résultats d'un thème vers un autre, mais également d'avoir une compréhension plus haut niveau, riche en possibles avancées. Grâce à leur expertise sur ce domaine (plus précisément sur les cartes combinatoires [223, 51, 73], les intervalles de Tamari [204], ...) W. Fang and de E. Fusy sont très régulièrement sollicités pour apporter de nouveaux points de vue sur des projets ; ils ont ainsi participé à 7 projets ANR et 2 PHC sur la période évaluée.

### 3-2.3.7 Auto-évaluation de l'équipe

#### Points forts

- La production scientifique de l'équipe nous semble être de très bonnes qualité, avec des contributions dans les meilleures conférences généralistes d'informatique théorique (SODA, ICALP, ...) ainsi que les conférences de références de nos domaines (PODS, ICDT, FPSAC, ...).
- Les membres de l'équipe sont très impliqués et visibles nationalement (CNU, direction de GT, jury d'agrégation, jury du prix de thèse Gilles Kahn, jury du SWERC, olympiades de mathématiques ...) et internationalement (PC, steering committee de DLT et STACS, éditeurs de plusieurs journaux, ...).
- Les nombreux recrutements réalisés sur la période évaluée ont stabilisé les thématiques principales de l'équipe, tout en ouvrant de nouvelles perspectives. Les deux groupes de travaux, initiés récemment, ont dynamisé et fédéré les deux axes de l'équipe, et permettent une meilleure intégration des doctorants.

#### Points de vigilance, et à améliorer

- L'équipe manque de projets d'envergure, typiquement de projets européens. Avec l'aide de la direction du laboratoire, nous avons effectué le travail d'identification et de préparation de jeunes candidats, mais aucune candidature n'a été déposée.
- Il n'y a pas suffisamment de doctorants et postdoctorants pour atteindre la masse critique sur les sujets théoriques, ils sont ainsi souvent isolés sur leur thématique. Plusieurs membres de l'équipe interviennent au MPRI et proposent des stages à l'international pour tenter de pallier ce problème, mais ce n'est pas encore suffisant.

#### Opportunités

- L'activité en bases de données de l'équipe va des considérations théoriques à des partenariats industriels, en passant par des participations aux normes sur les graphes de requêtes. Il y a de nombreuses opportunités à saisir sur cette thématique.
- L'expertise de R. Forax de l'équipe LRT offre de nombreuses opportunités de collaboration avec les concepteurs de langages de programmations pour les spécialistes d'analyse d'algorithmes de l'équipe.
- Le Labex Bézout (qui devient une graduate school en 2024) continue à être une opportunité trop peu exploitée par l'équipe pour attirer d'excellents doctorants.

#### Risques liés au contexte

- Les maîtres de conférences de l'équipe sont extrêmement sollicités, notamment pour les responsabilités d'enseignement, et aussi pour les comités de sélections (surtout pour les femmes). Malgré notre vigilance, cela freine significativement leur avancée de carrière.
- L'axe sur les bases de données théoriques reste fragile en l'absence de professeur ou directeur de recherche pour pérenniser cette thématique. Tout départ risque d'être critique pour son activité.

### 3-2.3.8 Trajectoire de l'équipe

Pour l'axe thématique autour des bases de données, il nous paraît important de continuer l'activité autour des graphes de requêtes, à la fois sur les aspects théoriques (qui constitue la spécialité de nos chercheurs) que sur les liens avec les entreprises qui ont été développés et sur les définitions des formats et normes. Les possibilités d'une articulation entre la recherche effectuée par O. Curé avec ses partenaires, notamment industriels, et le reste de l'équipe sont bien entendu riches en potentiel, même s'il n'est pas évident de les développer. Pour l'instant, des discussions ont eu lieu, et il faudrait un déclencheur pour aller plus avant (projet commun, co-encadrement, recrutement, ...). Pendant toute la période évaluée, la direction du laboratoire nous a entendu sur l'importance de recruter un rang A sur les thématiques de bases de données théoriques, mais nous n'avons pas encore trouvé quelqu'un lors des différentes campagnes. Cela reste prioritaire pour l'équipe, cet axe prometteur pouvant se retrouver rapidement fragilisé en cas de départ d'un de ses membres.

Concernant l'axe thématique "analyse d'algorithmes", le thème autour de l'analyse de la façon dont les différents langages de programmation ont décidé d'implanter les algorithmes et structures de données classiques est fédérateur, tous les membres de cet axe ayant une appétence pour l'algorithmique et la programmation. Nous sommes en train de préparer des dépôts de projets pour institutionaliser le développement de ce thème, recruter des doctorants et post-doctorants sur le sujet, et développer les partenariats internationaux que nous avons initiés. Le groupe est plus stable que l'autre axe de l'équipe, mais peut être fragilisé pendant les cinq années à venir, nos trois recrutements récents risquant de partir sur des postes de professeurs, et le vivier de docteurs sur ces thèmes étant relativement faible. C'est un point de vigilance pour le fléchage de nos futurs profils de recrutement.

### 3-2.4 Équipe Combinatoire algébrique et calcul symbolique (COMBI)

#### Les thématiques scientifiques et leurs enjeux

##### Membres permanents de l'équipe

Philippe Biane	DR	
Valentin Bonzom	PR	<i>Recruté en 2023</i>
Nicolas Borie	MdC	
Olivier Bouillot	MdC	
Samule Giraud	MdC	<i>Parti en 2022</i>
Jean-Christophe Novelli	PR	
Jean-Yves Thibon	PR	
Frédéric Toumazet	PR	<i>Détaché en Chine</i>
Matthieu Josuat-Vergès	CR	<i>Parti en 2020</i>

**Thématiques scientifiques** 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 (physique statistique, information quantique ...).

Cette activité comprend une importante part expérimentale : observation sur ordinateur du comportement de structures combinatoires, ce qui nécessite le développement d'algorithmes spécifiques, formulation de conjectures, puis démonstration.

Depuis une vingtaine d'années, les structures les plus classiques de la combinatoire et de l'algorithmique (arbres, permutations, graphes, tableaux ...) se sont enrichies de structures algébriques complexes (algèbres de Hopf, opérades, props ... qui permettent de les appréhender sous un angle totalement nouveau.

**Positionnement scientifique par rapport au contexte national** L'équipe participe au projet ANR CARPLO (Combinatoire Algébrique, Résurgence, Probabilités Libres et Opérades, 2020-2024), coordinateur J.-Y. Thibon, ainsi qu'aux GDR Informatique Mathématique, et Renormalisation (jusqu'en 2022).

**Positionnement scientifique par rapport au contexte international** La combinatoire algébrique est représentée dans la plupart des grandes universités étrangères, et notre équipe y est généralement bien connue. 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).

**Avancées scientifiques majeures dans la période** J.-C. Novelli et J.-Y. Thibon ont poursuivi (en collaboration avec L. Foissy (Calais) et F. Menous (Saclay)) l'étude d'une famille d'idempotents de Lie provenant de l'interprétation en termes de fonctions symétriques non commutatives d'une algèbre d'opérateurs différentiels introduite par Écalle dans le cadre de sa théorie des fonctions résurgentes. Ils ont d'abord montré [209] que ces éléments admettaient un développement très simple sur la base de Poincaré-Birkhoff-Witt de l'opérade **Lie** (essentiellement, la somme formelle de tous les arbres binaires), puis en ont découvert une généralisation multiparamètre, qui s'obtient par la factorisation de Birkhoff d'un caractère des fonctions symétriques non commutatives à valeur dans les séries de Laurent [325].

Ils ont également continué à développer les applications de l'inversion de Lagrange non commutative. Ils ont donné une interprétation combinatoire du coproduit de la base multiplicative des fonctions symétriques non commutatives engendrée par les composantes homogènes de la série de Lagrange non commutative, ce qui conduit à une version non commutative de l'algèbre de Hopf d'incidence des treillis de partitions non croisées, ce qui permet au passage de retrouver de nombreux résultats classiques d'une manière simple et unifiée [360].

Dans le cadre du lien entre la théorie des polynômes de Macdonald et les fonctions chromatiques quasi-symétriques de Shareshian-Wachs, ils ont montré que la formule de Carlsson-Mellit exprimant les polynômes LLT unicellulaires en fonction de ces dernières admettait une version non commutative, dont ils ont donné une preuve conceptuelle simple, au moyen d'analogues non commutatifs des objets en question dans les algèbres de Hopf combinatoires appropriées [359].

Avec O. Bouillot, ils ont découvert une déformation à deux paramètres du *quasi-shuffle* (ou encore *stuffle*, battage contractant en français), qui contient comme spécialisations toutes les variantes connues, et permet d'introduire de nouvelles bases des fonctions quasi-symétriques qui se multiplient par cette opération [80].

Avec J. Falque, ils ont donné un algorithme particulièrement efficace pour calculer le nombre de permutations ayant un ensemble de pinacles donné, et obtenu plusieurs propriétés de ces ensembles [203].

J.-C. Novelli, J.-Y. Thibon et F. Toumazet ont introduit un analogue non commutatif de l'indicateur de cycles et obtenu de nouvelles bases de fonctions quasi-symétriques qui permettent d'identifier certains quotients des fonctions quasi-symétriques libres [361].

J.-Y. Thibon, en collaboration avec Li Guo (Rutgers) et Houyi Yu (Chongqing), a introduit une généralisation des fonctions quasi-symétriques basée sur les compositions faibles (avec des zéros) qui ont permis de décrire l'algèbre de Rota-Baxter unitaire libre [467], puis donné des analogues dans ce contexte des algèbres de Hopf combinatoires classiquement reliées aux fonctions quasi-symétriques [253].

Avec David Guo-Liang Wang (Beijing), qui a passé un semestre au LIGM en 2023, il a introduit une méthode non commutative pour prouver la  $e$ -positivité des fonctions symétriques chromatiques de certaines familles de graphes [443].

N. Borie et J. Falque ont montré comment les familles d'objets combinatoires comptées par les nombres de Catalan, comme les chemins, tableaux, triangulations, parenthésages, ou autres, se généralisent dans le monde des objets comptés par les nombres de Catalan tridimensionnels. En particulier, ils ont identifié les progaphes produit-coproduit comme centraux pour expliquer la combinatoire des triangulations de la sphère. Ils ont obtenu une manière naturelle d'étendre le treillis de Tamari aux progaphes produit-coproduit [74].

M. Josuat-Vergès a donné des  $q$ -analogues des identités de Schläfli et de Gould sur les nombres de Stirling [270].

Dans le domaine des probabilités libres, il a obtenu de nouvelles formules pour les  $\Delta$ -cumulants en termes des moments [271].

Avec Amy Pang (Hong-Kong), il a découvert des sous-algèbres de l'algèbre des descentes de Solomon basées sur les *alternating runs* et en a calculé les idempotents orthogonaux [272].

Avec Ph. Biane, il a introduit deux nouvelles relations d'ordre sur les groupes de Coxeter finis, lesquelles raffinent l'ordre absolu et l'ordre de Bruhat. Ils ont étudié leur restriction aux partitions non croisées et montré que les intervalles peuvent être dénombrés au moyen du *cluster complex* [70].

Avec Arvind Ayyer et Sanjay Ramassamy, il a introduit plusieurs classes de polytopes contenus dans l'hypercube et déterminés par des inégalités impliquant des sommes de coordonnées consécutives. Ils ont

montré que les volumes normalisés de ces polytopes dénombraient les extensions circulaires de certains ordres partiels cycliques [27].

Avec W. Fang et Henri Mühle, J.-C. Novelli a défini un codage des permutations paraboliques qui distingue les permutations évitant 231. Ces auteurs ont montré que l'ordre composante à composante sur ces codes réalisait le treillis de Tamari parabolique, et en ont déduit une preuve simple et directe du fait que ce treillis est isomorphe à un certain treillis  $\nu$ -Tamari [205].

Ils ont ensuite étudié les alignements paraboliques associés à un groupe de Coxeter de type B et son élément de Coxeter linéaire. Ils en ont donné un modèle combinatoire en termes de motifs exclus, et en ont déduit un analogue en type B du treillis de Tamari parabolique [206].

Philippe Biane a étudié le processus d'exclusion simple quantique qui provient de la mécanique statistique quantique hors d'équilibre. Dans [69] il a donné une formule combinatoire pour l'asymptotique des corrélations de ce processus, puis dans [38], en collaboration avec M. Bauer, D. Bernard et L. Hruza, il a utilisé ces résultats pour retrouver des résultats importants sur les grandes déviations du processus d'exclusion simple *classique*.

Dans [67] il a donné une construction générale permettant de construire une carte plane à partir d'un chemin dans le quart de plan. Cela permet de retrouver et d'unifier de nombreuses constructions connues ainsi que d'en donner de nouvelles.

Dans [68] il a résolu un problème laissé en suspens dans un article de 1998 : il s'agit de caractériser certains processus de Lévy libres.

Dans [66] il a donné un exposé, destiné aux combinotoriciens, sur les tables de Laver qui sont une structure auto-distributive apparaissant en théorie des ensembles. Il a prouvé également plusieurs résultats nouveaux sur ces objets, notamment sur leur comportement asymptotique lorsque leur taille tend vers l'infini.

Dans [65], il a donné un exposé de résultats sur les triangles Gog et Magog, des sortes de triangles de Gelfand-Tsetlin particulières. Ces résultats sont motivés par le problème ouvert de trouver une bijection naturelle entre ces deux classes d'objets.

Samuele Giraudo a étudié les arbres syntaxiques à motifs exclus, au moyen de systèmes d'équations sur des séries en arbres dans des opérades non symétriques. Il a ainsi décrit un procédé permettant, étant donné un ensemble de générateurs G et un ensemble de motifs P, de dénombrer les arbres construits à partir de G et évitant les motifs de P [239].

Il a introduit la notion de système générateur de bourgeons, qui permettent de traiter d'une manière unifiée divers types de grammaires (non contextuelles, régulières d'arbres, synchrones). Cette notion fait appel aux opérades colorées, et permet de dénombrer les objets engendrés par ces grammaires suivant plusieurs statistiques [238].

Il a généralisé la notion de dualité de Fomin pour les graphes gradués à des familles de graphes dont les sommets sont des arbres syntaxiques. Il a aussi donné un procédé général pour obtenir des couples de graphes gradués à partir d'opérades, de manière à ce que les ordres sous-jacents soient analogues au treillis de Young. Il obtient ainsi des graphes sur les compositions d'entiers, les chemins de Motzkin et les  $m$ -arbres [240].

Il a introduit une construction fonctorielle qui produit des opérades à partir de magmas unitaires. Les opérades obtenues sont basées sur des configurations de cordes appelées cliques décorées. En considérant des sous-familles de cliques décorées, il obtient des quotients et des sous-opérades, ce qui conduit à une nouvelle hiérarchie d'opérades contenant entre autres les configurations non croisées, les configurations de Motzkin, les forêts, les dissections de polygones et les involutions [241]. Il a ensuite réalisé une étude complète de l'opérade NC des configurations non croisées. Il a montré qu'elle était binaire, quadratique et Koszul, et calculé sa duale.

Il a étudié les structures issues du fragment de la logique combinatoire engendré par le combinatueur basique  $M$ , appelé *Mocking Bird* par Smullyan, défini par la relation  $Mx_1 \rightarrow x_1x_1$ . Il a montré que la clôture réflexive et transitive de cette relation était un ordre partiel sur les termes en  $M$ , dont toutes les composantes connexes du diagramme de Hasse sont des treillis [242].

Avec C. Chenavier et C. Cordero, il a montré que les quotients de l'opérade magmatique admettaient une structure de treillis, et obtenu un analogue de la formule de Grassmann pour les dimensions de ces opérades. Ils ont défini les opérades comb-associatives, qui généralisent l'opérade associative, et dont le treillis est isomorphe à celui des entiers pour la relation de divisibilité. Ils ont obtenu une présentation convergente pour celle associée à l'entier 3, et obtenu les séries de Hilbert des quotients par une seule relation cubique [131].

Avec C. Combe, il a introduit trois familles d'ordres dépendant d'un paramètre entier  $m$ , sur des ensembles dénombrés par les nombres de Fuss-Catalan. L'une d'entre elles généralise les treillis de Stanley, et une autre les treillis de Tamari. Ces ordres forment une chaîne pour la relation d'extension. Les intervalles de deux de ces ordres décrivent le produit dans des quotients de l'algèbre de Malvenuto-Reutenauer [147].

Ces mêmes auteurs ont introduit une nouvelle hiérarchie d'opérades basées sur les  $\delta$ -cliffs, qui sont certains mots sur l'alphabet des entiers. Ce sont des analogues de l'opérade des permutations, aussi appelée opérade

symétrique associative. L'étude des quotients de ces opérades permet de munir de structures d'opérades les espaces de permutations,  $m$ -arbres croissants, chemins  $c$ -rectangulaires, et  $m$ -chemins de Dyck [148].

Avec G. Fertin, S. Hamel et S. Vialette, il a étudié le problème du *déshuffle* des permutations : étant donné une permutation  $\pi \in S_n$  et une bijection  $f$  de  $S_n$ , déterminer s'il existe une permutation  $\sigma$  telle que  $\pi$  appartienne au mélange de  $\sigma$  et  $f(\sigma)$ . Ils ont montré que ce problème est NP-complet lorsque  $f$  est l'inversion, le retournement, la complémentation ou une composition de ces opérations [208].

Avec S. Vialette, il a étudié le problème de la reconnaissance des *permutations carrées*, obtenus en mélangeant deux motifs isomorphes pour l'ordre, et montré que ce problème était NP-complet [243].

Avec L. Bulteau et S. Vialette, il a étudié le  $x$ -désordre additif des permutations, défini comme la somme des valeurs absolues des différences des éléments consécutifs. Ils ont montré que ce nombre était compris entre  $n - 1$  et  $\lfloor n^2/2 \rfloor - 1$  pour une permutation de  $S_n$ , et caractérisé les permutations ayant ces valeurs extrêmes. Ils ont de plus donné un algorithme linéaire permettant de produire une permutation ayant un  $x$ -désordre fixé [106].

Avec J.-C. Aval, Th. Karabogossian et A. Tanasa, il a proposé deux nouvelles structures d'opérade sur les multigraphes, et les multigraphes orientés pointés. La première est une généralisation directe de l'opérade de Kontsevich-Willwacher, la seconde une extension naturelle de l'opérade *préLie* [25].

Dans sa thèse [14], D. Albertin a étudié la combinatoire et la géométrie des quotients de l'ordre faible. En collaboration avec V. Pilaud (LIX), il a défini et étudié le complexe canonique d'un treillis fini semidistributif, un complexe qui se comporte bien par rapports aux quotients. Ils ont décrit combinatoirement le complexe canonique de l'ordre faible en termes de bidiagrammes semi-croissants, et donné une bijection explicite entre ces diagrammes et les *interval posets* de Châtel-Pilaud-Pons [15, 16].

Avec V. Pilaud et J. Ritter (LIX), ils ont étudié les constructions des *removaèdres* pour tous les quotientopes (qui réalisent les quotients de l'ordre faible) [17].

Ces mêmes auteurs ont introduit et étudié les *permutarbrèdres*, des polytopes qui interpolent entre le permutaèdre, l'associaèdre et le cube. Ils sont construits comme des enlevoèdres, i.e., en supprimant des inégalités de la description par facettes du permutaèdre classique. Ils ont étudié le cône de type des éventails de permutarbres et ont montré que cette construction par suppression de facettes fonctionne en partant de toute réalisation de l'éventail de tresses [18].

Dans l'article [362], Arthur Nunge a prouvé une conjecture de Novelli-Thibon-Williams sur l'équivalence de deux triplets de statistiques sur les permutations. Il a construit une bijection entre différents objets reliés au PASEP, et obtenu au passage une nouvelle bijection préservant les classes co-sylvestres.

Christophe Cordero [152] a obtenu de nouveaux exemples de codes non commutatifs préfixes et a ainsi amélioré la borne inférieure de Shor et Hansel.

## Animation scientifique de l'équipe

**Animation de la recherche** 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.

### Encadrement de doctorants

- Arthur Nunge (Novelli, 2015, 11/12/2018)
- Lucas Randazzo (Thibon/Josuat-Vergès, 2016, 11/12/2019)
- Christophe Cordero (Novelli/Giraudo, 2016, 09/12/2019)
- Arthur Rodelet-Causse (Novelli/Borie, 2022, en cours)
- Doriann Albertin (Novelli/Pilaud, 2010, 25/09/2022)
- Ludovic Schwob (Novelli/Fang, 2023, en cours)

**Ressources financières** Projet ANR CARPLO (coordinateur Jean-Yves Thibon).

**Responsabilités dans l'environnement recherche** Jean-Christophe Novelli est membre du Conseil Académique de l'Université Gustave Eiffel.

**Profil d'activité liées à la recherche** Philippe Biane est éditeur de *Rendiconti del Seminario Matematici dell'Universita di Padova*. Il a fait partie des comités éditoriaux de *Publications Mathématiques de l'IHES*, *Astérisque* et *Probability Theory and Related Fields* jusqu'en 2021. Il a participé aux assises des mathématiques en tant que responsable du groupe de travail "Enjeux et propositions pour les mathématiques de demain".

Jean-Christophe Novelli est membre des comités éditoriaux de *Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science*, et de *Journal of Discrete Mathematics*.

Jean-Yves Thibon est l'un des trois éditeurs en chef du Séminaire Lotharingien de Combinatoire, et membre du comité éditorial d'*Annales de l'Institut Henri Poincaré Serie D*.

**Introduction du portfolio** Comme la recherche de l'équipe est d'une nature exploratoire, l'essentiel de sa production scientifique prend la forme d'articles. Les quatre articles suivants sont représentatifs de notre activité.

1. Philippe Biane. *Combinatorics of the Quantum Symmetric Simple Exclusion Process, as- sociahedra and free cumulants*. *Annales de l'Institut Henri Poincaré (D) Combinatorics, Physics and their Interactions*, 2022.

Le processus d'exclusion simple quantique (QSSEP) est un modèle de particules quantiques sautant sur un intervalle fini et vérifiant le principe d'exclusion. Récemment, Bernard et Jin ont étudié les fluctuations de la mesure invariante pour ce processus, lorsque le nombre de sites tend vers l'infini. Ces fluctuations sont encodées par des polynômes, pour lesquels ils ont donné des équations et prouvé que ces équations les déterminent complètement. Dans cet article, nous obtenons une formule combinatoire explicite pour ces polynômes en termes d'arbres de Schröder. De manière surprenante, ces polynômes peuvent s'interpréter comme les cumulants libres d'une famille commutative de variables aléatoires.

2. Loïc Foissy, Frédéric Menous, Jean-Christophe Novelli, and Jean-Yves Thibon. *Quadri- algebras, preLie algebras, and the Catalan family of Lie idempotents*. *Algebraic Combinatorics*, pages 629–666, 2022. 42 pages.

Les idempotents de Lie sont des éléments de l'algèbre du groupe symétrique qui projettent l'algèbre des polynômes non commutatifs sur l'algèbre de Lie libre. La théorie des fonctions symétriques non commutatives, développée par notre groupe, a permis d'unifier tous les exemples connus et d'en découvrir d'autres. Ceux étudiés dans cet article, appelés idempotents de Catalan, introduits dans [Menous et al., *Adv. Applied Math.* 51 (2013), 177-22], sont issus d'une comparaison entre l'algèbre de Hopf des fonctions symétriques non commutatives, et une algèbre d'opérateurs différentiels dits *étrangers* introduits par Écalle dans sa théorie des fonctions résurgentes. On en connaissait une description explicite sur la base des rubans. Dans cet article, nous montrons qu'ils sont donnés par des sommes sans multiplicités sur la base de Poincaré-Birkhoff-Witt de l'opérade Lie. Ils appartiennent en fait à une sous-algèbre préLie basée sur les arbres binaires, dont nous identifions plusieurs sous-algèbres Lie et préLie, basées sur divers types d'arbres.

3. Samuele Giraudo. *Duality of graded graphs through operads*. *Annals of Combinatorics*, 2021.

Les couples de graphes gradués, avec la propriété de dualité de Fomin, sont de riches structures combinatoires, qui fournissent entre autres un cadre pour triter des problèmes de dénombrement. L'exemple type est le graphe gradué de Young sur les partitions d'entiers, à l'origine de la correspondance de Robinson-Schensted entre couples de tableaux de Young standards et permutations. Ici, nous utilisons les opérades pour construire des couples de graphes gradués. Pour cela, nous construisons d'abord un couple de graphes gradués dont les sommets sont des arbres syntaxiques, éléments d'une opérade symétrique libre. Ces graphes sont duaux pour une nouvelle notion de dualité, appelée dualité  $\phi$ -diagonale, similaire à celle introduite par Fomin. Nous donnons aussi une méthode générale pour construire des couples de graphes gradués dont les posets sous-jacents sont analogues au treillis de Young. Nous obtenons ainsi des exemples impliquant les compositions d'entiers, les Chemin de Motzkin et les  $m$ -arbres.

4. Nicolas Borie and Justine Falque. *Product-Coproduct Prographs and Triangulations of the Sphere*. In *FPSAC 2022, Bangalore, India, July 2022*.

Dans cet article, nous montrons comment les familles d'objets combinatoires comptées par les nombres de Catalan, comme les chemins, tableaux, triangulations, parenthésages, ou autre, se généralisent dans le monde des objets comptés par les nombres de Catalan tridimensionnels. En particulier, nous présentons les prographes produit-coproduct comme centraux pour expliquer la combinatoire des triangulations de la sphère. Nous exposons alors une manière naturelle d'étendre le treillis de Tamari aux prographes produit-coproduct.

**Prise en compte des recommandations du précédent rapport** Un professeur (Valentin Bonzom) a été recruté. Le projet ANR CARMA a été remplacé par le projet ANR CARPLO (1/1/2020-31/12/2024). Nous avons actuellement trois doctorants, et nous nous efforçons d'en attirer d'autres.

**Auto-évaluation de l'équipe** Bien reconnue internationalement, l'équipe reste fragile à cause de son faible effectif et de la difficulté à recruter des doctorants. La surcharge pédagogique et administrative des MdC est également un problème récurrent.

Les financements de type ANR ont, jusqu'à maintenant, été suffisants, mais leur obtention reste très aléatoire. Il faudra prévoir la suite du projet CARPLO qui court jusqu'en décembre 2024.

**Trajectoire de l'équipe** Le recrutement de Valentin Bonzom apporte de nouveaux thèmes de recherche à l'équipe, et ouvre des perspectives d'interactions avec les membres de l'équipe MOA qui s'intéressent à la combinatoire des cartes. Les autres thèmes (fonctions symétriques, algèbres de Hopf combinatoires, probabilités libres) restent à l'ordre du jour. Il faudra néanmoins prévoir de compenser les départs en retraite de J.-Y. Thibon et de Ph. Biane qui interviendront dans les prochaines années.

### 3-2.5 Équipe Logiciels, Réseaux et Temps réel (LRT)

#### 3-2.5.1 Introduction

L'équipe LRT a été créée en 2013 à la suite des recommandations de l'évaluation de l'AERES la même année. Son objectif est de développer des travaux de recherche autour des algorithmes et des modèles appliqués à trois principaux domaines d'étude : les réseaux de communication (IoT, véhiculaires, drones, 5G), les systèmes temps réel et l'ingénierie logicielle.

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, favorisant ainsi la création de synergies autour des compétences internes de l'équipe.

Cette approche transversale, intégrant les concepts de recherche par l'aval et de recherche-action, permet à l'équipe de contribuer de manière significative à des projets directement ou indirectement liés aux thématiques stratégiques de l'Université Gustave Eiffel, notamment dans le domaine de la ville intelligente.

L'équipe s'est consolidée pendant la période évaluée, en recrutant 7 permanents, portant ainsi le nombre total à 18 permanents dont 4 PU contre 15 lors de la dernière évaluation. Les membres de l'équipe sont également très impliqués localement, puisqu'elle compte le président de l'Université Gustave Eiffel, le directeur d'études de l'ESIEE Paris, et le chef de département MMI Meaux. L'équipe poursuit son développement et voit une implication croissante de ses membres dans des projets académiques et industriels, avec une valorisation et un transfert vers l'industrie à travers des brevets et la création de StartUp.

#### 3-2.5.2 Les membres permanents de l'équipe

L'équipe LRT est composée de 18 membres permanents, énumérés ci-dessous par ordre alphabétique :

Yasmina	Abdeddaim	MCF-ESIEE	
Hakim	Badis	MCF	
Hadrien	Barral	MCF-ESIEE	Recruté en 2023
Cherifa	Boucetta	MCF	Recrutée en 2023
Sylvain	Cherrier	MCF	
Mourad	Dridi	MCF-ESIEE	Recruté en 2022
Etienne	Duris	MCF	
Rémi	Forax	MCF	
Khaled	Hamouid	MCF-ESIEE	Recruté en 2022
Rami	Langar	PR	Détaché en 2021 auprès de ETS (Canada)
Damien	Masson	MCF-ESIEE	
Omar Sami	Oubbati	MCF	Recruté en 2022
Abderrezak	Rachedi	PR	Promu PU en 2018 (recrutement)
Eric	Renault	PR-ESIEE	Recruté en 2019
Gilles	Roussel	PR	
Chafiq	Titouna	MCF-ESIEE	Recruté en 2022
Ting	Wang	MCF-ESIEE	
Nawel	Zangar	MCF-ESIEE	

Les départs pendant la période d'évaluation (5) :

Laurent	George	PR-ESIEE	Décédé en 2021
Stéphane	Lohier	MCF	Départ à la retraite en 2020 ou 19 ?
Serge	Midonnet	MCF	Départ à la retraite en 2023
Nadjib	Aitsaadi	MCF-ESIEE	Recruté PU en 2021 à l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines
Mawloud	Omar	MCF-ESIEE	Recruté PU en 2022 à l'Université de Bretagne Sud

### 3-2.5.3 Les thématiques scientifiques et leurs enjeux

Le travail de l'équipe LRT (Logiciels, Réseaux et Temps réel) se déploie autour de trois grandes thématiques scientifiques : les logiciels, les réseaux et le temps réel. L'axe fédérateur de ces trois domaines majeurs réside dans l'utilisation d'algorithmes et de modèles, appliqués à trois champs d'étude principaux : les réseaux de communication, les systèmes temps réel et l'ingénierie logicielle.

Cette approche transversale, intégrant les concepts de recherche par l'aval et de recherche-action, permet à notre équipe de contribuer de manière significative dans des projets directement ou indirectement liés aux thématiques stratégiques de l'Université Gustave Eiffel, notamment dans le domaine de la ville intelligente au service de ses habitants.

**Algorithmes et modèles pour les réseaux de communication.** Nos recherches dans ce domaine se concentrent sur le développement et l'analyse d'algorithmes innovants ainsi que de modèles pour les réseaux du futurs. Nous visons à concevoir des méthodes efficaces pour optimiser les performances des réseaux, notamment en termes de débit, de latence, de capacité et de sécurité, tout en prenant en compte les contraintes et les caractéristiques spécifiques de différents types de réseaux. Nos recherches dans ce domaine peuvent être classées en quatre catégories :

- Qualité de service et sécurité dans les réseaux sans fil non cellulaires (réseaux IoT, Internet des véhicules, réseaux de drones),

- Prédiction et gestion des ressources, Contrôle d'accès dans les réseaux mobiles cellulaires de nouvelle génération (5G/5G+/6G, Cloud-RAN) et Réseaux de satellites,
- Modèles de confiance distribués
- Modèles de tolérance aux fautes et détection d'anomalies.

Dans la catégorie des travaux portant sur **la sécurité et la qualité de services dans les réseaux de communication multi-sauts sans fil**, notre attention se concentre sur la collecte et le transport de données hétérogènes (scalaires ou multimédia) via des réseaux contraints en termes de topologie réseau (mobilité des objets/nœuds, qualité des liens) et de ressources réseau et système (débit, délai, énergie, etc). Ces données peuvent avoir différentes exigences en termes de qualité de services (QoS) et de niveau de sécurité. Dans le cadre des réseaux de communication multi-sauts sans fil, nous avons travaillé sur plusieurs types de réseaux, notamment les réseaux de drones (UAVs), les réseaux véhiculaires (Internet des véhicules - IoV et les réseaux de véhicules ad hoc - VANETs), ainsi que les réseaux de l'Internet des objets (IoT) et des capteurs (WSN).

*Réseaux de drones* : Nos travaux sur les réseaux de drones, menés par S. Oubbati et A. Rachedi, visent à étendre les capacités des réseaux terrestres (cellulaires et non cellulaires) en utilisant des drones et à explorer de nouvelles applications pratiques. Parmi les contributions, nous citons le travail sur la conception d'un système basé sur des drones pour la collecte de données et le transfert d'énergie sans fil, utilisant l'apprentissage par renforcement profond [363]. Dans d'autres travaux, nous nous sommes intéressés au déploiement de bornes de recharge aériennes pour fournir de l'énergie aux drones collecteurs de données sans perturber leurs missions, avec optimisation des trajectoires [364, 327].

*Réseaux de l'Internet des véhicules (IoV) et communications véhiculaires* : Nos travaux dans ce domaine se sont focalisés sur l'assurance de la qualité de service (QoS) et de l'expérience utilisateur (QoE) à travers la gestion et l'optimisation des réseaux véhiculaires pour des applications de collecte et de transport de données. Nous avons exploré la mutualisation des ressources dans les réseaux cloud véhiculaires ainsi que la distribution des services réseau pour se rapprocher davantage de l'utilisateur final grâce au déploiement du fog computing véhiculaire. Pour cela, nous avons utilisé des outils théoriques tels que la théorie des graphes (notamment les sous-ensembles dominants connectés), les algorithmes distribués, ainsi que les techniques d'apprentissage par renforcement afin de concevoir des solutions innovantes et efficaces [201, 202, 4, 322, 323, 321, 268, 324]. Nous avons également abordé le volet sécurité et vie privée dans les réseaux IoV. Ces technologies s'investissent dans la collecte et le partage de données personnelles parfois sans un consentement explicite ce qui engendre un risque majeur d'atteinte à la vie privée. Nous avons abordé cette question par des approches PET permettant aux véhicules connectés de communiquer dans leur environnement en faisant face aux problèmes de traçage et profiling illégitime [470, 314, 261]. Dans le but de sécuriser la communication dans le réseau véhiculaire VANET, nous avons proposé une solution basée sur une fonction physique non clonable utilisant des jetons à usage unique pour sécuriser les réseaux VANET [385].

*Réseaux IoT et réseaux de capteurs sans fil (WSN)* : Nous avons travaillé sur l'optimisation du déploiement des objets IoT (balises de positionnement et caméras) pour des applications de guidage et de navigation en intérieur, ainsi que pour la vidéosurveillance, en utilisant des jumeaux numériques des bâtiments et des techniques d'IA. [129, 127].

Nous avons également travaillé sur l'architecture des réseaux IoT avec pour objectif de réduire l'empreinte carbone et la consommation d'énergie sans dégrader la qualité de service du réseau [128, 126].

D'autres travaux sur l'optimisation des communications dans les réseaux BLE et WiFi ont été menés afin d'ajuster le niveau de perception du signal et ainsi optimiser les communications [1].

Dans le cadre de l'amélioration de la géolocalisation des objets IoT (sans GPS) grâce à l'utilisation du CSI, des contributions ont été proposées pour optimiser le calcul de la distance du nœud émetteur [434]. Dans le but de réduire la surcharge du réseau (overhead) et d'améliorer la scalabilité du protocole de diffusion pour le service de localisation géographique, une solution a été proposée et adaptée aux réseaux de type VANET [343].

Nous avons également travaillé sur l'utilisation des trains comme routeurs d'accès mobiles pour les capteurs ferroviaires. L'objectif est d'utiliser les trains pour collecter les données des capteurs ferroviaires et les envoyer au centre de contrôle. Des contributions sur le développement d'une architecture multicouche d'orchestration réseau utilisant les technologies SDN, NFV et SDR ont été proposées [305, 336, 318, 320].

Dans le but d'améliorer le contrôle d'accès dynamique dans un réseau IoT pour des applications de télésanté, et dans le cadre du projet IoT-MedAccess (AIR), une architecture Multi-access Edge Computing (MEC) a été proposée. Cette architecture utilise une approche de contrôle des accès basée sur les attributs (ABAC) adaptative pour dériver dynamiquement des politiques d'accès [260].

Dans le but de développer des solutions pour la prédiction et la gestion des ressources dans les réseaux électriques intelligents (SmartGrid), un système de collecte de données en temps réel et d'application d'algorithmes prédictifs pour prévoir la demande d'électricité a été développé. Ce système utilise un modèle probabiliste d'apprentissage automatique et d'algorithmes d'ordonnement pour garantir une meilleure efficacité énergétique [194, 197, 196, 195, 176].

Dans la catégorie des travaux portant sur **la prédiction et la gestion des ressources, le contrôle d'accès dans les réseaux cellulaires mobiles de nouvelle génération (5G/5G+/6G, Cloud-RAN) et les réseaux de satellites**, nous avons eu plusieurs contributions, dont certaines sont présentées brièvement ci-dessous.

Parmi les contributions, nous citons le travail sur le placement optimal des fonctions bande de base d'une antenne virtuelle dans le réseau d'accès radio 5G en minimisant à la fois le coût total de déploiement et la consommation énergétique des différentes composantes du réseau, tout en tenant compte des exigences de traitement de ces fonctions réseaux (en termes de latence) et des capacités de l'infrastructure en nuage (Cloud). La solution proposée ([317]) a été également validée dans une plateforme expérimentale 5G basée sur le logiciel libre OpenAirInterface (OAI). D'autres travaux concernent le développement d'un orchestrateur de ressources basés sur l'apprentissage automatique (ML) pour les réseaux 5G ([408, 407]) afin d'automatiser l'allocation des tranches réseaux au niveau de l'accès radio (RAN) ainsi que le niveau requis de puissance de transmission à chaque utilisateur, ainsi que l'utilisation des techniques ML pour optimiser les répartitions fonctionnelles dans le 5G-RAN ([316, 406, 315]). Nous avons également utilisé le ML pour la prédiction du trafic afin d'optimiser le routage dans les réseaux définis par logiciel (SDN) ([97, 96]).

Nous avons des contributions basées sur les spécifications du 3GPP et le rôle du satellite dans les réseaux 5G/6G futurs. L'objectif consiste à traiter des problématiques d'allocation de ressources dans les réseaux hétérogènes terrestres et satellites [265, 264].

Dans le but d'automatiser le déploiement et la gestion des slices dans les réseaux 4G/5G/6G, nous avons déployé des plateformes logicielles open-source telles que Open Air Interface (OAI) et Open5GS. Nous avons également mené une étude des performances des cartes logicielles radio (SDRs), ainsi que des solutions pour les améliorer et les intégrer dans les plateformes OAI et Open5GS. Ces solutions ont été testées dans le cadre d'applications de secours d'urgence lors de catastrophes [305, 319, 335].

Dans le cadre du projet ANR 5G-INSIGHT, l'équipe a également mené des travaux sur la sécurité 5G. Dans ce cadre, nous avons développé dans ([84, 83, 85, 41]) des approches basées sur ML, plus précisément Deep Learning (DL) et Federated Learning (FL), pour détecter les attaques distribuées de déni de services (DdoS) et Jamming dans les réseaux mobiles 5G et au-delà. Nous avons également proposé un algorithme de contre-mesure basé sur l'apprentissage par renforcement (RL) ([82]) afin d'isoler le trafic malveillant dans une tranche de réseau dédiée ayant une capacité très limitée. Les solutions proposées ont été validées par expérimentation en les déployant dans une plateforme 5G basée sur le logiciel libre OpenAirInterface (OAI).

En ce qui concerne les recherches sur **les modèles de confiance distribués**, nous avons exploré la technologie Blockchain, basée sur un modèle de confiance décentralisé fonctionnant à travers un consensus sur un réseau pair à pair (P2P). La recherche s'est concentrée sur l'étude de la vitesse de consensus en analysant les caractéristiques des réseaux P2P générés par divers frameworks Blockchain tels qu'Ethereum, Bitcoin, Hyperledger et Corda. Nous avons observé que ces réseaux P2P suivent un modèle de  $r-out$  diagraphs [172, 171]. En ajustant le degré  $r$  du réseau P2P, nous avons réussi à optimiser la vitesse de consensus et à réduire la surcharge réseau due à la découverte de voisinage. En déployant des blockchains avec une configuration personnalisée pour des cas d'utilisation spécifiques, comme l'IoT [173, 174], l'efficacité énergétique et les véhicules connectés [175].

Nous avons contribué à l'amélioration du processus de sélection des mineurs avec l'introduction de modèle de réputation des noeuds et aussi l'apprentissage automatique pour profiler les différents actions des noeuds [275, 276, 28]. De plus, nous avons développé des modèles de confiance distribués basés sur le concept de la blockchain pour la traçabilité et le suivi des actions des véhicules dans le réseau [278, 277, 465].

Concernant les travaux axés sur **les modèles de tolérance aux fautes et détection d'anomalies**, nous avons des contributions qui permettent de détecter des valeurs aberrantes (Outliers) dans les réseaux de capteurs sans fil et les systèmes basés sur l'Internet des Objets. Le modèle de deep learning LSTM (Long Short-Term Memory) entraîné sur un ensemble de données open source et déployé sur des serveurs Edge Computing a été utilisé [71]. Dans un autre travail, l'équipe a collaboré avec Orange pour développer une architecture logiciel visant à résoudre les problèmes liés au contrôle des ressources dans les réseaux. L'architecture permet des opérations indépendantes et sans état, offrant ainsi une stabilité accrue lors des connexions/déconnexions des utilisateurs [437]. Enfin, les contributions visant à détecter les botnets dans les réseaux IoT en utilisant une intelligence artificielle de type Combined Forest ont été proposées. De plus, des algorithmes de machine learning pour la détection des intrusions dans les réseaux IoT ont été évalués [191].

**Logiciel, systèmes et applications.** Ce thème regroupe des contributions qui couvrent quatre catégories de travaux :

- Amélioration de la plateforme Java,
- Plateformes IoT pour la ville intelligente,
- Chorégraphie de services dans l'Internet des Objets
- Sécurité des binaires et des systèmes IoT (Shellcode, rétro-ingénierie, OS).

Parmi les recherches se concentrant sur la **chorégraphie de services dans l'IoT**, nous nous sommes focalisés sur les nombreuses contraintes imposées par les systèmes IoT, notamment en termes d'énergie et de coût des objets. Pour répondre à ces défis, une approche collaborative entre les objets est explorée, favorisant le traitement local des données plutôt que leur transmission vers le Cloud. Une solution est présentée pour combiner les messages remontés dans un réseau d'objets, limitant ainsi les transmissions. Cependant, cette approche soulève la problématique de la stabilité de l'application en cas de perte de messages [133]. Cette problématique a été étudiée dans une autre contribution qui consiste de proposer une architecture de contrôle pour maintenir la stabilité de l'application malgré les pertes de messages, en définissant des liens de dépendances entre les états remarquables des objets [132]. Ce travail évalue les gains en termes de stabilité par rapport à l'augmentation du nombre de messages échangés.

Dans le cadre des recherches sur les **plateformes IoT pour la ville intelligente**, nous avons travaillé sur la conception d'une canne connectée afin d'aider et de surveiller le mouvement des utilisateurs, en particulier les personnes vulnérables avec une diminution de la mobilité. L'objectif consiste à prévenir des obstacles et la détection des chutes. Le système développé permet de collecter et d'enregistrer les données de marche à long terme pour évaluer la santé physique [462, 461]. Dans la même catégorie des travaux, nous avons contribué à l'apprentissage de la conduite des fauteuils roulants électriques avec un objectif de déterminer si les utilisateurs atteignent un niveau de performance productif et stable. Des indicateurs de performance et analyse des styles de comportements des utilisateurs ont été utilisés. Des algorithmes automatiques et d'analyses statistiques ont été utilisés pour éliminer les décisions subjectives [225].

Sur le volet système des plateformes IoT, nous avons travaillé sur l'optimisation de la consommation d'énergie dans les datacenters et de réduire la charge des serveurs. L'utilisation du modèle ARMA pour prédire la variation de la consommation d'énergie dans un datacenter a été introduit. Ce modèle permet d'identifier les augmentations de charge et allumer/éteindre les serveurs en conséquence [333, 332, 331].

**Algorithmes et modèles pour les systèmes Temps réel.** Nos recherches englobent trois axes de travail qui peuvent se recouvrir et s'enrichir l'un l'autre. Nos axes concernent, le développement de nouveaux modèles et algorithmes pour les systèmes temps réel, l'utilisation des méthodes formelles pour les systèmes temps réel et la prise en compte des contraintes de contraintes telles que les architectures d'exécution et la consommation d'énergie. Nous nous sommes intéressés durant les cinq dernières années aux systèmes temps réel probabilistes, à l'utilisation des jeux temporisés pour l'ordonnancement temps réel, et à la prise en compte du coût de préemption. Nous avons débuté des travaux sur l'ordonnancement temps réel sur des architectures GPU et aussi sur la prise en compte des contraintes de sécurité dans les systèmes temps réel.

Nous nous concentrons sur quatre catégories de travaux distinctes, chacune visant à résoudre des problèmes spécifiques dans ce domaine spécialisé.

- Conception et analyse d'algorithmes d'ordonnancement
- Méthodes formelles
- Adéquation algorithmes et architectures (optimisation et implémentation),
- Architecture d'exécution contraintes (énergie, coût de l'OS, sécurité).

Dans la catégorie des travaux sur la **conception et analyse d'algorithmes d'ordonnancement**, nous nous sommes intéressés à la prise en compte du non déterministe dans les modèles et algorithmes d'ordonnancement temps réel. En effet avec la complexification des architectures des processeurs et des algorithmes, tel que les algorithmes d'IA, l'utilisation des pire temps d'exécution des programmes dans une analyse d'ordonnancabilité peut être très pessimiste et donc mener à une sous utilisation des processeurs. De nouveaux modèles et algorithmes d'ordonnancement doivent être conçus pour la prise en compte de cette complexité et permettre d'assurer dans ce cas des garanties probabilistes de déterminisme temporel.

Pour cela nous avons proposé une analyse de temps de réponse probabiliste pour les systèmes stochastiques [468] et effectué une analyse statistique basée sur les compteurs hardware des processeurs pour l'explication des variations temporelles dans les temps d'exécution [22].

Dans le cas des machines parallèles, conceptuellement, elles sont divisées en deux catégories : les machines à mémoire partagée et les machines à mémoire distribuée. Les premières disposent d'outils simples (c'est-à-dire accessibles à des programmeurs ayant peu d'expérience) pour les exploiter, comme par exemple *OpenMP*, alors que les outils permettant d'exploiter les secondes nécessitent un apprentissage parfois assez long, c'est le cas par exemple de *MPI*. Toutes les tentatives de porter OpenMP au dessus d'OpenMP ont échoué à cause du manque d'information présent dans le programme. Dans le cadre des travaux que nous menons en collaboration avec l'Université de Hué au Vietnam, nous développons un compilateur générer automatiquement un exécutable pour machines à mémoire distribué en se basant uniquement que les directives OpenMP. Pour cela, nous utilisons des points de reprise placés stratégiquement afin de récupérer et propager les modifications ayant été réalisés dans les séquences des programmes [179].

En ce qui concerne les travaux sur **les méthodes formelles**, nous avons proposé un modèles basée sur les jeux temporisé pour la modélisation et résolution du problème d'ordonnancement a criticité mixte [5]. Dans la continuité de ces travaux, nous avons encadré un stage de M1 (2022-2023) en collaboration avec le laboratoire IRIF qui porte sur l'extension de l'outil BIP (Behavior, Interaction, Priority), un langage formel basé sur des composants, au Model checking des jeux temporisés. L'objectif final est de pouvoir utiliser BIP pour des problématiques de vérification liées à l'ordonnancement temps réel.

Concernant les travaux axés sur **l'architecture d'exécution contraintes (énergie, coût de l'OS, sécurité)**, nous avons considéré un nouveau modèle qui prend en compte le coût de la préemption [245]. En effet dans la plus part des analyses d'ordonnancement, le coût de la preemption d'une tâche n'est pas considéré, d'une part parce qu'il peut être difficile à estimer, d'une autre part parce que les analyses d'ordonnancement se complexifie quand ce coût est pris en compte. Dans ce cadre nous avons proposé un nouveau modèle avec prise en contre du coût de la préemption et prouvé que pour ce modèle il existe un interval de simulation borné qui est suffisant pour prouver que les système est ordonnancable à l'infini.

Nous avons également proposé un nouveau modèle pour l'ordonnancement de réseaux de neurones sur des architectures GPU [181]. Ces travaux, qui ont débuté suite au recrutement de M. Mourad DRIDI en septembre 2022, sont des travaux préliminaires qui seront poursuivis dans le cadre de notre projet de recherche futur.

Une autre thématique qui a été débutée depuis septembre 2023 suite au recrutement de Mr Hadrien BARRAL est la thématique de la prise en compte des contraintes de sécurités dans les modèles algorithmes d'ordonnancement temps réel (voir la section projet de l'équipe).

#### 3-2.5.4 Animation scientifique de l'équipe

**L'équipe LRT organise des réunions mensuelles interactives :** qui offrent une plateforme idéale pour le partage des connaissances et la collaboration. Chaque session est structurée, débutant par une présentation scientifique suivie d'une période dédiée à l'échange d'idées et de perspectives. Cette approche non seulement renforce la synergie entre les trois principales thématiques de l'équipe, mais aussi consolide la cohésion de l'équipe dans son ensemble. En encourageant la participation active et la discussion ouverte, ces réunions mensuelles représentent un élément essentiel pour maintenir le lien entre l'ensemble des membres de notre équipe.

**Animation de la recherche.** Nous décrivons ci-après les différentes actions d'animation menées par les membres de l'équipe.

Y. Abdeddaim a organisé en 2022 en tant que co-general chair la conférence RTNS 2022 (The 30th International Conference on Real-Time Networks and Systems) à Paris. Elle a également co-présidé (co-chair) les deux ateliers, la 11ème et la 12ème édition du workshop RTSOPS (International Real-Time Scheduling Open Problems Seminar), respectivement en Italie et en Autriche.

R. Langar a co-organisé un Workshop sur « Experimental wireless platforms and testbeds for computing, communication and networking research », qui a été co-localisé avec la conférence internationale IEEE GLOBECOM 2021. Il co-préside également le symposium SAC (Selected Area in Communications), track on Cloud/Edge Computing and Networking de la conférence IEEE GLOBECOM 2025, et a été co-président du symposium Next Generation Networking and Internet de la conférence IEEE GLOBECOM 2020.

S. Oubbati a présidé le symposium AV Assistance to Terrestrial Networks dans la conférence IARIA MOBILITY 2021.

Depuis septembre 2021, A. Rachedi est co-animateur d'axe de recherche axé sur l'IoT et l'intelligence artificielle au sein de la Vice-Présidence Appui aux Politiques Publiques (VPAPP) et de la Vice-présidence Recherche (VPR). Son rôle consiste à organiser et à animer des séminaires ainsi que des ateliers de transfert vers les acteurs publics tels que les Pompiers de Paris et la Gendarmerie. À ce titre, il a déjà organisé deux séminaires auprès des Pompiers de Paris et de la Gendarmerie sur les jumeaux numérique, l'IoT et l'IA. De plus, il est chargé

d'évaluer les projets AIR au sein de l'université Gustave Eiffel. Depuis septembre 2021, il est correspondant innovation auprès du CNRS en innovation/science informatique. Sur le volet de l'organisation d'événements scientifiques, il a été « Registration chair » pour la conférence internationale IWCMC (International Wireless Communications & Mobile Computing Conference) depuis 2021 jusqu'à présent. Il a également co-fondé et co-présidé l'atelier international e-HPWAS (International Workshop of e-Health Pervasive Wireless Applications and Services) depuis 2021. Il a également été Co-président du Symposium sur la Sécurité des Systèmes de Communication et d'Information (CISS) de l'IEEE Globecom 2019. De plus, il a été Co-président du symposium « IoT, massive MTC and V2X » à la Conférence IEEE sur les Normes pour les Communications et les Réseaux (CSCN). Enfin, il a Co-présidé l'atelier international sur les Technologies, Algorithmes, Modèles, Plates-formes et Applications pour les Villes Intelligentes (TAMPAS'18).

E. Renault a organisé les conférences MSPN (Mobile, Secure and Programmable Networks), MLN (Machine Learning for Networking) et WIN (Workshop on Intent-based Networking), publiées chez Springer (LNCS). Il est membre des comités de pilotage respectivement depuis 2015, 2018 et 2021. En 2021, il a organisé la conférence SSA (Smart and Sustainable Agriculture) publiée chez Springer (CCIS). De plus, il est Chair du symposium Communication Software & Multimedia à IEEE ICC 2024. En 2021, il a été Publication Chair de IFIP NPC (Network and Parallel Computing) chez Springer (LNCS).

N. Zangar a organisé en tant que General Co-Chair les conférences suivantes : ICTDM'19 (The 6th International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management), ISNCC '23 (International Symposium on Networks, Computers and Communications), ISCC'24 (International Symposium on Computers and Communications, 2024). Elle a également été Technical Program Co-Chair à la conférence ISCC'23 (International Symposium on Computers and Communications, 2023).

**Encadrements de doctorants et de post-doctorants** La liste des 13 doctorants encadrés et/ou dirigés par les membres de l'équipe et actuellement inscrits à l'école doctorale MSTIC est la suivante :

Nom	Prénom	Directeur(s)	Début	Financement
Aboud	Mohamed Aziz	R. Langar	2023	Projet 5G- RACOM
Ahmim	Ilyes	A. Rachedi	2022	Co-tutelle Univ. Annaba
Bekkouche	Roumaïssa	R. Langar	2020	Bourse MESRI
Bouselem	Badre	R. Langar	2021	Projet 5G-Insights
Chambon	Aurélien	A. Rachedi	2021	CiFRE uGetWin
Chor	Romain	A. Rachedi	2022	CiFRE Huawei
Dutriez	Clément	A. Rachedi	2022	Bourse MSTIC
Khelassi	Mohamed Amine	E.Dokladalova	2021	Bourse MSTIC
Kule Mukuhi	David	R. Langar	2023	CIFRE SNCF
Morgane	Joly	E. Renault	2021	CIFRE NXP
Nagham	Hachem	E. Renault	2023	Contrat projet Influence
NAROUWA	Massamaesso	R. Langar	2023	Projet Ferromobile
Terracher	Audrey	A. Rachedi	2021	Projet AirDescartes /E3S

La liste des 15 docteurs, encadrés et dirigés par les membres de l'équipe, est la suivante :

Nom	Prénom	Directeur(s)	Période	Financement
Aklamano	Fred	E. Renault	2017-2020	CIFRE Nokia
Bouzidi	Hocine	R. Langar	2017-2021	CIFRE Nokia
Djoudi	Aghiles	L. George	2018-2023	Projet Eiffage
Dridi	Mohamed Amine	L. George	2018-2021	CIFRE Nokia
ERESSA	Muluken	L. George	2020-2024	CIFRE METRON
Fabian	Philippe	A. Rachedi	2017-2020	Bourse MSTIC
Idoudi	Hassan	A. Rachedi	2021-2024	Bourse MSTIC
Moldoveanu	Matei	A. Rachedi	2019-2023	CIFRE Huawei
Molla	Dereje Mechal	R. Langar	2018 -2022	Projet X2Rail-3
Nguyen	Van Khang	E. Renault	2016-2019	Bourse Vietnam
Salhab	Nazih	R. Langar	2017-2020	FUI SCORPION
Starwarmath	Savita	E. Renault	2018-2021	CIFRE Orange
Sobehy	Abdallah	E. Renault	2017-2020	Bourse Futur & Ruptures
Tran	Van Long	E. Renault	2015-2018	Bourse Vietnam
Ugur	Yigit	A. Rachedi	2016-2019	CIFRE Huawei

La liste des doctorants co-encadrés par au moins un membre de l'équipe, ayant terminé leur thèse ou en cours et étant inscrits dans un autre laboratoire et un autre établissement, est la suivante :

- R. Langar a co-encadré une doctorante chez ENSI-Tunisie : Hager Hafaiedh (2017-2022),
- A. Rachedi a co-encadré 5 docteurs et 2 doctorants suivants : Namory Fofana (2023-2026), Mahmoud Bersali (2018-2021), Youcef Tahiaten (2018-2021), Abdellah Kaci (2017-2020), Djamila Bendouda (2016-2018), Tesnim Mekki (2015- 2018), Abdenour Kifouche (2016-2019).
- C. Titouna a co-encadré 2 docteurs suivants : DARWAISH Asim (2018-2022) et RAHMAN Fahad (2020-2023), qui étaient inscrits sous la direction d'un collègue (F. Naït-Abdesselam) dans un autre laboratoire et un autre établissement.
- T. Wang a co-encadré 2 doctorants inscrits dans les établissements étrangers : Yuexiu Xing ( 09/2019 à 09/2020) et Xiaolin Wang (12/2021 à 12/2022).
- K. Hamouid a co-encadré deux doctorants inscrits dans les établissements étrangers : Mehenna Sif-Eddine (depuis 2022) et ACHOURI Youcef (depuis 2022).
- O.-S. Oubbati a co-encadré un doctorant inscrit dans un établissement étranger : MESSAOUDI Kaddour (2020-2024).

La liste des post-doctorants et des ingénieurs de recherche encadrés par les membres de l'équipe est la suivante :

- A. Rachedi a encadré 01 post-docs et 04 ingénieurs de recherche : Kilian Le Page (2018-2019), Guy Luong (2019- 2020), Massiwayne Chikirou,(2020- 2021), Tesnim Mekki (2020-2021), Gauthier Letat (2023-2024).
- H. Badis a encadré 02 post-docs : ERESSA Muluken (2023-2025), Dereje Mechal Molla (2022-2023).
- R. Langar a encadré 02 ingénieurs de recherche : Vinicius Fonseca Silva (2021-2024), Salvatore Costanzo (2017-2019).

### 3-2.5.5 Ressources financières

Le financement des travaux de recherche de l'équipe notamment les thèses, les post-doctorats, les ingénieurs de recherche ainsi que les équipements dédiés repose principalement sur les contrats de recherche conclus avec des partenaires industriels et/ou des institutions publiques, tant au niveau national qu'international, ainsi que sur les bourses ministérielles destinées aux étudiants.

Voici quelques financements que l'équipe a obtenus dans le cadre de projets collaboratifs :

Dans le cadre du projet eRoadMontBlanc (début : 1/2024 - fin : 12/2028), A. Rachedi a obtenu un financement pour 2 thèses et du matériel de recherche dédié (400 k€). Ce projet vise à proposer une solution

concrète pour une décarbonation massive du transport routier grâce à la route électrique (Electric Road System - ERS) via le système APS, pour Alimentation Par le Sol. Responsabilités scientifiques : A. Rachedi coordonne le lot sur le jumeau numérique et l'IoT pour l'optimisation du déploiement de l'infrastructure électrique et son passage à l'échelle, ainsi que la collecte et la fusion de données dans la phase d'exploitation. Partenaires : Alstom, ATMB, GREENMOT, Pronergy, Université Gustave Eiffel.

Dans le cadre du projet BPI Influence (début : 01/05/2022- fin : 30/04/2025 ), E. Renault a obtenu un financement d'une thèse sur 36 mois et d'un postdoc sur 18 mois (300 k€). L'objectif du projet est de conceptualiser et développer une architecture logicielle permettant à des utilisateurs d'exprimer leurs besoins en terme de ressources informatiques et réseaux par l'intermédiaire d'intentions qui sont ensuite instanciées sous la forme de slices. Responsabilité scientifique : É. Renault est leader du Lot 4 consistant à caractériser et assurer des intentions dans les réseaux 5G. Partenaires : Nokia, Orange, Montimage, PSHA, Augmented Acoustics, CNAM.

Dans le cadre du projet international avec le Luxembourg ANR/FNR 5G-INSIGHT (début : Avril 2021 – fin : Sept. 2024), R. Langar a obtenu un financement de 284 k€ permettant de financer 1 thèse de doctorat et 1 ingénieur de recherche/post-doc. R. Langar est le coordinateur scientifique de ce projet (coté Français) qui consiste à développer de nouvelles approches basées sur l'apprentissage automatique (ML) pour détecter les attaques/anomalies dans les réseaux véhiculaires 5G. Partenaires : UGE, ULR, UBFC, UNILU, LIST.

Dans le cadre du projet FUI SCORPION (début : Sept. 2017 – fin : Aout 2020), R. Langar a obtenu un financement de 150 k€ permettant de financer 1 thèse de doctorat et en partie 1 ingénieur de recherche/post-doc. R. Langar est le responsable scientifique de ce projet (coté UGE) qui consiste à développer une plateforme de tranchage réseau 5G optimisée pour l'Internet des Objets. Partenaires : UGE, Nokia, Vertical M2M, Virtual Open Systems, ULR.

Dans le cadre du projet FlexMove (début : Jan. 2023 - fin : Déc. 2026), H. Badis a obtenu un financement de thèse (120 k€). L'objectif du projet consiste à développer et de tester une solution innovante de mobilité à la demande, multimodale et partagée pour répondre aux défis posés par les transports publics de voyageurs, particulièrement adaptée aux lignes de desserte fine, en rapprochant le monde ferroviaire des technologies du monde automobile. Responsabilité scientifique : Lot 5.4 du projet qui consiste à assurer la connectivité directe/maillée des véhicules Ferromobile, qui ont l'avantage de rouler sur la route et sur les rails, avec le centre de contrôle et les équipements/véhicules dans le voisinage. Partenaires : Alstom, Systra, La région Occitanie, Orange, Akkodis, Entropy, Ademe.

Dans le cadre du projet TechHoney (début : Mai 2022- fin : Avr. 2025), H. Badis et L. George a obtenu un financement de thèse et des équipements (200 k€). L'objectif du projet consiste à développer un écosystème pour soutenir les petits producteurs de miel dans la région méditerranéenne. Responsabilité scientifique : Lot 4 du projet qui consiste à développer un système de traçabilité de la chaîne d'approvisionnement qui inclut : les capteurs et leurs connectivités, les applications pour les acteurs de la chaîne logistiques, et la blockchain. Partenaires : CITA et CREDA (Espagne), JASSP (France), LIST (Luxembourg), UNINA (Italie), UNOR (Turquie), UNAM et UNSO (Maroc), UMMTO (Algérie), UTM (Tunisie).

Dans le cadre du projet OPTI-GRID (début : Déc. 2020- fin : Nov. 2023), L. George et H. Badis a obtenu un financement de thèse (120 k€). L'objectif du projet consiste à développer des algorithmes prédictifs probabiliste pour l'apprentissage automatique dans l'objectif de prévoir la demande d'électricité. Responsabilité scientifique : Encadrement doctoral. Partenaires : METRON.

Dans le cadre du projet NEWNECTAR (début : Oct. 2021- fin : Fév. 2023), H. Badis et L. Goerge a obtenu un financement de post-doctorant et des équipements (120 k€). L'objectif du projet consiste à développer une architecture réseaux pour collecter les données issues de capteurs déployés sur l'infrastructure ferroviaire et remonter ses données au centre de contrôle via des liaisons directes ou maillées. L'équipe LRT est un prestataire de IRT Railenium pour développer et mettre en œuvre la plateforme expérimentale. Partenaires : IRT Railenium.

Dans le cadre du projet CNRS-Paris Région FlashRAN (début : Sept. 2019 – fin : Nov. 2021), R. Langar a obtenu un financement de 82 k€ pour achat d'équipement et financer 1 ingénieur de recherche. R. Langar est le coordinateur scientifique de ce projet qui consiste à mettre en place une plateforme agile Cloud-RAN.

Dans le cadre du projet FUI PODIUM (début : Fév. 2016 – fin : Janv. 2019), R. Langar a obtenu un financement de 267 k€ permettant de financer 1 thèse de doctorat et 2 ingénieurs de recherche/post-doc. R. Langar est le responsable scientifique de ce projet (coté LIP6 puis UGE) qui consiste à développer une plateforme de déchargement de calcul dans le Cloud. Partenaires : LIP6/UGE, Thales, Nexedi, Ethertrust, Aneo, Luceor, IGO, CEREN

Dans le cadre du projet Eiffage, Chantier Responsable dans la Ville, (Début Janvier 2019-Décembre 2022), projet I-site Futur, L. Georges et N. Zangar ont obtenu le financement d'une thèse et deux stages . L'objectif du projet étant de mettre en place des réseaux de capteurs IoT dans un chantier, (Chatenay Malabry) afin de

faire une remontée de données sur l'empreinte carbone ainsi que le niveau de bruit dans le chantier.

L'équipe a obtenu 13 financements pour des doctorants sur des contrats CIFRE avec des entreprises :

- A. Rachedi a obtenu le financement de 4 thèses CIFRE dont trois avec Huwaei et une avec uGetWin : Yigit Ugur (2016-2019), Matei Moldoveanu, (2019-2023), Romain Chor (2022-2025), Aurélien Chambon (2021-2024).
- E. Renault a obtenu le financement de 4 thèses CIFRE avec Nokia Bell Labs, Orange NXP : Morgane Joly (2021-2024), Mohamed Amine Dridi (2018-2021), Savita Starwarmath (2018-2021), Fred Aklamanu (2017-2020).
- L. George a obtenu le financement de 2 thèses avec METRON : ERESSA Muluken. (10/2020 - 01/2024), Varun Deshpande (2017-2020).
- R. Langar a obtenu le financement de 3 thèses CIFRE une avec Nokia, SNCF et EDF : Fred Aklamanu (2017-2020), Mohand Ouamer Nait Belaid (2020-2023), David Kule Mukuhi (2023-2026).

Financement via la SATT Erganeo des projets de maturation et pré-maturation (transfert vers l'industrie) : PoC, ingénieurs de recherche, plateforme dédiés. Voici quelques projets :

- 2017 à 2018 (100 k€) : S. Cherrier a obtenu un projet de maturation nommé Bec3 : 2 contrats ingénieurs de recherche (Thomas Pape et Kevin Rauscher) durée 9 mois.
- 2020-2021 (12 mois - 50 k€) : A. Rachedi a obtenu un projet de pré-maturation nommé MI2X : "Massively Multi-user Interactive eXperiences using Wearable Internet of Things (IoT)". Participation scientifique : Passage à l'échelle du réseau d'objets connectés portables. Ce projet a financé le recrutement d'une post-doc (Tesnim Mekki).
- 2019-2021 (18 mois - 80 k€) : A. Rachedi a obtenu un projet de maturation de brevet nommé "GuidEvac : Methods and techniques for indoor navigation using Internet of Things (IoT) and Building Information Models (BIM)" et financé par SATT IdF-Innov (ERganeo). Participation scientifique : Optimisation du déploiement d'objets connectés à l'aide des jumeaux numériques et l'IA. Ce projet a financé 2 ingénieurs de recherche (Guy Luong et Massiwayne Chikirou).
- 2018- 2019 (18 mois - 150 k€) A. Rachedi a obtenu un projet de maturation nommé "BadZak - Data dissemination and transportation in dynamic wireless communication network : Internet of Vehicle (IoV) concern". Participation scientifique : Optimisation du mécanisme de diffusion et de collection de données des objets connectés via algorithmes de CDS (Connected Dominating set).

Ces projets de maturation ont donné lieu à 4 brevets et à la création d'une startup nommée uGetWin [125, 382, 381, 380].

### 3-2.5.6 Responsabilités dans l'environnement recherche

#### Responsabilités internationales

Les membres de l'équipe sont souvent invités à participer aux comités de programme des conférences internationales dans leurs domaines de recherche, et ils participent activement aux comités éditoriaux des revues internationales de renom.

Depuis Septembre 2023, Y. Abdeddaïm est membre de l'editorial board du Leibniz Transactions on Embedded Systems journal (LITES). Depuis Octobre 2022 elle est membre de comité exécutif de la conférence Euromicro Conference on Real-Time Systems (ECRTS). Elle a été General Co-Chair de la conférence 30th International Conference on Real-time Networks and Systems, RTNS 2022. Elle est également membre de divers TPC : IEEE RTSS 2018, 2021, 2022 et 2023, IEEE RTAS 2024, ECRTS 2023 et 2024 DATE 2023 et 2024.

Depuis Novembre 2019, R. Langar est éditeur associé dans les revues suivantes : IEEE Systems journal, IEEE Journal on Selected Areas In Communications : Series On Network Softwarization Enablers, et Journal of Network and Service Management (JNSM). Il est membre régulier de comité techniques (TPC) de plusieurs conférences internationales telles que IEEE ICC, IEEE GLOBECOM, IEEE PIMRC, IEEE VTC, etc. Il agit en tant qu'expert évaluateur auprès des organismes nationaux (ANR) et internationaux (NSERC, FNR, QNRF). Il a été président, vice-président et secrétaire du comité technique de l'IEEE sur Information Infrastructure and Networking (TCIIN) en 2018-2019, 2016-2017 et 2014-2015, respectivement. Durant la période d'évaluation, il a participé à 26 jurys de thèse et d'HDR, dont 13 fois en tant que rapporteur.

Depuis avril 2020, S. Oubbati est éditeur associé pour *Elsevier Vehicular Communications Journal*, *MDPI Drones* et *Frontiers in Communications and Networks journal*. De novembre 2020 à septembre 2022, il a été

Guest Editor dans les revues suivantes : *Wiley-Emerging Telecommunications Technologies*, *MDPI Sensors*, *IET Networks*, *MDPI Information*, *IARIA MOBILITY*.

Depuis septembre 2018, A. Rachedi est éditeur associé dans les revues suivantes : *IEEE Internet of Things* ; *IEEE Journal on Selected Areas In Communications : Series On Network Softwarization & Enablers* ; *IEEE ACCESS* ; *Wiley Security & Privacy journal* ; *Wiley International J (IJCS)*. Depuis 2018, A. Rachedi a été invité à contribuer en tant qu'éditeur invité (Guest Editor) à huit reprises dans les revues internationales suivantes : *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies (ETT)* ; *Elsevier Future Generation Computer Systems Journal* ; *IEEE Access* ; *Computers journal* ; *Information journal*. Il est conseiller scientifique dans la startup uGetWin, dont il est le co-fondateur. Il agit en tant qu'expert évaluateur auprès des organismes nationaux (ANR, ANRT) et internationaux (QNR, COMSAT). Durant la période d'évaluation, il a participé à 19 jurys de thèse et d'HDR, dont 17 fois en tant que rapporteur. Enfin, il est membre sénior de l'association IEEE et membre actif dans 3 comités techniques de IEEE Comsoc et notamment : 1) IoT & Adhoc and Sensor Networks ; 2) Communications and Information Security ; 3) Communication Software.

### Responsabilités nationales

C. Boucetta est membre élu du CNU 27 depuis 2023.

E. Renault est expert auprès du MESRI depuis 2018 pour le Crédit Impôt Recherche. Il a été appelé à siéger à un comité CIR (instance d'appel – dernier recours – en cas de refus). Enfin, il est expert auprès de Campus France depuis 2020 pour l'évaluation des dossiers de demande de Bourse Eiffel pour les Masters et les Doctorats dans le domaine Mathématique et Numérique.

### Responsabilités locales, articulation enseignement-recherche

Les membres de l'équipe sont très impliqués dans l'encadrement et l'administration des enseignements, en M2 à l'IGM, en formation ingénieurs à l'ESIEE Paris et aux départements de l'IUT de Marne-la-Vallée : Y. Abdeddaïm, Responsable de la filière ingénieur "Artificial Intelligence and Cybersecurity". C. Boucetta est responsable d'année du BUT3 MMI. E. Duris est directeur des études à l'ESIEE. D. Masson, est co-responsable de la filière ingénieur par apprentissage "réseau et sécurité". S. Oubbati est responsable d'année du BUT3 Informatique. A. Rachedi est responsable de la filière M2 "Systèmes et Service pour l'IoT" et chef de département MMI Meaux. E. Renault est co-responsable de la filière ingénieur "cybersécurité". T. Wing est co-responsable des projets E4 à ESIEE Paris.

#### 3-2.5.7 Prise en compte des recommandations du précédent rapport

La liste des recommandations préconisées et des commentaires dans le précédent rapport d'évaluation est énumérée ci-dessous.

Au niveau du critère 1A (Qualité des produits et activités de la recherche - page : 33 du précédent rapport) :

- C1 : *"La visibilité internationale de l'équipe repose sur une participation active dans plusieurs projets pilotés par des industriels, à finalité applicative, et il n'est pas fait mention de projets plus académiques ni de pilotage de tels projets, pour les membres seniors"*.
- R1 (réponse au C1) : En effet, notre équipe s'engage activement dans plusieurs projets avec des partenaires industriels, mettant ainsi en avant notre expertise dans des projets à finalité applicative. Cependant, il est important de souligner que nous sommes également engagés dans des projets plus académiques, notamment par le biais de soumissions régulières de projets à l'ANR. Malheureusement, le taux de réussite de ces soumissions est souvent très faible, ce qui peut expliquer pourquoi ces projets ne sont pas mentionnés. Nous sommes néanmoins déterminés à maintenir un équilibre entre les deux types de projets et à poursuivre nos efforts pour accroître notre participation dans des projets académiques tout en continuant notre collaboration fructueuse avec l'industrie.
- C2 : *"D'autre part, les projets mentionnés sont tous pilotés localement par un petit nombre de personnes. Il y a un risque de faire reposer l'activité collaborative sur un petit nombre de chercheurs, même s'il est naturel que les leaders soient les plus connus. Les chercheurs juniors n'interviennent pas activement dans les pilotages locaux ou le montage de projets nationaux."*
- R2 (réponse au C2) : Nous sommes conscients de l'importance de favoriser une participation active de l'ensemble de l'équipe, y compris des chercheurs juniors, dans le pilotage et le montage des projets. À cet égard, nous avons mis en place une politique visant à impliquer davantage les chercheurs juniors dans des projets existants et de les encouragés à participer au montage de nouveaux projets. Nous sommes

convaincus que cette stratégie contribuera à réduire la dépendance à un petit nombre de chercheurs et à favoriser une culture de collaboration et d'engagement collectif au sein de notre équipe.

- C3 : *"Le positionnement de l'équipe n'est pas suffisamment visible dans la structure de gouvernance de l'I-SITE pour faire reconnaître le caractère académique important du domaine."*
- R3 (réponse au C3) : Nous tenons à souligner que les membres de notre équipe n'ont pas été sollicités pour contribuer à cette instance de gouvernance de l'I-SITE. Cependant, nous sommes ouverts et disponibles pour contribuer activement à toute instance ou comité au sein de l'I-SITE. Si une opportunité se présente pour que les membres de notre équipe contribuent à la gouvernance de l'I-SITE, nous n'hésiterons pas à répondre favorablement.

Au niveau du critère 1B (Interaction avec l'environnement non académique, impacts sur l'économie, la société, la culture, la santé - 34 du précédent rapport)

- C1 : *Le contexte favorable et porteur de l'IoT pourrait amener l'équipe à ouvrir des pistes de collaborations vers les sciences sociales et la santé, pour mettre en contexte l'IoT et son utilisation, sur son acceptabilité et sur les questions de confidentialité et de vie privée.*
- R1 : Nous tenons à vous informer que notre équipe est déjà engagée dans plusieurs projets qui abordent ces aspects de manière significative.  
Par exemple, dans le cadre de l'appel à projet PEPR VDBI, notre équipe coordonne le projet soumis intitulé "SmartCityZen". Ce projet vise à surveiller en temps réel la qualité de l'air intérieur grâce à l'IoT, à l'IA et au jumeau numérique urbain, afin de mesurer l'impact sanitaire sur les usagers vulnérables. Nous collaborons étroitement avec l'INSERM pour aborder les aspects liés à la santé, tandis que notre équipe se charge de traiter les questions de sécurité et d'anonymat des données.  
De plus, notre équipe travaille actuellement sur un autre projet nommé AirDescartes, qui traite également des aspects liés à la santé. Ce projet vise à surveiller l'exposition des usagers du Campus Descartes à la qualité environnementale, en particulier à la qualité de l'air extérieur. Nous sommes donc déjà engagés dans des collaborations interdisciplinaires visant à contextualiser l'IoT et son utilisation, à explorer son acceptabilité et à aborder les questions de confidentialité et de vie privée.

Au niveau du critère 1C (Implication dans la formation par la recherche - Page : 35 du précédent rapport)

- C1 : *L'équipe a subi cinq abandons de thèse qui, même si elles ont des origines variées, posent question. L'équipe est encouragée à analyser les raisons profondes de ces abandons (recrutement, accompagnement, perspectives offertes) afin de les réduire. La durée des thèses (42 mois) est aussi très légèrement supérieure à la moyenne habituelle.*
- R1 : Concernant les abandons de thèse, il est important de reconnaître que chaque cas est unique et peut avoir des origines variées. Toutefois, notre équipe reconnaît l'importance d'analyser en profondeur les raisons de ces abandons afin de les réduire à l'avenir. À cette fin, nous avons mis en place une politique d'accompagnement des nouveaux doctorants au niveau du laboratoire. Dans le cadre de notre suivi individuel des doctorants, chaque nouveau doctorant se voit attribuer un référent local, qui est distinct de son directeur de thèse ou de ses encadrants. Ce référent est chargé de suivre le doctorant de manière régulière et de détecter en amont les éventuelles difficultés auxquelles il pourrait être confronté et par conséquent réduire le risque d'abandon de thèse et de réduire la durée des thèses.

En ce qui concerne le critère 2 (Organisation et vie de l'équipe - Page : 35 du précédent rapport )

- C1 : *Le thème logiciel court éventuellement un risque avec le départ d'un membre travaillant sur l'Internet des Objets et qui était fortement impliqué dans les projets.*
- R1 : Nous tenons à souligner que nous avons pris des mesures pour consolider cet axe (logiciels) et maintenir une dynamique dans ce domaine.  
Nous avons recruté en septembre 2023 Hadrien Barral, pour consolider l'axe "logiciel" et de favoriser l'interaction avec les deux autres thèmes, à savoir le système temps réel et le réseau. Cette intégration vise à assurer une collaboration étroite entre les différents axes de recherche et à maintenir la continuité des projets en cours.  
Par ailleurs, un projet interne nommé AIR Amrçage est actuellement en cours et couvre à la fois les axes du logiciel et du systèmes temps réel.

Pour le critère 3 (Perspectives scientifiques à cinq ans et faisabilité du projet - Page : 36 du précédent rapport )

- C1 : *Si les perspectives sont pertinentes et présentent l'intérêt supplémentaire de contribuer à renforcer les collaborations au sein de l'équipe, elles sont nombreuses eu égard au nombre de membres de l'équipe. Les nombreuses et importantes responsabilités des membres de l'équipe ne favorisent pas forcément un travail quotidien intégré.*

- R1 : Nous avons centré les activités de recherche du nouveau projet autour des domaines d'application majeurs de notre université, notamment la ville intelligente et la mobilité décarbonée au service du citoyen. En nous concentrant sur ces domaines, nous visons à créer des synergies naturelles entre les membres de l'équipe et à encourager une collaboration plus étroite dans nos travaux de recherche. De plus, nous avons adopté une approche de co-construction du projet avec les membres de l'équipe. Cela signifie que chaque membre a la possibilité de contribuer à la définition des objectifs du projet et à l'identification des activités de recherche pertinentes. Cette démarche collaborative favorise l'engagement de tous les membres de l'équipe et renforce le sentiment d'appartenance à un projet commun.

Les trois recommandations à l'équipe (Page : 36 du précédent rapport ) :

- A – *Recommandations concernant les produits et activités de la recherche. L'équipe doit continuer sa politique de qualité concernant les résultats de sa recherche. Elle devra faire attention à ne pas faire porter la responsabilité de son activité contractuelle très importante sur trop peu de membres en favorisant la prise de responsabilité de ses membres juniors. Enfin, elle pourra compléter son activité de projets orientés vers la collaboration industrielle avec des projets de recherche plus fondamentale (type ANR).*
- Réponse à la recommandation A : Nous sommes engagés à maintenir cette politique de qualité et à garantir que nos activités contractuelles importantes ne reposent pas uniquement sur un petit nombre de membres de l'équipe. Pour répondre à cette préoccupation, nous avons pris des mesures pour intégrer systématiquement nos collègues, y compris les membres juniors de l'équipe, dans nos projets de recherche. Nous croyons fermement en l'importance de favoriser la prise de responsabilité de tous les membres de l'équipe, quel que soit leur niveau d'expérience. En outre, nous sommes conscients de l'importance d'équilibrer nos activités de projets orientés vers la collaboration industrielle avec des projets de recherche plus fondamentale, comme ceux financés par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR).
- B – *Recommandations concernant l'organisation et la vie de l'équipe. L'équipe doit poursuivre la construction de son identité propre et la mise en place de collaborations entre ses membres, qui ont été initiées dans la période de l'évaluation. Cela peut se faire par exemple en ayant une politique volontaire sur les candidats présentés aux écoles doctorales pour les contrats doctoraux en favorisant les sujets conjoints ainsi qu'au niveau de la thématique des projets industriels et de l'i-SITE. De même, les collaborations avec les autres équipes du LIGM sont à renforcer dans une démarche volontaire en intégrant par exemple des chercheurs d'autres équipes du LIGM dans les nombreux projets collaboratifs de l'équipe.*
- Réponse à la recommandation B : Nous reconnaissons que l'identité de l'équipe est un processus continu, surtout compte tenu des changements que nous avons connus au cours de la période d'évaluation, avec cinq départs et sept arrivées. Pour stabiliser l'équipe et contribuer à sa construction, nous mettons l'accent sur l'intégration des nouveaux arrivés. Nous nous efforçons de créer un environnement collaboratif où tous les membres de l'équipe se sentent valorisés et peuvent contribuer à cette construction. En ce qui concerne les collaborations externes, notre équipe collabore avec deux équipes du laboratoire : A3SI et MMSID. La collaboration avec MMSID, et en particulier entre A. Rachedi et A. Zaidi, a donné lieu à l'encadrement commun de 3 thèses CIFRE. Avec l'équipe A3SI, et en particulier T. Grandpierre, L. George et d'autres collègues de la thématique système temps réel ont collaboré.
- C – *Recommandations concernant les perspectives scientifiques à cinq ans et la faisabilité du projet. L'équipe devra veiller à favoriser la pleine intégration de ses membres ayant de lourdes responsabilités une fois ces dernières terminées, sans pour autant élargir les perspectives du projet qui est proposé.*
- Réponse à la recommandation C : Nous avons pris en compte la recommandation concernant les perspectives scientifiques à cinq ans et la faisabilité du projet. Nous continuons à veiller à ne pas élargir de manière excessive les perspectives du projet de l'équipe, tout en garantissant que tous les membres de l'équipe soient intégrés et impliqués dans nos activités de recherche. En tant qu'équipe, nous nous engageons à favoriser l'intégration (par exemple dans des projets existants) de nos membres ayant des responsabilités importantes une fois celles-ci terminées.

### 3-2.5.8 Introduction du portfolio

Cette section du portfolio résume les résultats des travaux de l'équipe en termes de valorisation vers l'industrie, de développement de nouvelles plateformes de recherche, ainsi que les principaux logiciels développés dans le cadre de partenariats avec des entreprises, et ceux rendus disponibles pour la communauté scientifique.

En raison des thématiques spécifiques explorées par notre équipe et de nos efforts continus en matière de valorisation des travaux de recherche et de transfert vers l'industrie (Plusieurs projets de pré-maturation et de maturation ont été gérés au niveau de l'équipe), nous avons déposé quatre brevets, dont trois ont été acceptés et protégés en Europe. Ces brevets ont également bénéficié d'extensions PCT en Amérique du Nord (États-Unis) et même en Chine, témoignant ainsi de leur pertinence et de leur potentiel à l'échelle mondiale [380, 381, 382, 125].

En février 2021, dans le cadre de nos projets de maturation, une startup nommée uGetWin a été fondée en collaboration avec la SATT Erganeo. Cette startup exploite déjà certains des brevets que nous avons développés et acceptés, démontrant ainsi notre capacité à créer de la valeur ajoutée à partir de nos recherches [2].

En ce qui concerne les équipements de recherche et les plateformes dédiées à l'expérimentation et à l'évaluation de nos modèles, protocoles et algorithmes, l'équipe dispose de divers équipements spécialisés. Parmi ceux-ci, nous pouvons citer quelques exemples :

- Au niveau des devices IoT : i) Une flotte d'une dizaine de drones de type Crazyflie et Tello, équipés de dispositifs de synchronisation et de localisation. ii) De plus, des robots de type TurtleBot complètent cette plateforme pour assurer une synchronisation avec les drones et les objets IoT, principalement utilisée pour valider les algorithmes et les modèles de collecte et de transport de données et de navigation dans un environnement fermé.
- Au niveau du réseau d'accès (5G RAN) et du réseau de cœur (5G Core) : une plateforme 5G intégrant les technologies OpenAir, 5G SA (Standalone) et NSA (Non-Standalone), ainsi que la fonctionnalité de slicing, déployée dans le cadre des projets (Scorpion et 5G-insight).

En ce qui concerne les logiciels, notre équipe a développé plusieurs types de logiciels. Certains de ces logiciels sont mis à disposition de la communauté scientifique, renforçant ainsi notre engagement envers le partage des connaissances et la collaboration notamment dans le domaine de la simulation et l'évaluation de performance. Parallèlement, d'autres logiciels sont protégés et exploités en partenariat avec des entreprises. Ces derniers sont particulièrement liés à l'exploitation des jumeaux numériques urbains.

Ces logiciels trouvent leur application dans divers domaines tels que l'optimisation du déploiement des objets IoT, la navigation et l'évacuation dans les bâtiments. Leur développement s'inscrit dans notre volonté de proposer des solutions innovantes liées à la ville intelligente et à la mobilité urbaine.

### 3-2.5.9 Auto-évaluation de l'équipe

Dans cette auto-évaluation, nous chercherons à identifier et à analyser les facteurs clés qui influent sur notre équipe, en examinant attentivement nos atouts internes, nos faiblesses, ainsi que les opportunités et les risques externes auxquels nous sommes confrontés. Dans cette optique, l'analyse SWOT (forces, faiblesses, opportunités et risques liés au contexte) s'avère être un outil intéressant.

#### Points forts (S)

- Expertise diversifiée et complémentaire : L'équipe dispose d'une expertise variée et complémentaire en matière d'algorithmes, de modèles et de systèmes pour les réseaux, logiciels et systèmes temps réel.
- Valorisation et transfert vers l'industrie : L'équipe mène une activité significative de valorisation et de transfert vers le monde socio-économique, avec la conclusion de contrats CiFre, le dépôt de plusieurs brevets, la gestion de projets de maturation et pré-maturation, ainsi que la création d'une StartUp nommée uGetWin en 2021, issue de l'équipe LRT.
- Formation par la recherche : L'équipe est impliquée dans le pilotage de formations au sein de l'IGM (M2SSIO) et de l'ESIEE Paris. Ces formations contribuent à alimenter les projets de recherche.
- Implication dans plusieurs projets : L'équipe est engagée dans plusieurs projets de différentes envergures, tant au niveau local/régional que national et international. Cette diversité de projets lui permet d'avoir accès à un large éventail de ressources, ce qui facilite le recrutement de doctorants, de post-doctorants et des ingénieurs de recherche.

#### Points de vigilance, et à améliorer (W) :

- Coordination géographique et communication : L'équipe est répartie sur trois bâtiments (ESIEE, Copernic et l'IUT site Meaux), et cette dispersion géographique peut poser des défis en termes de coordination et de communication.

- Stabiliser et consolider l'équipe, en particulier dans l'axe logiciel : Au cours de la période d'évaluation, l'équipe a enregistré 5 départs, mais également 7 nouvelles arrivées. Il est crucial d'intégrer ces nouveaux membres afin de renforcer et de pérenniser l'identité de recherche de l'équipe.
- L'identité de recherche de l'équipe reste encore en cours de construction : l'instabilité de l'équipe durant la période d'évaluation n'a pas facilité le processus de consolidation de son identité ni la création d'une synergie entre les trois axes principaux.

#### **Opportunités (O) :**

- Financements nationaux et internationaux : L'équipe pourrait tirer parti de sa présence sur plusieurs appels à projets nationaux et internationaux pour accéder à des financements et des opportunités de recherche.
- Tendances technologiques : Les thématiques de l'équipe est au cœur des tendances technologiques actuelles notamment autour des technologies d'IoT, 5G, systèmes temps réel et logiciels offrant des opportunités pour des avancées significatives.

#### **Risques liés au contexte (T) :**

- La pérennité et la maintenance des plateformes sont des aspects cruciaux pour garantir leur bon fonctionnement, leur continuité et leur évolutivité. Bien que l'équipe développe des plateformes dans le cadre de projets, malheureusement, certaines d'entre elles ne sont plus maintenues en raison du manque de ressources dédiées au sein de l'équipe et du laboratoire.
- Rapidité des avancées technologiques : Les avancées rapides dans les domaines de la technologie notamment réseaux (5/6G), technologies de communication des objets IoT pourraient rendre obsolètes certaines plateformes si l'équipe ne parvient pas à suivre le rythme.

#### **3-2.5.10 Projet de l'équipe**

Dans le cadre du projet de l'équipe pour la période 2024-2029, nous envisageons de poursuivre un double objectif : l'approfondissement des thèmes spécifiques pour les 3 axes de recherche et la convergence vers des méthodes et applications communes. Dans cette optique, nous cherchons à continuer à développer l'identité de l'équipe avec la capitalisation sur nos contributions passées en poursuivant notre trajectoire vers la consolidation et l'approfondissement de nos liens entre les trois axes de recherche.

Nous cherchons à exploiter les synergies entre nos 3 axes de recherche pour contribuer au développement de la ville durable, intelligente et de son environnement qui sont des domaines d'application stratégiques pour l'université Gustave Eiffel.

Les membres de l'équipe LRT sont impliqués dans plusieurs projets structurants de l'université Gustave Eiffel, axés sur les thématiques de la ville durable et de la digitalisation de la mobilité décarbonée. Parmi ces projets, on compte le projet i-SITE FUTURE, tel que le projet URL-UrbaRiskLab (2018-2023), qui vise à fédérer des chercheurs autour des thématiques des risques et crises en milieu urbain. Les membres de l'équipe LRT ont contribué à ce projet en travaillant sur le maintien de la communication réseau dans un contexte dégradé.

En ce qui concerne la décarbonation de la mobilité, dans le cadre de l'appel à projets France 2030, l'université est impliquée dans le projet eRoadMontBlanc (2023-2027). Ce projet propose une solution concrète pour une décarbonation massive du transport routier grâce à la route électrique (Electric Road System - ERS) via le système APS (Alimentation Par le Sol). L'équipe LRT pilote le workpackage sur le jumeau numérique pour l'optimisation du déploiement de l'infrastructure, en utilisant les réseaux IoT et l'IA.

Dans la continuité de cette implication et de la contribution active à la stratégie de l'université sur les thèmes de la ville durable, l'équipe LRT a déposé trois projets sur ces thématiques dans le cadre des appels à projets PEPR Ville Durable et Bâtiments Innovants (VDBI) et PEPR Digitalisation de la Mobilité Décarbonée (MOBIDEC). Par exemple, le projet SmartCityZen, piloté par l'équipe LRT et regroupant 12 laboratoires, a pour objectif de concevoir une plateforme numérique collaborative citoyenne novatrice, évolutive et adaptable. Ce projet a été sélectionné et auditionné par l'ANR. Nous attendons une réponse définitive d'ici juin 2024.

Actuellement, les membres de l'équipe sont activement impliqués dans le montage du projet Smart-Duo-Twin, axé sur la mobilité durable, décarbonée et résiliente. L'objectif est de concevoir un système d'aide à la décision pour les passagers et les marchandises, basé sur un jumeau numérique urbain avancé.

**Au niveau de l'axe des réseaux de communication sans fil** Nous avons l'intention de continuer à contribuer aux problématiques liées à la gestion et à l'allocation des ressources, à la qualité de service (QoS) et à la sécurité dans les réseaux cellulaires et non cellulaires.

Concernant les réseaux cellulaires 5G et 6G, nous nous attelons à explorer les défis et les opportunités qu'ils offrent, en mettant l'accent sur la capacité, la latence ultra-faible et la fiabilité des communications. De plus, nous nous concentrons sur le développement d'architectures de réseau innovantes, telles que les réseaux définis par logiciel (SDN) et les réseaux de tranches (network slicing), afin de prendre en charge une large catégorie d'applications et de services. Nous portons également un intérêt particulier aux dernières spécifications du 3GPP concernant la New Radio (NR) et à l'intégration des réseaux satellites dans les futurs réseaux 5G/6G, ainsi qu'aux réseaux d'accès Nb-IoT par satellite. Enfin, nous ne pouvons pas aborder ces aspects de la QoS sans tenir compte de la sécurité et de la confidentialité dans les réseaux 5G et 6G, en particulier face aux nouvelles menaces telles que les attaques de type Smart Jamming et les attaques basées sur l'intelligence artificielle.

En ce qui concerne les réseaux d'IoT et les réseaux de drones, nous continuons à explorer et à développer des mécanismes de collecte, de transport de données et de routage dans des contextes dégradés, avec ou sans présence d'infrastructure de réseau cellulaire. Les applications qui utilisent ce type de réseau sont de plus en plus exigeantes en termes de ressources, mais les contraintes des systèmes et des réseaux restent toujours fortes. Nous allons approfondir les techniques d'apprentissage par renforcement et fédéré, ainsi que les méthodes et les algorithmes de clusterisation et d'optimisation. De plus, il est nécessaire de considérer la résilience de ce type de réseau, qui est vulnérable par nature, surtout dans un contexte dégradé de déploiement. Enfin, la sécurité, la confidentialité des données et l'anonymat dans ce type de réseau restent des préoccupations actuelles pour lever les obstacles accentués par les caractéristiques de ce type de réseau.

Nous prévoyons également de travailler sur les mécanismes d'intégration et de coexistence entre les réseaux 5G/6G, les réseaux non cellulaires IoT et les réseaux de drones, afin de permettre une connectivité de bout en bout transparente et efficace pour différents types d'applications. Enfin, nous explorons le concept des jumeaux numériques urbains pour favoriser les synergies entre les différentes technologies de communication, telles que le fog computing et le edge computing, afin d'optimiser les performances et l'efficacité des réseaux du futur, en tenant compte des spécificités des différents types de réseaux.

**Au niveau de l'axe système temps réel** Dans cet axe, nous souhaitons approfondir deux thématiques. La première thématique concerne le développement de modèles et d'algorithmes d'ordonnancement temps réel pour des architectures GPUs. La motivation vient du fait que de plus en plus de systèmes embarqués critiques sont amenés à utiliser des fonctionnalités d'intelligence artificielle. Les algorithmes d'IA sont souvent exécutés sur des architectures GPU dans le but d'optimiser les performances en termes de temps de calcul moyen. Hors, pour pouvoir être certifiés, les systèmes critiques doivent garantir un déterminisme temporel qui n'est pas garanti par le comportement temporel moyen du système.

La seconde thématique concerne la prise en compte de contraintes de sécurités dans les modèles et algorithmes d'ordonnancement temps réel. Les systèmes d'exploitation riches (type Linux) offrent de nombreux mécanismes de sécurité contre différents types de vulnérabilités, cependant les systèmes temps réel critiques n'intègrent souvent pas ces mécanismes de protection, car leur activation représente un défi en termes de d'ordonnancement et de calcul du pire temps temps d'exécution.

**Au niveau de l'axe logiciel, systèmes et applications** Nous axerons notre recherche sur plusieurs catégories de travaux :

Dans le cadre de nos travaux sur les améliorations de la machine virtuelle Java et du langage Java, nous nous focaliseront sur deux axes principaux. Nous lançons dès Septembre 2024 la seconde phase du projet Valhalla de l'OpenJDK [?] sous le nom de ParametricVM. La première phase consistait à introduire les "value-types", des classes Java dont les instances sont manipulées à l'exécution non pas par référence (adresse) mais par leur valeur. Le projet ParametricVM consiste à ajouter de nouvelles constantes au jeu d'instructions de la machine virtuelle Java (bytecode) dans le but d'obtenir à l'exécution les arguments des types et méthodes paramétrés en vu de permettre la spécialisation du code dans le cas où un des argument d'un type paramétré est un "value-type". Notre second axe consiste à modifier le langage Java pour introduire les concepts de tuples et leurs déstructurations dans le cadres du projet Amber de l'OpenJDK [?]. la difficulté principale réside dans le fait que Java possède un système de typage nominal tandis que les tuples sont traditionnellement associés à un système de typage structurel. Nous avons bon espoir d'utiliser des techniques similaires à celles utilisées lors de l'introduction des lambdas dans le langage Java il y a une dizaine d'années.

Une autre thématique concerne la sécurité des systèmes. Nous souhaitons explorer comment combiner attaques logicielles et matérielles, en particulier sur les systèmes où l'attaquant peut exécuter du code dans un

environnement non privilégié (type 'sandbox'). En combinant une mise en place logicielle, ainsi qu'une attaque matérielle à faible complexité, nous explorerons les possibilités de monter des attaques mixtes avec un coût bien plus faibles que les attaques matérielles classiques.

Un troisième point concerne l'amélioration des ramasse-miettes ("garbage collector") dans des langages non managés comme C. Les nouvelles fonctionnalités matérielles telles que CHERI (Capability Hardware Enhanced RISC Instructions) et ARM PAC (Pointer Authentication Code), introduites principalement dans un but de sécurité, ont redéfini la notion de pointeur. Ainsi, nous nous intéresserons à améliorer le 'Boehm garbage collector' en tirant profit de cette nouvelle sémantique des pointeurs.

### 3-2.6 Équipe Méthodes et Modèles pour le Signal, l'Image et les Données (MMSID)

« Méthodes et modèles en signal, images et données » est le nouveau nom de l'équipe SIGNAL évaluée dans le précédent rapport du HCERES. L'équipe MMSID compte 11 permanents :

Veronica Belmega	PR ESIEE	Date d'arrivée : 5/2022
Jean-François Bercher	PR ESIEE	
Marie-Liesse Cauwet	MCf ESIEE	Date d'arrivée : 1/2021
Antoine Chevreuil	MCf	
Walid Hachem	DR CNRS	
Théo Lacombe	MCf	Date d'arrivée : 9/2021
Philippe Loubaton	PR	
Jamal Najim	DR CNRS	
Nicolas Schreuder	CR CNRS	Date d'arrivée : 10/2023
François-Xavier Vialard	PR	Date d'arrivée : 9/2018
Abdellatif Zaidi	MCf	Détaché à temps complet chez Huawei

Dans tout ce paragraphe, nous mettons l'accent sur le travail scientifique de l'équipe qui relève du domaine 3, références 1 et 2.

#### 3-2.6.1 Les thématiques scientifiques et leurs enjeux

Notre équipe s'intéresse aux outils mathématiques utilisés en traitement du signal et des images, en Machine Learning et en télécoms. Les thématiques scientifiques de l'équipe sont diverses et peuvent être classées en quatre catégories :

- Probabilités en grande dimension et matrices aléatoires. Applications en statistique et en écologie théorique ;
- Transport optimal, analyse topologique des données et sujets connexes ;
- Théorie de l'information pour l'apprentissage et les télécoms ;
- Algorithmes d'optimisation et d'apprentissage statistique.

**Probabilités en grande dimension et matrices aléatoires. Applications en statistique et en écologie théorique.** Nos recherches dans ce domaine portent sur les grandes matrices aléatoires et sur leurs applications, notamment en estimation statistique, et plus récemment, sur l'étude dynamique des grands systèmes écologiques. Cette thématique est portée par A. Chevreuil, W. Hachem, Ph. Loubaton et J. Najim.

Dans le domaine des matrices aléatoires, nous nous sommes intéressés à l'étude des séries temporelles multivariées de grandes dimensions ainsi qu'à l'analyse spectrale de grandes matrices non symétriques ou non hermitiennes.

*Matrices aléatoires et inférence statistique sur les séries temporelles multivariées.* En statistique, nous avons développé et analysé de façon théorique divers schémas d'inférence dans des régimes asymptotiques dans lesquels la dimension  $M$  de l'observation et la taille de l'échantillon  $N$  d'une série temporelle convergent vers  $+\infty$ .

L'étude de schémas d'inférence statistique dans des régimes asymptotiques dans lesquels  $M$  et  $N$  convergent tous deux vers  $+\infty$  a émergé à partir des années 2005 sous l'impulsion des progrès réalisés depuis 1995 en matière de grandes matrices aléatoires. Cependant, la quasi-totalité des travaux effectués ont concerné le cas où les séries temporelles multivariées observées sont indépendantes et identiquement distribuées. La spécificité de nos travaux est de considérer des séries temporelles pouvant être corrélées. Dans ce contexte, les schémas d'inférence se doivent d'utiliser des statistiques plus riches que les matrices covariance ou d'autocorrélation empiriques (suffisantes dans le cas i.i.d.), par exemple des estimateurs de la matrice de densité spectrale de l'observation, ou des matrices qui en dérivent. Nos travaux utilisent donc un mélange de techniques de grandes matrices aléatoires et d'analyse des séries temporelles multivariées dans la lignée des classiques traités de Brillinger<sup>11</sup> pour ce qui concerne les approches non paramétriques ou de Aoki<sup>12</sup> pour les modèles paramétriques basés sur les représentations sous forme d'état.

Dans ce cadre, nous nous sommes intéressés à deux problématiques. La première a concerné le développement d'approches permettant de tester l'hypothèse  $H_0$  que les  $M$  composantes  $(y_{1,n})_{n \in \mathbb{Z}}, \dots, (y_{M,n})_{n \in \mathbb{Z}}$  d'une série temporelle multivariée gaussienne de dimension  $M$   $(\mathbf{y}_n)_{n \in \mathbb{Z}}$  sont indépendantes entre elles dans des régimes asymptotiques dans lesquels  $M$  et  $N$  convergent vers  $+\infty$  de telle sorte que  $M = \mathcal{O}(N^\alpha)$  où  $\alpha < 1$ . Dans le cadre de la thèse d'Alexis Rosuel, nous avons étudié des approches basées sur l'utilisation d'un estimateur  $\hat{C}(\nu)$  de la cohérence spectrale de l'observation défini comme une version renormalisée du périodogramme moyenné sur un nombre de fréquences  $B$  tel que  $\frac{M}{B} \rightarrow c$ . Dans ce contexte, la cohérence spectrale estimée peut-être vue comme une grande matrice d'autocorrélation empirique dépendant de la fréquence. [301] montre que sous  $H_0$ , la distribution empirique des valeurs propres de  $\hat{C}(\nu)$  converge vers la distribution de Marcenko-Pastur, avec des termes d'erreur, liés à la corrélation temporelle des composantes de l'observation, qui sont caractérisés. Ceci permet d'analyser la vitesse de convergence des statistiques linéaires des valeurs propres de  $\hat{C}(\nu)$  convenablement recentrées. Un théorème de la limite centrale a par ailleurs été établi récemment, et présenté dans [452] en attendant la soumission d'un article de revue. Ces résultats sont exploités dans [402] pour étudier, dans le cadre de l'utilisation d'un grand réseau de capteurs, le problème de la détection d'un signal de petit rang dans le domaine spectral perturbé un bruit blanc spatialement mais pas temporellement. Nous avons aussi montré dans [302] que sous  $H_0$ , si  $\mathcal{G}_N$  est un certain sous-ensemble des fréquences de Fourier,  $\max_{i \neq j, \nu \in \mathcal{G}_N} \hat{C}_{i,j}(\nu)$  converge en loi, après recentrage et renormalisation appropriés, vers une distribution de Gumbel. Enfin, dans [300], nous étudions une version des résultats de [301] dans laquelle la cohérence spectrale estimée est remplacée par une matrice de corrélation spatio-temporelle par bloc empirique, montrant ainsi que l'on peut aussi bâtir des tests d'indépendance dans le "lag domain".

La seconde problématique développée dans la période a abordé le problème d'estimer, lorsque  $M$  et  $N$  tendent vers l'infini au même rythme, la dimension minimale des représentations d'états d'une série temporelle définie comme une version bruitée (le bruit est blanc temporellement) d'un signal dont la densité spectrale est rationnelle et de petit rang. Ces travaux ont fait l'objet de la thèse de Daria Tiepova. Nous avons d'une part étudié les valeurs singulières de la matrice d'autocorrélation empirique  $\hat{\mathbf{R}}_{f|p}$  entre le passé et le futur de l'observation, et d'autre part les coefficients de corrélation canonique estimés entre le passé et le futur, qui peuvent être vus comme les valeurs singulières d'une version renormalisée de  $\hat{\mathbf{R}}_{f|p}$ . Nos résultats sont présentés dans [303], [447], [446] et [445], et montrent que, curieusement, l'utilisation des plus grandes valeurs propres de  $\hat{\mathbf{R}}_{f|p}$  ne permet pas d'estimer la dimension minimale des représentations d'états de l'observation, mais que l'on peut par contre exploiter les plus grands coefficients de corrélation canoniques estimés, sous réserves de conditions sur le rapport signal sur bruit et sur les vraies valeurs des coefficients de corrélation canonique entre passé et futur.

*Analyse spectrale de matrices non symétriques et applications.* La majorité des recherches théoriques et appliquées menées dans le champ thématique des grandes matrices aléatoires furent consacrées aux modèles matriciels *symétriques*, hermitiens ou plus généralement *normaux*. Comparativement, les matrices *non symétriques* (nous incluons les matrices non hermitiennes dans cette dénomination) sont plus difficiles à étudier que les premières. Cela est dû, entre autres, à l'instabilité inhérente au spectre d'un opérateur non normal. Ces difficultés ont été surmontées progressivement au cours des vingt dernières années, menant à de grands progrès dans l'étude de ces matrices. Les applications issues de ces modèles sont elles aussi de plus en plus nombreuses, tant en traitement du signal, en science des données, en automatique ou en biologie mathématique.

Dans le domaine des matrices non symétriques, nous avons réalisé une étude spectrale systématique du modèle d'une grande matrice à éléments indépendants, centrés et sujets à un champ de variances contenant le moins possible d'éléments non nuls [150, 151]. Ce modèle peut posséder des applications dans divers domaines

11. D.R. Brillinger. *Time series : data analysis and theory*. SIAM, 2001.

12. M. Aoki. *State space modeling of time series*. Springer, 2013.

tels que les réseaux de neurones biologiques ou l'écologie mathématique.

Une autre voie de recherche dans le domaine des matrices aléatoires non symétriques consiste à explorer leur potentiel dans le domaine de l'inférence statistique. Dans le domaine des séries temporelles multivariées, la grande majorité des algorithmes d'inférence étudiés à ce jour reposent sur la distribution des valeurs singulières de matrices construites à partir des observations (*cf.* ci-dessus). Les algorithmes basés sur les valeurs propres sont beaucoup plus rares. Or, la plus grande sensibilité de ces dernières aux perturbations peut donner lieu à des algorithmes performants de détection de ces perturbations. Dans ce cadre, nous avons étudié le spectre de grandes matrices d'*autocovariance empirique* pour un décalage temporel donné dans le cas où la dimension de la série temporelle multivariée et la taille de la fenêtre d'observation convergent vers  $\infty$  à la même vitesse. Le cas d'une série blanche temporellement et spatialement a été étudié dans [75] alors que le cas d'une série gaussienne stationnaire a été considéré dans [76].

L'écologie théorique est une thématique nouvelle au sein de notre équipe qui possède des liens étroits avec la théorie des grandes matrices aléatoires, la physique statistique ou les systèmes dynamiques. Nos travaux dans ce domaine relèvent du contexte suivant. L'évolution dynamique des biomasses de  $N$  espèces vivant au sein d'un grand système écologique est modélisée par une ODE sur  $\mathbb{R}_+^N$ , dite de Lotka-Volterra, dont l'élément central est une matrice aléatoire  $N \times N$  qui modélise les interactions alimentaires entre ces espèces. L'étude dynamique du système écologique : existence et précompacité de la solution, existence et stabilité des équilibres, nombre de ces équilibres, distribution des espèces en un point d'équilibre, etc., est intimement liée aux caractéristiques spectrales de la matrice des interactions. Ces questions sont décrites dans notre article de synthèse [11] qui paraîtra dans les *Proceedings of The Royal Society* et que nous avons mis dans notre portfolio.

Dans ce cadre, nous nous sommes intéressés aux questions suivantes :

*Faisabilité et stabilité d'un équilibre.* Un concept important dans l'analyse des grands systèmes de Lotka-Volterra est celui de faisabilité. Un équilibre est faisable si toutes ses composantes sont positives, ce qui d'un point de vue écologique, signifie qu'on retrouve à l'équilibre toutes les espèces initialement présentes (absence d'extinction). Dans le cadre où les interactions entre espèces sont modélisées par une grande matrice aléatoire, nous avons montré l'existence d'une transition de phase entre faisabilité et absence de faisabilité pour des différents modèles matriciels : modèles Ginibre, elliptiques et lacunaires (*sparse models*). Ces travaux soulignent le rôle fondamental de la normalisation, ils complètent et éclairent les travaux de Mazza *et al.* et précisent les conditions d'utilisation des grands modèles de Lotka-Volterra [72, 13, 140].

*Distribution des espèces à l'équilibre.* Dans les cas où l'ODE de Lotka-Volterra possède un équilibre globalement stable, la distribution asymptotique des espèces à l'équilibre, décrite par une mesure de probabilité asymptotique dans le régime  $N \rightarrow \infty$ , a été évaluée d'une façon non rigoureuse par des travaux récents issus de la physique statistique. Dans nos travaux, nous développons une technique rigoureuse pour établir la convergence de la distribution des espèces à l'équilibre et évaluer la probabilité limite. Notre approche est basée sur les algorithmes d'« Approximate Message Passing » (AMP) inventés récemment et de plus en plus populaires en physique mathématique des systèmes désordonnés (équation de Sherrington-Kirkpatrick pour les verres de spin), en apprentissage statistique ou en théorie des communications [12, 258]. Par delà l'écologie théorique, les résultats nouveaux que nous avons obtenus au sujet des algorithmes d'AMP peuvent être utilisés dans d'autres domaines, par exemple en apprentissage statistique pour reconstituer un signal mesuré dans le cas où la matrice de mesure est très lacunaire.

**Transport optimal, analyse topologique des données et sujets connexes.** Le transport optimal, thème de recherche majeur en analyse et en probabilités, trouve de nombreuses applications en analyse d'images, et plus récemment, en apprentissage. L'analyse topologique des données est une discipline plus récente qui offre des outils originaux pour étudier certains problèmes apparaissant en apprentissage et qui exhibe des liens importants avec le transport optimal [178]. Cet axe de recherche est porté par Th. Lacombe et par F.-X. Vialard. Il fait également partie des centres d'intérêt de N. Schreuder qui a rejoint l'équipe en octobre 2023.

Plusieurs voies sont poursuivies par l'équipe dans ces domaines :

*Recalage d'images médicales.* F.-X. Vialard perpétue sous la forme de collaborations internationales son activité de recherche bien établie dans ce domaine. Son apport actuel prend essentiellement la forme d'une expertise de modélisation dans des méthodes dominées par les réseaux de neurones (6 publications sur la

période). Un résultat majeur obtenu récemment consiste en la compréhension et la proposition d'une fonction de perte permettant de générer des déformations régulières [247].

Ces problèmes relèvent de l'apprentissage non supervisé : entre deux images (biomédicales en général), on recherche une transformation de l'espace ambiant qui est régulière et inversible. Nous avons étudié l'effet d'une fonction de perte dite « inverse consistant » en démontrant que ce choix induit une régularisation implicite des déformations obtenues. Un but explicite des méthodes de type réseaux de neurones en imagerie médicale est de mettre le moins d'information possible dans les modèles pour permettre un apprentissage en fonction des données. Dans cette direction, nous montrons donc qu'on peut se passer de régularisation de la déformation sous certaines conditions. Les autres publications concernées en imagerie médicale ont été publiées dans les conférences les plus sélectives du domaine, MICCAI, CVPR, NeurIPS [248, 444].

*Transport optimal computationnel et applications.* Le transport optimal appliqué et computationnel vise à élargir l'impact du transport optimal à travers le développement de modèles et d'algorithmes de calcul statistiquement efficaces. Un exemple important est le transport optimal non équilibré que nous avons créé et beaucoup développé, que ce soit à travers les méthodes numériques ou en étudiant les modèles associés. Les méthodes d'optimisation pour le transport optimal et le transport optimal entropisé constituent aussi un axe important de recherche qui est très compétitif sur le plan international. Les articles de notre équipe dans le domaine sont publiés dans les congrès NeurIPS et dans des revues de mathématiques appliquées. La publication à plus fort impact sur la période (+400 citations) consiste en la définition de nouvelles divergences de type transport optimal, qui conservent deux bénéfices : le premier est le fait de mesurer la différence entre mesures d'une manière similaire au transport optimal, c'est-à-dire en mesurant un déplacement qu'il faut produire entre deux mesures pour les mettre en correspondance. Le coût de calcul d'un problème du transport optimal est  $\mathcal{O}(n^3)$  où  $n$  est le nombre de points de la discrétisation considérée. L'utilisation de la divergence de Kullback-Leibler pour régulariser le problème permet de réduire la complexité de calcul de cette quantité. Malheureusement, cette quantité n'est plus une divergence entre mesures, c'est-à-dire une fonction qui est positive et nulle si et seulement si les deux mesures sont égales. On propose donc une divergence basée sur cette régularisation qui vérifie ces deux propriétés, qui est calculable en  $n^2$ , et qui est différentiable. Ces propriétés sont cruciales pour son utilisation comme un terme d'attache aux données, en apprentissage, en problèmes inverses ou en imagerie.

À la suite de ce travail, nous avons étudié le régime de faible température de cette divergence, et nous avons établi son intérêt dans l'estimation du problème de transport optimal non régularisé. Ce travail repose sur des techniques de développement limité et de formule de Laplace [137].

Une autre avancée majeure sur la période consiste en la proposition d'estimateurs statistiquement efficaces du transport optimal en grande dimension. Le fléau de la dimension qui se manifeste dès que  $d > 10$  est omniprésent en apprentissage. Les approches naïves en transport optimal conduisent à un coût qui décroît très lentement, en  $n^{-1/d}$  où  $n$  est le nombre d'échantillons disponibles. Peut-on définir de nouveaux estimateurs de la distance de transport optimal qui auraient un taux de convergence indépendant de la dimension ? Nous avons répondu positivement à cette question dans le cas de mesures à densité sur un convexe de l'espace euclidien. Nous avons proposé un algorithme avec les taux optimaux qui ne dépendent pas de la dimension et dont le coût computationnel est polynomial pour estimer le transport optimal dans un cadre stochastique [449, 344]. La méthode clé est l'utilisation de la technique de somme de carré introduite par Lasserre pour les polynômes, mais sur des espaces fonctionnels. Nous arrivons donc à utiliser des algorithmes de type SDP pour résoudre le problème dont la complexité est en  $n^{3.5}$ . La contribution reste donc relativement théorique puisque  $n^3$  est déjà trop coûteux pour passer à l'échelle.

Les autres publications concernent des méthodes pour l'estimation du transport optimal soit dans un cadre de petite dimension, soit dans un cadre statistique. Dans ces deux cas, nous utilisons la forte convexité cachée du problème pour définir des algorithmes de calcul efficaces numériquement et statistiquement. En particulier, nous mettons en avant certaines formulations variationnelles qui sont intéressantes d'un point de vue statistique pour sélectionner les modèles et optimiser ceux-ci. Ces méthodes ne sont pas limitées au transport optimal classique et s'appliquent en général au transport optimal non équilibré. D'autres travaux sur la période concernent des avancées plus théoriques : formules de développement limités en faible température pour la régularisation entropique [292]; régularité du transport non-équilibré avec des applications potentielles en estimation statistique (prépublication) [226], étude de l'homogénéité du transport non équilibré entropisé [3]. Les publications sont dans les congrès très sélectifs en apprentissage [451, 424, 422, 450].

*Problème de Gromov-Wasserstein.* Dans [184], nous montrons que ce problème d'optimisation non-convexe sur l'espace des plans de transports (mesures de probabilité sur un espace produit) admet dans certains cas des solutions déterministes (la mesure est concentrée sur le graphe d'une fonction entre les deux espaces).

C'est un résultat important qui ouvre de nouvelles perspectives pour résoudre numériquement ce problème. Dans [423], nous proposons une version non équilibrée du problème de Gromov-Wasserstein pour permettre de mettre en correspondance des espaces métriques mesurés avec des modèles qui peuvent inclure des variations de masse. Nous illustrons également l'intérêt potentiel de ce type de modèles sur des expériences en apprentissage automatique.

*Analyse topologique et optimisation stratifiée.* Dans [295], nous nous appuyons sur des techniques d'optimisation stratifiée pour proposer un algorithme de descente de gradient adapté à l'optimisation topologique et pour lequel on établit une convergence rapide. L'utilisation pratique de cet algorithme reste limitée car elle repose sur l'exploration d'un graphe de Cayley (donc exhibe, dans le pire des cas, une complexité en  $\mathcal{O}(n!)$ ); mais notre approche offre des pistes de recherche pour contourner cette limitation (approximation, régularisation...) et nous proposons notamment des heuristiques empiriquement efficaces.

D'une façon plus générale, l'optimisation topologique constitue une des voies de recherche que nous explorons activement en raison de ses applications prometteuses, mais qui nous oppose de nombreux défis théoriques et pratiques.

*Théorie de l'apprentissage profond.* Un axe de recherche nouveau que nous avons récemment abordé consiste en l'analyse des architectures neuronales. Notre objectif est de mieux comprendre pourquoi des architectures de type résiduel sont très efficaces pour l'utilisation de réseaux profonds. L'étude de réseau peu profond est aussi importante pour la compréhension de la partie résiduelle. Nous nous sommes particulièrement intéressés à la partie optimisation du problème d'apprentissage. En perspective, nous souhaitons attaquer le problème de la généralisation (2 publications sur la période à Neurips). Dans ces travaux, nous montrons que l'optimisation d'une classe importante de réseaux résiduels s'avère facile bien que non convexe [33].

**Théorie de l'information pour l'apprentissage et les télécoms.** Les recherches en théorie de l'information pour les statistiques, inaugurées dans les années 1950, ont été récemment revivifiées par le Machine Learning. Sans délaissier les liens sans doute plus traditionnels entre la théorie de l'information et les communications numériques, notre équipe avance dans cette voie de recherche. Cet axe est porté par V. Belmega, J.-F. Bercher, W. Hachem et A. Zaidi.

En théorie de l'information pour l'apprentissage, les quatre thématiques suivantes ont particulièrement retenu notre attention.

*L'inférence statistique sous contrainte de compression.* Les outils statistiques traditionnels s'appliquent dans les problèmes d'inférence statistique dits standard, dans lesquels les données sont entièrement disponibles au niveau de l'organe de décision. Pour beaucoup de systèmes intelligents émergents, par contre, la décision doit être prise sur base de données incomplètes, notamment *données compressées ou distribuées*. Dans ce cas, les outils standard de statistique ne sont pas applicables en général. A titre d'exemple, la compression introduit de la mémoire et de la corrélation statistique, ce qui rend le passage aux caractéristiques à *lettre unique* difficile. Un problème majeur dans ce cas est d'évaluer, ou tout du moins de borner la perte de performances causée par la compression ou la distribution spatiale des données. Par exemple, quelle est l'information de Fisher d'une séquence d'échantillons quantifiés ? Que devient l'exposant de Stein si le test est effectué sur des données quantifiées ? Nos travaux dans ce sens portent sur l'analyse de problèmes de : (1) *tests d'hypothèses distribués sous contrainte de compression* [469, 7, 198, 448] et (2) *estimation distribuée (paramétrique ou non) sous contrainte de compression* [414]. Pour ces deux familles de problèmes nous avons pu développer diverses *bornes sur les limites fondamentales dans différents contextes, dans le sens du compromis exposant/-taux de compression et du risque minimax mesuré par l'erreur de Wasserstein  $W_p$* ; et nous avons pu montrer que dans certains cas, ces bornes sont *optimales* [469, 448] ou *optimales d'un point de vue de l'ordre* [198, 414].

*La théorie de la généralisation.* Une analyse exacte des propriétés statistiques de l'erreur de généralisation, qui est la différence entre le risque évalué sur la population entière et le risque empirique, est hors de portée quand la distribution de probabilité des données n'est pas connue (ce qui est souvent le cas en pratique). Souvent on recourt à des bornes supérieures. Inaugurée par les travaux de Russo-Zou et de Xu-Raginsky, l'approche classique par la théorie de l'information mesure le pouvoir de généralisation d'un algorithme d'apprentissage par une analyse de la *complexité* de l'espace des hypothèses engendrées, mais donne lieu généralement à des bornes qui ne sont pas calculables. Pour notre part, nous avons développé une méthodologie qui permet de *lier le pouvoir de généralisation d'un algorithme à la compressibilité de l'espace des hypothèses, où la compressibilité est mesurée au sens nombre de boules topologiques nécessaires pour couvrir l'espace*. [421, 420, 457, 419].

Accessoirement, l'approche permet aussi de montrer de nouvelles inégalités de concentration et de retrouver et de généraliser l'inégalité de Varadhan-Donsker par l'analyse combinatoire des séquences typiques [420].

*L'apprentissage machine distribué.* Un axe majeur de la recherche sur l'apprentissage automatique ces dernières années a été l'étude des performances d'algorithmes d'apprentissage lorsqu'ils sont appliqués de façon distribuée (graphe au sens mathématique). Cependant, malgré son importance, peu de résultats sont connus sur les garanties de généralisation des algorithmes d'apprentissage statistique distribués. Nos travaux dans ce sens ont consisté en la proposition d'une nouvelle architecture distribuée ("*in-network learning*") [334], que l'on a prouvée meilleure que le *Federated Learning* (FL) de Google ou le *Split Learning* (SL) de MIT. Aussi, sur le plan de la théorie, dans un résultat significatif et inattendu (NeurIPS 2022) nous avons pu montrer qu'*un algorithme d'apprentissage (comme le Stochastic Gradient Descent) présente une plus petite erreur de généralisation lorsqu'il est appliqué d'une manière distribuée plutôt que centralisée (à données d'entraînement identiques)* [420, 139].

*Les entropies et les mesures d'information généralisées.* Dans ce travail, nous définissons et caractérisons des mesures informationnelles étendues engendrées par une fonction convexe  $\Phi$  : entropies, information de Fisher étendue et moments généralisés. L'idée initiale est de rechercher les fonctionnelles entropiques associées à une distribution donnée. On associe ainsi chaque distribution et jeu de contraintes à une fonctionnelle entropique, incluant des  $\Phi$ -entropies dépendantes de l'état. La généralisation de l'information de Fisher et des moments repose sur la définition d'une distribution compagne (escort-distribution) liée à la fonction (entropique)  $\Phi$ . Nous examinons les relations entre entropies, information de Fisher et moments généralisés définis dans ce cadre et généralisons des relations telles que l'inégalité de Cramér-Rao et l'identité de Bruijn. Ceci fournit un cadre général qui permet d'étendre et interpréter des résultats classiques sur l'entropie de Shannon, Renyi-Tsallis et les informations de Fisher généralisées [471, 49].

Dans le domaine de la théorie de l'information pour les communications mobiles, nous avons étudié les questions suivantes, liées à l'optimisation de schémas à accès multiple non orthogonaux NOMA et au calcul de l'information mutuelle de canaux par des outils issus de la théorie des opérateurs.

*Communications efficaces en énergie via rétrodiffusion ambiante :* Le problème considéré consiste à étudier les politiques de transmission efficaces en énergie pour les schémas d'accès multiple non orthogonaux (NOMA) des réseaux en liaison descendante aidés par la rétrodiffusion ambiante [190]. Le dispositif de rétrodiffusion ambiant est actif et module ses propres informations en réfléchissant le signal incident provenant de l'émetteur NOMA. Le débit somme d'un tel système, que l'on évalue par l'intermédiaire de l'information mutuelle maximale de Shannon, n'est pas connu. C'est pourquoi nous avons d'abord déterminé la région des débits accessibles pour un canal discret sans mémoire et, par la suite, pour des canaux gaussiens.

Nous avons ensuite considéré le problème de la maximisation de l'efficacité énergétique du système en tant que compromis (et ratio) entre le débit somme et la consommation d'énergie, sous des contraintes de débit minimum pour les utilisateurs. Pour ce faire, nous proposons une modification qui simplifie le problème d'optimisation non convexe résultant, ce qui nous permet d'obtenir le coefficient de réflexion optimal de notre système de rétrodiffusion et la politique d'allocation de puissance de manière analytique.

*Opérateurs ergodiques et information mutuelle de canaux radio.* La théorie des opérateurs de Jacobi aléatoires ergodiques est à l'intersection de la théorie spectrale des opérateurs, des probabilités et de la physique mathématique. En théorie de l'information pour les communications radiomobiles, les opérateurs de Jacobi et leurs généralisations bloc-Jacobi forment le cadre adéquat pour étudier l'information mutuelle de Shannon des canaux de communication radiomobiles sélectifs en temps et en fréquence et décrits comme des processus stationnaires et ergodiques. Ce point de vue est très rarement considéré dans la littérature dédiée aux communications radiomobiles où on opte le plus souvent pour des simplifications comme celle dite du « block fading channel ». Dans [259], nous étudions l'information mutuelle sous l'angle des opérateurs de Jacobi ergodiques. Dans ce cadre, nous considérons également les asymptotiques de l'information mutuelle dans les deux régimes du haut Rapport signal à bruit et des grandes dimensions.

**Algorithmes d'optimisation et d'apprentissage.** Cette thématique occupe pratiquement tous les membres de l'équipe MMSID, étant naturellement présente dans la grande majorité des travaux décrits ci-dessus. Ici, nous présentons nos travaux qui relèvent de l'optimisation (continue) déterministe ou stochastique en tant que telle. Nous abordons également divers travaux de nature applicative en statistique et en optimisation. Ces

travaux ont été réalisés par V. Belmega, J.-F. Bercher et W. Hachem.

Nous débutons par nos travaux généraux sur l'optimisation convexe ou non en milieu aléatoire.

*Les opérateurs monotones aléatoires.* L'optimisation convexe possède des liens très étroits avec la théorie des *opérateurs monotones*<sup>13</sup>. Plusieurs algorithmes d'optimisation convexe s'insèrent naturellement dans le cadre de cette théorie, où leur convergence reçoit une justification géométrique élégante basée sur le fait que certains opérateurs qui leurs sont sous-jacents présentent des propriétés de contraction adéquates.

Les articles cités ci-dessous<sup>14</sup> ont introduit la notion d'*opérateur monotone aléatoire*. Grâce à cet objet, il est possible de concevoir d'une manière naturelle des versions stochastiques de la plupart des algorithmes convexes. La thèse d'Adil Salim, soutenue en novembre 2018, est consacrée majoritairement à ces questions [61, 62].

Ces travaux se situent dans un cadre convexe. Nos activités plus récentes portent sur l'optimisation stochastique non convexe, le plus souvent dans un cadre non lisse :

*Optimisation stochastique non convexe : convergence et évitement des pièges.* Une manière classique d'étudier la dynamique d'un algorithme d'optimisation stochastique, disons de type gradient, est de considérer que la trajectoire des itérées est une discrétisation d'une ODE  $\dot{\theta}(t) = -\nabla F(\theta(t))$  dans le cas où la fonction objectif  $F$  est lisse, ou d'une inclusion différentielle  $\dot{\theta}(t) \in -\partial F(\theta(t))$  dans le cas où  $F$  ne l'est pas, où  $\partial F$  est ici le sous-différentiel de Clarke de  $F$ . Par l'intermédiaire de cette technique, l'idée est de prouver dans un premier temps que les itérées de l'algorithme convergent vers l'ensemble des *points critiques*  $\text{Zeros}(\nabla F)$  ou  $\text{Zeros}(\partial F)$  de  $F$ , et dans un deuxième temps, qu'une partie des éléments de ces ensembles, par exemple les maxima locaux ou les points-selles dans le cas lisse, sont évités grâce au bruit de l'algorithme.

Dans le cas lisse, la convergence et l'évitement des pièges sont très bien compris dans la littérature dans le cas où l'ODE sous-jacente à l'algorithme est une ODE *autonome*, comme c'est le cas de l'ODE  $\dot{\theta} = -\nabla F(\theta)$ . Il se trouve en revanche que cette hypothèse est mise en défaut par bon nombre d'algorithmes contemporains utilisés couramment en Machine Learning, comme le très populaire algorithme ADAM utilisé dans les réseaux de neurones et bien d'autres. Cette question est traitée dans notre article [31] où le problème de l'évitement des pièges est résolu par l'utilisation d'une version non autonome du théorème de la variété invariante de Poincaré.

Le cas non lisse (autonome) est plus complexe. Déjà, en nous limitant au cas de l'algorithme du sous-gradient stochastique, la simple convergence des itérées vers l'ensemble des points critiques de  $F$  réclame certaines propriétés de régularité sur cette fonction [63]. Dans ce cadre, la classe des fonctions *Whitney stratifiables*, popularisées dans le domaine de l'optimisation non convexe par Bolte *et al.*<sup>15</sup>, fournit un cadre idéal pour étudier ces algorithmes, et suffisamment général pour englober toutes les fonctions utilisées en pratique en statistiques et en apprentissage. Dans [64], nous avons considéré le problème de l'évitement des pièges pour ces fonctions. Une partie non négligeable du travail consiste déjà à *caractériser* les pièges dans le cas non lisse. Dans [64], le problème a été résolu dans le cas où la fonction  $F$  est faiblement convexe. Le problème général demeure ouvert.

Un autre axe de recherche concerne le développement d'algorithmes d'optimisation pour les réseaux sans fil.

*Optimisation de ressources dans les réseaux sans fil.* Un premier axe de recherche concerne l'optimisation des ressources dans les réseaux à haute mobilité (dynamique non-stationnaire) via l'optimisation en ligne et l'apprentissage par renforcement. Nous avons développé ici des politiques d'allocation adaptatives, flexibles, nécessitant peu d'information de feedback (jusqu'à un seul bit de feedback) et strictement causales [42].

Un deuxième axe porte sur l'optimisation des ressources dans les réseaux coopératifs (problèmes complexes et non-convexes) via l'apprentissage profond. Ici, nous avons développé des politiques d'allocation des puissances basées sur des réseaux profonds. Nous avons également étudié une procédure d'entraînement qui rend le réseau de neurones robuste aux imperfections de l'information du canal (*imperfect CSI*) [48].

Sur un plan plus appliqué, nous avons également étudié des problèmes d'apprentissage et d'estimation en

13. H. Brézis. *Opérateurs maximaux monotones et semi-groupes de contractions dans les espaces de Hilbert*. North-Holland mathematics studies. Elsevier, 1973.

14. P. Bianchi. Ergodic convergence of a stochastic proximal point algorithm. *SIAM Journal on Optimization*, 26(4) :2235–2260, 2016. P. Bianchi and W. Hachem. Dynamical behavior of a stochastic forward-backward algorithm using random monotone operators. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 171(1) :90–120, 2016.

15. J. Bolte, A. Daniilidis, A. Lewis, and M. Shiota. Clarke subgradients of stratifiable functions. *SIAM Journal on Optimization*, 18(2) :556–572, 2007.

communications numériques et en localisation GNSS :

*Sécurité des réseaux de distribution d'énergie via la théorie des jeux.* Nous avons développé des mécanismes de défense des réseaux de distribution (smart grids) robustes aux attaques cyber-physiques coordonnées, *i.e.*, attaques à la fois physiques (*e.g.*, déconnecter une ligne de transmission, un générateur ou un transformateur) et informatiques afin de masquer l'attaque physique en manipulant les mesures des capteurs via l'injection de fausses données.

*Localisation dans les systèmes GNSS.* Nous avons proposé une nouvelle méthode via deep learning de prédiction des poids optimaux des mesures provenant des nombreux satellites, afin de maximiser la précision de la localisation. Pour ceci nous exploitons des paramètres observés tels que : les résidus de pseudo-distance, le rapport porteuse-sur-bruit et ses statistiques empiriques, le temps de verrouillage de phase porteuse. Ces paramètres sont ensuite utilisés à l'entrée d'un réseau neuronal récurrent LSTM capable d'exploiter les corrélations cachées entre ces caractéristiques pertinentes pour le positionnement [416].

Enfin, nous avons considéré diverses applications mettant en jeu des algorithmes d'optimisation, d'estimation et de détection :

*Diverses applications optimisation et en statistiques.* Nous citons les travaux suivants :

- Applications en biologie/génétique – collaboration avec un laboratoire de génétique pour des traitements statistiques et traitement d'image [187], projet amorçage de la COMUE Université Paris Est ;
- Applications en génie civil – collaborations avec plusieurs équipes de l'ex-I ; de nombreuses applications ont été abordées (groupements de camions, pesage par pont, surveillance de la santé des ouvrages, formulation de matériaux alternatifs) avec un support financier I-SITE [417, 309, 120] – une thèse démarrée en décembre 2023, financement région IdF, sur la surveillance de la santé des ouvrages d'art (SHM), en collaboration avec le labo EMGCU.
- Applications aux sciences humaines et sociales – travaux dans le cadre de l'ANR APY (2021-2024) « APY – Entre Réseaux complexes et marché : YouTube au prisme des sciences sociales computationnelles » ; développement de méthodes de classification d'images et vidéos par deep learning (thèse de Nicolas Michel).
- Applications en télécom – estimation adaptative de métriques pour l'optimisation du routage dans les réseaux (thèse de Pierre Larrenie, Cifre avec Thales).

### 3-2.6.2 Animation scientifique de l'équipe

**Animation de la recherche.** Nous décrivons ci-après les différentes actions d'animation menées par les membres de l'équipe.

Depuis septembre 2022, V. Belmega est co-référente égalité-parité du LIGM. A l'actif de ce comité, nous comptons une demi-journée scientifique LIGM en juin 2023, des déjeuners « Girls Only » et des projets INS2I. Depuis avril 2022, elle est référente recherche au département DISC de l'ESIEE Paris (actions : organisation des séminaires recherche au sein du dépt.). Enfin, elle est représentante de l'ESIEE Paris au sein du pôle de compétitivité SYSTEMATIC Paris Région depuis décembre 2023.

J. Najim a obtenu un projet CNRS 80 PRIME KARATE avec François Massol, DR CNRS au Centre d'infection et d'immunité de Lille (CIIL). Le projet a financé la thèse de Maxime Clénet (2019-22) et a permis d'animer jusqu'à aujourd'hui un groupe de recherche KARATE (6 permanents, 4 institutions, 4 docs, postdoc et étudiants en Master). Ce groupe a impliqué 2 permanents de l'équipe, 2 doctorants de l'équipe, 1 postdoc et 2 Masters de l'équipe.

Dans le cadre du projet Monge financé par le labex Bézout (de l'ordre de 120keuros), F.-X. Vialard et Th. Lacombe organisent un groupe de travail, le GT Monge, et un séminaire mensuel qui porte notamment sur le transport optimal et ses applications en apprentissage automatique. Dans ce cadre, ils ont organisé un congrès international de deux journées sur ce thème<sup>16</sup>. Ce congrès a compté 12 orateurs invités dont 6 internationaux et environ 50 participants.

**Encadrements de doctorants et de post-doctorants.** Voici la liste des doctorants encadrés par les membres de l'équipe et qui ont effectué au moins une partie de leur doctorat au cours de la période d'évaluation. Beaucoup ont été co encadrés par des collègues extérieurs à l'UGE.

16. <https://angkor.univ-mlv.fr/~vialard/project/conference/>

14 doctorantes et doctorants se sont inscrits à l'UGE :

- Bercher : Pierre Larrenie (CIFRE / Thalès, 03/2020 – ), Nicolas Michel (ANR APY, 01/2021 – 03/2024), Mohamed Fidma (région IdF, 12/2023 – )
- Hachem : Sholom Schechtman (bourse LIGM, 11/2018 – 11/2021)
- Loubaton : Alexis Rosuel (ANR HIDITSA, 11/2018 – 12/2021), Daria Tieplova ( 50 % Labex Bézout, 50 % bourse Institut de physique des basses températures, Kharkiv, 10/2017 – 12/2020)
- Najim : Maxime Clenet (projet 80 PRIME CNRS, 2019–2022), Mohamed-Younes Gueddari, (bourse LIGM, 2022–, co encadré par Hachem)
- Vialard : Adrien Vacher (2020 – 2023), Siwan Boufadène (bourse LIGM, 2022– ), Théo Dumont (50 % bourse LIGM, 50% Labex Bézout, 09/2023 – , co encadré par Lacombe)
- Zaidi : Yigut Ugur (2017 – 2020), Matei Moldoveanu (2019 – 2023), Romain Chor (01/2022 – ), co encadrés par A. Rachedi (équipe LRT) et financés par une bourse CIFRE / Huawei.

11 doctorantes et doctorants se sont inscrits à l'extérieur de l'UGE :

- Belmega : Sajjad Maleki (01/2022 – ), Ibrahim Sbeity (01/2022 – ), Yacine Ben Atia (10/2020 – 09/2023), Hajar El Hassani (10/2019 – 12/2022), Cergy Paris Université
- Hachem : Adil Salim (10/2015 – 11/2018), Anas Barakat (10/2018 – 11/2021), Télécom Paris
- Najim : Imane Akjouj (2019 – 6/2023), Université de Lille
- Vialard : Thibault Séjourné (2018 – 2022), Raphaël Barboni (2022 – ), Ferdinand Genans
- Zaidi : Pierre Escamilla (2017 – 2020), Télécom Paris

L'équipe a compté également 4 post doctorants pendant la période évaluée :

- Belmega : Yacine Ben Atia, 10/2023 – , ATER UGE-LIGM
- Najim et Hachem : Mixalis Louvaris, 10/2023 – 10/2025, bourse Math in greater Paris
- Vialard : Gabriele Todeschi, 2023 – 2024.
- Zaidi : Yijun Wan, 1 – 12 / 2023, financement Huawei.

**Collaborations – invitations** . Nous avons invité trois collègues étrangers :

- Belmega : Giacomo Bacci, Université de Pise, une semaine en novembre 2023 sur un financement LIGM ;
- Hachem : Arup Bose, Indian Statistical Institute, Kolkata, un mois en 2019, projet franco indien IFCAM ;
- Vialard : Marc Niethammer, Université de Caroline du Nord, un mois en 2018, financement par le Labex Bézout.

### 3-2.6.3 Ressources financières

Dans le cadre du PEPR 5G (2023-2027), V. Belmega a obtenu deux financements de thèse pour des recrutements en cours. Le 6G project (2023-2028) financé par FAPESP / MCTI / CGI, Brésil, lui a permis de co-encadrer un post-doc de 4 ans. Le projet ANR PRCI FAPESP ELIOT (2019-2024) lui a permis de financer une thèse. Une thèse en co-tutelle avec les universités de Warwick et de Cergy Paris a été financée par l'EUTOPIA PhD Cofund (2021-2025). Enfin, elle a obtenu un 1/2 financement de thèse par l'ED EM2PSI (CY Cergy Paris Univ.) et un autre demi financement par l'IMT Nord Europe.

J.-F. Bercher a participé au projet ANR APY (2021–2024) qui a permis de financer une thèse. Il a également encadré une thèse CIFRE réalisée chez Thalès. Il a également obtenu un financement I-SITE pour une action « formulation aidée par l'IA de matériaux » (notamment bétons à faible empreinte carbone).

Th. Lacombe a obtenu un crédit de 5000€ de l'AAP CNRS 2022 qui a permis de financer un séjour à l'université de Kyoto et qui aura débouché sur la publication [266]. Il a également obtenu un financement « Animation Scientifique » (montant à confirmer) qui permettra de poursuivre l'animation portée par le GT-Monge. Il a également obtenu le financement par le LabEx Bézout et par l'UGE d'une thèse de doctorat. Cette thèse qui a démarré en septembre 2023 est co-dirigée par F.-X. Vialard.

W. Hachem a obtenu une bourse de thèse de l'EDSTIC de l'Université Gustave Eiffel (Sholom Schechtman). Il a également obtenu un financement pour un projet de recherche franco indien en mathématiques qui lui a permis de collaborer avec Arup Bose, de l'Indian Statistical Institute, Kolkata.

Une grande partie des travaux de Ph. Loubaton se sont déroulés dans le cadre du projet ANR-17-CE40-0003 HIDITSA (High Dimensional Time Series Analysis, 2017-2022) dont il était le coordinateur. Ce projet a financé entre autres les thèses d'Alexis Rosuel et de Daria Tieplova.

J. Najim a obtenu un projet CNRS 80 Prime KARATE qui comporte une bourse de thèse (Maxime Clénet). Il a également obtenu un projet du Labex Bézout de l'Université Gustave Eiffel (2022-23, 40 keuros). Il a également obtenu une bourse de thèse de l'EDSTIC de l'Université (Mohammed-Younes Gueddari, décembre 2022).

F.-X. Vialard encadre un post-doctorant et deux doctorants à l'UGE et deux étudiants en co-direction à l'extérieur de l'UGE.

A. Zaidi, en détachement à temps complet auprès de Huawei au cours de la période évaluée, a encadré deux thèses de doctorat CIFRE financées par cette entreprise.

### 3-2.6.4 Responsabilités dans l'environnement recherche

Depuis Septembre 2022, V. Belmega est « Area Editor » pour *IEEE Transactions on Machine Learning in Communications and Networking*. De mai 2022 à dec. 2022, elle a été Co-Lead Guest Editor, *IEEE IoT Magazine Special Issue : Pervasive, Efficient and Smart Signal Processing for IoT*. Depuis janvier 2022, elle est membre du IEEE SPS WISP Subcommittee - Grade Elevation, Nomination and Awards et membre du IEEE SPCOM Technical Committee. Elle est également membre de divers TPC : IEEE ICASSP 2023 et 2024, IEEE PIMRC 2023, IEEE SPAWC 2023, IEEE ICC workshops 2023. Pendant la période de l'évaluation, elle a fait partie de 10 jurys de thèse dont 2 en tant que rapporteure, 4 en tant que présidente et 2 en tant qu'examinatrice.

J.-F. Bercher est le Doyen du corps professoral de l'ESIEE, fonction qui comporte une partie recrutement et animation de la recherche, de janvier 2016 à mars 2023. Depuis cette date, il est le Directeur de la recherche de l'ESIEE. Il est également le responsable du WP « vision » dans le cadre du projet ANR APY.

Th. Lacombe est le responsable du groupe de travail « GéoAlgo », au sein du GdR IFM (Informatique fondamentale et ses mathématiques). Il a participé à l'organisation d'un congrès international « Computational Geometry » (octobre 2024, CIRM) dans le cadre de « l'année géométrie » instaurée par le GdR IM. Il a également participé à l'organisation d'un congrès<sup>17</sup> « Climate Science at the Interface Between Topological Data Analysis and Dynamical Systems Theory » (juillet 2024, Beaver Hollow Center, état de New-York, USA), financée par l'*American Mathematical Society*.

W. Hachem a servi dans les comités d'évaluation de l'ANR pour les appels 2018, 2019 et 2020. Au cours de l'appel 2018, il était membre du Comité 40 (mathématique, informatique, automatique et signal). Au cours des appels 2019 et 2020, il était le vice président du Comité 48 (informatique, automatique et signal) chargé du traitement du signal.

Depuis 2016, J. Najim est le Directeur adjoint du LIGM. Depuis 2019, il est rédacteur adjoint (*Associate Editor*) de la revue *Journal of Multivariate Analysis*. En outre, il a été co-organisateur du congrès international « Large Random Matrices and Their Applications V » 2020 (New York, à distance à cause du COVID). Il a été co-fondateur puis directeur du GdR « Matrices et graphes aléatoires » (MEGA), de 2017 à 2021. Il a été co-organisateur du workshop KARATE « Lotka-Volterra models : when random matrix meets theoretical ecology » organisé à l'UGE en 2019.

F.-X. Vialard est rédacteur adjoint de la revue SMAI : COCV et membre du comité de liaison du groupe thématique de la SMAI, MODE. Pour ce groupe, il a organisé une journée de conférence centrée sur l'optimisation et ses applications au signal, image et apprentissage automatique (85 inscrits). Les posts de blog qu'il publie sur sa page sont un vecteur scientifique utile pour communiquer très simplement des résultats qui ne sont pas nécessairement de premier plan scientifique mais qui méritent d'être diffusés. Il est par ailleurs impliqué dans le projet SFRI (structuration de la formation par la recherche dans les initiatives d'excellence) de l'université, mené dans le cadre de l'I-SITE, en tant que porteur du projet. L'action menée vise à l'exploitation d'un budget d'environ 9 millions d'euros pour développer la formation à et par la recherche, d'augmenter le nombre de candidats aux allocations doctorales et de favoriser la mobilité entrante et sortante des étudiants.

A. Zaidi a été rédacteur adjoint de la revue *IEEE Transactions on Wireless Communications* de 2016 à 2020. Dans le cadre de son détachement, il dirige en outre une équipe de recherche au sein du laboratoire de Huawei à Paris.

### 3-2.6.5 Prise en compte des recommandations du précédent rapport

Voici la liste des recommandations préconisées dans le précédent rapport du HCERES au sujet de l'équipe SIGNAL assorties de nos commentaires.

— Critère 1A, p. 47 du précédent rapport :

*Même si deux recrutements récents de personnels de rang A ont été effectués, le départ probable de*

17. format "MRC" (Mathematic Research Communities)

*deux maîtres de conférences, actuellement en délégation, peut fragiliser l'équipe.*

*Le projet I-SITE, tel qu'il est actuellement défini, ne recouvre que marginalement les thèmes de l'équipe, d'où un risque de fragilisation d'accès à ses ressources pour l'équipe.*

— Critère 2, p. 50 :

*Au vu des mouvements de personnel dans l'équipe (départ, détachement, délégation), et de la diversité des thèmes abordés et des objets méthodologiques, la dynamique d'équipe risque d'être affectée. Des sujets de recherche entre les thèmes, à la faveur de projets I-SITE, ANR ou de co-encadrement Cifre, pourraient permettre une intégration plus solide des travaux.*

— Critère 3, p. 51 :

*Le retour en fin de délégation d'une chercheuse, les suites à donner au détachement chez Huawei qui semble pérenne, le recrutement d'un PR permanent supplémentaire doivent apporter une stabilité sur le projet d'équipe et non pas conduire à une plus forte hétérogénéité des thèmes de recherche. Ceci constitue un point à risque qu'il faut surveiller.*

*L'équipe effectue déjà ses travaux dans des domaines proches et complémentaires. Il convient de pouvoir capitaliser sur les différentes compétences reconnues afin de montrer une force commune, surtout que la taille de l'équipe justifie difficilement des travaux de nature trop diverse. Même si des liens avec d'autres équipes existent (A3SI, LRT), les fortes compétences théoriques en modèles probabilistes, stochastiques de l'équipe SIGNAL pourraient se trouver en retrait si celle-ci est de facto peu intégrée dans le projet I-SITE.*

Ces trois critères soulignent la préoccupation des évaluateurs sur trois points : les mouvements au sein de l'équipe (départs et arrivées), une certaine hétérogénéité des thèmes de recherche et un positionnement peu évident par rapport à l'I-SITE. Nous apportons ci-après quelques éléments de réponse à ces questions.

- Mouvements : É. Chouzenoux a quitté l'UGE pendant la période d'évaluation. A. Zaidi, toujours en détachement auprès de Huawei, continue d'avoir une activité de recherche très soutenue et collabore avec l'équipe ainsi qu'avec l'équipe LRT. Deux professeurs, F.-X. Vialard et V. Belmega, une maîtresse de conférences, M.-L. Cauwet, un maître de conférences, Th. Lacombe, et récemment, un chargé de recherche au CNRS, N. Schreuder, ont rejoint l'équipe ;
- A l'issue de la période d'évaluation, l'apprentissage constitue une des principales thématiques au sein de l'équipe : dans ce cadre, Th. Lacombe et F.-X. Vialard collaborent activement en apprentissage et en transport optimal. W. Hachem a récemment entrepris un projet de recherche avec eux dans ce domaine. Par ailleurs, ces thèmes de recherche intéressent A. Zaidi dont les travaux récents s'articulent autour de l'apprentissage et la théorie de l'information et N. Schreuder qui s'intéresse aux problématiques d'équité en apprentissage statistique ;
- Deux groupes de travail portés par des membres de l'équipe participent de l'animation scientifique : le GT Monge, porté par T. Lacombe et F.X. Vialard qui a une audience au-delà de l'équipe, et le GT récent « Physique statistique autour des verres de spin », animé par W. Hachem, interne à l'équipe ;
- Au bilan, la thématique de l'optimisation a pris moins d'importance dans l'équipe avec le départ d'É. Chouzenoux (qui a suivi celui de Jean-Christophe Pesquet). A la suite de ces départs, nos travaux en traitement d'images se sont en outre recentrés sur le transport optimal. La thématique de l'apprentissage est montée en puissance avec l'arrivée de F.X. Vialard, de T. Lacombe et de Schreuder et l'inflexion thématique de A. Zaidi. L'arrivée de V. Belmega a redynamisé les thématiques autour des télécommunications. Enfin, les activités traditionnelles à l'équipe autour des probabilités en grandes dimensions et des matrices aléatoires se sont poursuivies, tout en abordant le domaine de l'écologie théorique. Ces mouvements ont certes redistribué les thématiques de recherche mais celles-ci s'inscrivent pleinement dans l'intitulé de l'équipe (modèles et méthodes pour le signal l'image et les données). Quant à l'éventuel risque de la dispersion thématique, il nous semble solidement contrôlé grâce à une bonne communication et animation internes et aux qualités individuelles des animateurs des différents thèmes ;
- Pour ce qui relève de la recherche, les thématiques de l'équipe MMSID se situent à la périphérie du projet I-SITE centré sur la ville et les territoires. L'équipe a cependant réalisé des projets de recherche dans le cadre de l'I-SITE, projets portés principalement par J.-F. Bercher qui concernent des applications de l'optimisation à des problèmes de génie civil.

En dehors de la recherche proprement dite, les membres de l'équipe sont partie prenante du projet I-SITE. F.-X. Vialard est le responsable du projet SFRI mené dans le cadre d'I-SITE. En outre, le projet SFRI a permis à W. Hachem de mettre en place un cours « transversal » de Master 2 sur la science des données.

## — Critère 1B, p. 49 :

*Les liens avec le monde sociétal ou la santé sont peu développés.*

*Le détachement d'un enseignant-chercheur chez Huawei pourrait présenter un risque de perte de compétence.*

Nous n'avons malheureusement pas amélioré nos liens avec le monde sociétal ou celui de la santé. Compte tenu de la nature de nos recherches, de tels liens sont potentiellement peu nombreux mais non nuls. Par exemple, nous aurions pu réaliser des missions de vulgarisation des mathématiques, de l'intelligence artificielle et de leurs enjeux auprès des élèves des collèges et des lycées.

A. Zaidi fait toujours partie de l'équipe et est très actif en recherche.

## — Critère 1C, p. 50 :

*La difficulté à trouver de bons étudiants dans le domaine est un risque pour l'équipe [...]. La durée moyenne des thèses est longue (42 mois).*

Sur la période, l'équipe a formé plusieurs doctorants de très bon niveau. Les réseaux individuels et les enseignements des membres de l'équipe dans les bons Masters parisiens (Master MVA, Master Data-Science de Télécom-Paris, etc.) assurent un recrutement régulier de bons doctorants même si ces voies de recrutement restent fragiles.

## — Recommandations, p. 51–52 :

*La petite taille de l'équipe ne requiert pas une organisation lourde. Cependant, dans la perspective des mouvements de personnels actuels et à venir, il faudra continuer à s'impliquer dans les instances de recherche et universitaires locales, et y chercher activement un appui pour renforcer l'équipe en jeunes doctorant(e)s, enseignant(e)s/chercheurs – chercheurs. L'affichage fort (voire formalisé) des liens avec d'autres équipes pourrait également être utile.*

*Les perspectives scientifiques à cinq ans sont convaincantes et ambitieuses. Cependant, leur concrétisation dépendra de la capacité à consolider les effectifs de l'équipe. D'autre part, l'utilisation des techniques en traitement d'images pour la santé (imagerie médicale) et pour l'environnement (imagerie satellitaire) sont des domaines applicatifs qui pourraient être développés, par exemple dans le cadre de l'I-SITE.*

L'effectif de l'équipe a augmenté significativement pendant la période de l'évaluation. En matière d'implication dans les instances de l'UGE, J. Najim est le directeur adjoint du LIGM. F.-X. Vialard est le porteur du projet SFRI décrit dans le paragraphe 3-2.6.4.

Nos liens avec les autres équipes et avec le LAMA prennent la forme de co encadrements de thèses.

Depuis le départ de J.-Ch. Pesquet et d'E.-Chouzenoux, nos travaux en traitement d'images se sont recentrés sur le transport optimal. Les applications en imagerie médicale ou satellitaire ont été abandonnées.

### 3-2.6.6 Introduction du portfolio

Comme la recherche de l'équipe est d'une nature exploratoire, l'essentiel de sa production scientifique prend la forme d'articles. Les six articles suivants sont représentatifs de notre activité.

1. P. Loubaton, A. Rosuel. Properties of linear spectral statistics of frequency-smoothed estimated spectral coherence matrix of high-dimensional Gaussian time series, *Electronic J. of Statistics*, Vol. 15, No. 2, pp. 5380-5454, 2021.

Dans cet article, nous nous intéressons au développement d'une approche permettant de tester l'hypothèse  $H_0$  que les  $M$  composantes  $(y_{1,n})_{n \in \mathbb{Z}}, \dots, (y_{M,n})_{n \in \mathbb{Z}}$  d'une série temporelle multivariable gaussienne de dimension  $M$   $(\mathbf{y}_n)_{n \in \mathbb{Z}}$  sont indépendantes entre elles dans des régimes asymptotiques dans lesquels  $M$  et le nombre d'observations  $N$  convergent vers  $+\infty$  de telle sorte que  $M = \mathcal{O}(N^\alpha)$  où  $\alpha < 1$ . Nous étudions des approches basées sur l'utilisation d'un estimateur  $\hat{C}(\nu)$  de la cohérence spectrale de l'observation défini comme une version renormalisée du périodogramme moyenné sur un nombre de fréquences  $B$  tel que  $c_N = \frac{M}{B} \rightarrow c$ . Dans ce contexte, la cohérence spectrale estimée peut-être vue comme une grande matrice d'autocorrélation empirique dépendant de la fréquence, et nous montrons que sous  $H_0$ , la distribution empirique des valeurs propres de  $\hat{C}(\nu)$  converge vers la distribution de Marcenko-Pastur  $\mu_{MP}^{(c)}$  de paramètre  $c$ , avec des termes d'erreur, liés à la corrélation temporelle des composantes de l'observation, qui sont caractérisés. Ceci nous permet d'établir que pour toute fonction  $f$ , la statistique linéaire des valeurs propres de  $\hat{C}(\nu)$  définie par  $\hat{f}(\nu) = \frac{1}{M} \text{Tr} f(\hat{C}(\nu))$ , convenablement recentrée par un terme déterministe  $\kappa(f, \nu)$  qui peut être estimé de façon consistante à partir des

observations, vérifie pour tout  $\epsilon > 0$  l'inégalité de concentration

$$\mathbb{P} \left( \sup_{\nu \in [0,1]} \left| \hat{f}(\nu) - \kappa(f, \nu) \right| > N^\epsilon u_N \right) < e^{-N^\gamma}$$

pour un certain  $\gamma$ , où la vitesse de convergence  $u_N$  est définie par

$$u_N = \max \left( \frac{1}{M}, \frac{\sqrt{M}}{N}, \left( \frac{M}{N} \right)^3 \right)$$

Nous montrons également que cette inégalité de concentration reste valide quand on remplace  $\kappa(f, \nu)$  par un estimateur consistant bien choisi  $\hat{\kappa}(f, \nu)$ . Dès lors, il est potentiellement possible de tester  $H_0$  en comparant  $\sup_{\nu \in [0,1]} \left| \hat{f}(\nu) - \hat{\kappa}(f, \nu) \right|$  à un seuil dépendant de  $u_N$ .

2. I. Akjouj, M. Barbier, M. Clenet, W. Hachem, M. Maïda, F. Massol, J. Najim, V.-C. Tran. Complex systems in Ecology : A guided tour with large Lotka-Volterra models and random matrices. *Proceedings of the Royal Society A : Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, In press.

Les grands systèmes écologiques de Lotka-Volterra sont bâtis autour d'une matrice qui représente les interactions alimentaires entre les espèces. Quand le nombre de ces espèces grandit, il devient pratiquement impossible d'estimer cette matrice. On préfère alors lui substituer un modèle de grande matrice aléatoire dont la loi dépend d'un nombre limité de paramètres, espérant ainsi dégager des lois d'échelle sur le comportement macroscopique du système écologique.

Cet article de synthèse passe en revue la littérature qui se situe à l'intersection entre la théorie des grandes matrices aléatoires et l'écologie théorique. Nous l'avons inclus dans le portfolio car il est révélateur de nos recherches récentes en écologie théorique.

3. T. Dumont, T. Lacombe, F.-X. Vialard. On the Existence of Monge Maps for the Gromov-Wasserstein Problem. *Foundations of Computational Mathematics*, In press.

Cet article est consacré au problème de Gromov-Wasserstein, une variante quadratique du problème de transport optimal classique. On démontre que ce problème d'optimisation *non-convexe* sur l'espace des plans de transports (mesures de probabilité sur un espace produit) admet—dans certains cas—des solutions *déterministes* (la mesure est concentrée sur le graphe d'une fonction entre les deux espaces). C'est un résultat important qui s'inscrit comme un analogue du théorème de Brenier (un résultat central du transport optimal classique) dans le cadre GW, qui vient généraliser des résultats antérieurs<sup>18</sup> et qui ouvre de nouvelles perspectives pour résoudre numériquement ce problème.

4. J. Feydy, T. Séjourné, F.-X. Vialard, S.-I. Amari, A. Trounev, and G. Peyré. Interpolating between Optimal Transport and MMD using Sinkhorn Divergences. *PMLR 2019*.

Les distances de transport optimal sont des distances naturelles entre mesures de probabilités qui sont populaires en apprentissage automatique car elles transfèrent de manière naturelle une métrique sur un espace en une métrique sur les probabilités sur cet espace. Les difficultés d'utilisation de cette métrique sont le coût de calcul prohibitif, la complexité statistique et la non-différentiabilité. Pour y remédier, la régularisation entropique (une approximation du transport optimal) est souvent utilisée mais comporte un problème majeur : ce nouveau coût n'est pas minimum le long de la diagonale, en particulier, ce n'est pas une distance ni même une divergence. Dans cet article, nous construisons à partir du populaire transport entropique une divergence (positive) entre mesures de probabilité qui est nulle si et seulement si les deux mesures sont égales. Elle bénéficie de la facilité de calcul du transport entropique et de sa complexité statistique. On montre en fait que dans une certaine limite de paramètres, on retrouve une distance de type « maximum mean discrepancies ». Cette publication a eu un fort impact, par exemple en nombre de citations (plus de 400 sur la période).

5. H. El Hassani, A. Savard, E.V. Belmega, and R.C. de Lamare. Multi-user downlink NOMA systems aided by an ambient backscatter device : achievable rate region and energy-efficiency maximization, *IEEE Trans. on Green Commun. and Networking*, Vol. 7, No. 3, pp. 1135-1148, Mar. 2023.

Nous étudions les politiques de transmission efficaces en énergie pour les schémas d'accès multiple non orthogonaux (NOMA) des réseaux en liaison descendante aidés par la rétrodiffusion ambiante. Le dispositif de rétrodiffusion ambiant est actif et module ses propres informations en réfléchissant le signal incident provenant de l'émetteur NOMA. En raison de l'opération multiplicative au niveau du dispositif

18. K.-T. Sturm. The space of spaces : curvature bounds and gradient flows on the space of metric measure spaces. *arXiv :1208.0434*, 2012. T. Vayer. A contribution to optimal transport on incomparable spaces. *arXiv :2011.04447*, 2020.

de rétrodiffusion ambiant lorsqu'il réfléchit le signal de l'émetteur, le débit somme atteignable du système n'est pas connu. C'est pourquoi nous avons d'abord dérivé la région des débits atteignables pour un canal discret sans mémoire et, par la suite, pour des canaux gaussiens.

Nous étudions ensuite le problème de maximisation de l'efficacité énergétique du système en tant que compromis (et ratio) entre le débit somme et la consommation d'énergie, sous des contraintes de débit minimum pour les utilisateurs. Pour ce faire, nous proposons une modification qui simplifie le problème d'optimisation non convexe résultant, ce qui nous permet d'obtenir le coefficient de réflexion optimal et la politique d'allocation de puissance de manière analytique (jusqu'à une ligne de recherche). Les résultats numériques démontrent l'impact négligeable de la modification introduite sur l'optimalité de notre solution. De manière remarquable, nos résultats montrent que la NOMA assistée par la rétrodiffusion ambiante est nettement plus performante que l'OMA : le gain relatif augmente avec le nombre de récepteurs, atteignant jusqu'à 14× d'amélioration par rapport à l'OMA.

6. M. Sefidgaran, R. Chor and A. Zaidi. Rate-Distortion Theoretic Bounds on Generalization Error for Distributed Learning, *NeurIPS 2022*.

Nous développons et utilisons des outils de la théorie taux-distorsion pour établir de nouvelles bornes sur les limites fondamentales (en terme d'erreur de généralisation) d'algorithmes d'apprentissage statistique distribué. Plus précisément, les modèles entraînés localement par  $K$  clients sont agrégés par un serveur central. Spécialisées au cas particulier de la classification par algorithme de *Support Vector Machines*, nous montrons un résultat important et peu attendu : l'erreur de généralisation décroît plus fortement avec  $K$  dans le cas distribué que lorsque SVM est appliquée de façon centralisée, et le gain est de l'ordre de  $\mathcal{O}\left(\sqrt{\log K}/K\right)$ . Ce résultat est également validé expérimentalement.

### 3-2.6.7 Auto-évaluation de l'équipe

#### Points forts

- La production scientifique de l'équipe nous paraît de très bonne qualité. Nous avons publié dans les meilleures revues comme *Electronic Journal of Probability*, *Journal of Functional Analysis*, *Foundations of Computational Mathematics*, *Mathematics of Operation Research*, *Mathematical Programming*, *IEEE Transactions on Information Theory* et dans les congrès les plus sélectifs comme *NeurIPS*, *AISTATS*, *ICML* ou *ISIT*. Nous totalisons 60 articles de revue et 66 articles de congrès approximativement sur la période évaluée.
- Notre équipe bénéficie d'une visibilité internationale dans les différentes communautés liées à nos thématiques (grandes matrices aléatoires, machine learning théorique, electrical engineering) : cela prend la forme de invitations, de responsabilités éditoriales et de participations à l'organisation de congrès.
- Bonne intégration dans les instances scientifiques nationales (GDR MEGA, GDR Informatique et Mathématiques, comités d'évaluation de l'ANR).
- Insertion locale dans les structures du laboratoire (DU adjoint) et de l'Université (Vialard représente le LIGM au sein du programme SFRI, Bercher a été doyen de l'ESIEE et en est maintenant le directeur de la recherche)
- La thématique du Machine Learning théorique a été installée et développée avec succès au sein de l'équipe lors du dernier quinquennal, selon des angles d'attaque originaux et en lien avec les expertises historiques de l'équipe : transport optimal, analyse topologique des données, théorie de l'information, grandes matrices aléatoires, théorie de l'apprentissage profond, etc. (structurellement, le Machine learning théorique a remplacé l'expertise en traitement d'images, anciennement portée par Pesquet et Chouzenoux).

#### Points de vigilance, et à améliorer

- Le recrutement de doctorants est un point de vigilance. L'équipe a toujours réussi à recruter de bons doctorants mais le processus de recrutement reste artisanal et fragile. Les membres de l'équipe font des efforts constants pour participer à l'enseignement dans les bons masters d'IDF et pour continuer à développer leurs réseaux scientifiques.
- Variété des thèmes. Si les thèmes portés par les membres de l'équipe peuvent paraître nombreux au regard de l'effectif de l'équipe, leur dénominateur commun est plus restreint : mathématiques appliquées, probabilités, statistiques. Les deux groupes de travail jouent à ce titre un rôle clé dans l'animation scientifique de l'équipe.
- Dispersion spatiale : l'équipe est répartie sur deux sites, le bâtiment Copernic de l'UGE et l'ESIEE. Le maintien d'un dialogue scientifique et d'échanges fructueux nécessite un effort constant.

## Opportunités

- Sur le quinquennal passé, l'équipe s'est positionnée avec succès sur deux thématiques visibles et à fort potentiel scientifique : le Machine learning théorique et l'écologie théorique (qui peut aussi être vue comme la compréhension et l'analyse de grands systèmes complexes). Il conviendra sur la période à venir de continuer à développer ces deux thématiques et aussi à explorer leurs nombreuses synergies. Un tel travail a déjà commencé.
- La qualité des recrutements récents au sein de l'équipe offrira des opportunités pour présenter des projets scientifiques nationaux (ANR, etc.) ou européens (ERC).

## Risques liés au contexte

- Sursollicitation : V. Belmega est trop sollicitée pour faire partie de jurys de thèse. En 2023, elle a dû participer à 8 jurys : 4 en tant que présidente, 1 en tant que rapporteuse et 3 en tant qu'examinatrice. Si l'on tient compte de son congé maternité, la pression et le travail causés par ces jurys sont écrasants. Ces difficultés persistent en 2024.
- Départ en retraite. Le départ à la retraite de Ph. Loubaton (PR). Ce départ surviendra à l'été 2025, sachant que Ph. Loubaton a été à l'origine de l'équipe, aura été une locomotive scientifique importante de l'équipe et du LIGM, avec une forte visibilité. L'équipe a dès à présent engagé une réflexion sur le remplacement du poste (thématique, vivier, etc.).

### 3-2.6.8 Trajectoire de l'équipe

Au cours de la période évaluée, l'équipe s'est résolument engagée dans le domaine du Machine Learning. Parmi nos thématiques de recherche dans ce domaine, nous comptons les probabilités en grande dimension, le transport optimal, l'analyse topologique des données, la théorie de l'information et les divers outils utilisés en théorie des réseaux de neurones profonds. Les applications de l'apprentissage machine ont également attiré notre attention. Nous retenons parmi celles-ci les télécoms, la localisation ou les applications en génie civil.

Nous poursuivrons ces efforts au cours du prochain quinquennal. Dans ce domaine, notre équipe s'est récemment agrandie par l'arrivée de N. Schreuder, CR au CNRS qui mène ses recherches dans le domaine des algorithmes d'apprentissage équitables où l'on cherche à atténuer les biais sociologiques en apprentissage automatique. Ces algorithmes empruntent beaucoup aux champs thématiques que nous venons d'évoquer. Par ailleurs, Th. Lacombe, N. Schreuder et peut-être V. Belmega soumettront dans les années qui viennent des projets ERC dans le domaine général du Machine Learning.

Outre le Machine Learning, nous avons abordé au cours du dernier quinquennal le domaine de l'analyse mathématique des grands systèmes écologiques, domaine qui emprunte également aux probabilités en grandes dimensions et à la physique statistique des systèmes désordonnés. Nous poursuivrons également nos efforts dans cette voie.

Au cours du prochain quinquennal, Ph. Loubaton partira à la retraite. Le remplacement du poste de Ph. Loubaton dans le domaine des mathématiques appliquées à l'apprentissage est un enjeu de la plus grande importance pour notre équipe.

Enfin, par delà notre travail de recherche, nous tournerons notre attention sur les enjeux « sociétaux » de nos disciplines. Cela prendra peut-être la forme de missions de vulgarisation des mathématiques ou de l'intelligence artificielle auprès des jeunes des collèges et des lycées, assorties de discussions avec ce public sur les métiers issus de ces disciplines et leur impact sur la société.

## 4- TRAJECTOIRE DE L'UNITÉ

### 4-1 Positionnement scientifique

#### 4-1.1 Historique succinct

Le LIGM, fondé en 1992, est une unité mixte de recherche en informatique qui relève des sections 27 et 61 du CNU et majoritairement des sections 6 et 7 du CNRS. Le laboratoire dépend de trois tutelles : l'Université Gustave Eiffel (UGE), le CNRS et l'École des Ponts ParisTech (tutelle secondaire). Les thématiques de recherche du laboratoire dans le domaine de l'informatique au sens large sont diverses et vont des réseaux de communication à la combinatoire algébrique, en passant par l'algorithmique, la géométrie, les bases de données, la bioinformatique, le traitement des images, la vision et l'apprentissage machine.

#### 4-1.2 Objectifs présentés dans le précédent rapport, réalisations, analyse critique et réorientations

Pendant le quinquennal écoulé, le laboratoire s'est donné trois objectifs que nous commentons ici. En réponse aux recommandations du précédent rapport du HCERES, nous décrivons ensuite l'évolution du LIGM.

**Consolidation.** Le laboratoire s'est assigné comme objectif de poursuivre le travail de consolidation de ses recherches dans ses domaines de spécialité en préservant l'équilibre de ses forces entre la recherche fondamentale la recherche appliquée en informatique. Le LIGM tient également à renforcer les thématiques de recherche transverses, notamment autour de la science des données.

La pérennisation des axes forts du laboratoire, ainsi que le renforcement des thématiques isolées, reste une priorité pour la direction du laboratoire. En effet, dans un contexte de plus en plus compétitif, il est de la plus haute importance d'attirer les meilleurs chercheurs et d'anticiper les départs (promotions, mutations, détachements, départs en retraite, etc.) qui nous ont beaucoup affectés pendant le quinquennal écoulé. Il est donc nécessaire de maintenir une masse critique d'enseignants-chercheurs tout en développant l'excellence scientifique.

Voici un état des lieux des recrutements et des ressources humaines du laboratoire.

Nos effectifs ont beaucoup changé durant la période 2018–2023 : +5 PR/-2 PR, +8 MCF/-8 MCF, +8 PR ESIEE / -7 PR ESIEE, +1 DR CNRS, +3 CR CNRS / - 2 CR CNRS et +4 CR ENPC. Tous les supports de postes des enseignants-chercheurs ayant quitté le LIGM ont été republiés. Nous avons de plus bénéficié d'une création PR et d'une promotion interne dite de *repyramidage*. Néanmoins, plusieurs mobilités sont survenues pendant le dernier quinquennal pour lesquelles les enseignants-chercheurs n'ont pas démissionné de leur poste. Ces mouvements constituent une vraie difficulté pour le laboratoire.

Sur le plan des embauches, le laboratoire a su développer ces dernières années une politique active d'accompagnement des candidats PR, MCF, DR et CR. C'est un élément que nous mettons très volontiers en avant. Le LIGM revendique désormais une certaine expertise sur ce dispositif, en particulier sur les concours CR et DR CNRS, qui participe assez largement à son attractivité. Comme la politique de recrutement est un des principaux leviers de la politique scientifique, nous sommes intransigeants sur la qualité de nos recrutements.

Le statut des enseignants-chercheurs de l'ESIEE constitue un point de vigilance. Depuis 2020, date de la constitution de l'UGE par fusion des établissements, le statut des nouveaux enseignants-chercheurs de l'ESIEE est celui de MCF ou de PR sur un poste permanent de droit public (CDI). Ce statut n'est pas complètement compatible avec les règles officielles pour la constitution des CoS des MCF ou PR du MESRI. Il reste donc perfectible et constitue un potentiel obstacle pour des recrutements de qualité.

Enfin, concernant les chercheurs de l'ENPC, la direction du laboratoire souhaite être plus impliquée en amont par la direction de l'École dans le processus de recrutement.

**Intégration dans les projets locaux et liens avec le LAMA et le CERMICS.** Vus du LIGM, le LabEx et la Fédération de recherche Bézout ont été une grande réussite dans le développement d'interactions avec le LAMA et le CERMICS. Les financements et projets associés ont été essentiels pour structurer des collaborations inter-laboratoires, établir de solides liens scientifiques et créer de nouvelles thématiques de recherche.

Avec la disparition du LabEx fin 2024 et l'intégralité de son financement basculée vers l'I-SITE Future, la pérennité des collaborations mises en place est fragilisée. Les futures répartitions et utilisations des fonds sont toujours en discussion et constituent un important point de vigilance pour la direction du LIGM. Cet enjeu est très important. Il est fondamental de maintenir un dispositif permettant de soutenir les financements des thèses, les invitations de chercheurs ou encore d'aider à l'organisation de manifestations scientifiques à la frontière entre les mathématiques et l'informatique.

**Développement de la science des données.** La recherche en Machine Learning a pris de l'ampleur au sein du laboratoire, dans l'équipe A3SI mais également dans les équipes BAAM, LRT et MMSID. À titre d'exemple, F.-X. Vialard, PR recruté en 2018 dans l'équipe MMSID, est un spécialiste reconnu de la théorie du transport optimal et de ses applications en ML. Th. Lacombe (MCF MMSID), recruté en 2021, mène ses recherches en analyse topologique des données, en transport optimal et dans leurs applications en ML. N. Schreuder (CR CNRS, MMSID) a été recruté en 2023 et ses recherches portent sur l'apprentissage statistique et l'apprentissage équitable. Dans le cadre du projet SuccinctEdge [464], O. Curé (BAAM) développe un système de gestion de graphes de connaissances pour l'informatique à la périphérie (Edge computing).

**Évolution du LIGM.** Durant la période d'évaluation, la principale évolution a été la scission de l'équipe MoA. L'équipe MoA, une équipe historique du laboratoire, comptait plus de 35 enseignants chercheurs et C. En 2021, elle a été scindée en deux nouvelles équipes : l'équipe *Algorithmique discrète et applications* (ADA)

et l'équipe *Base de données, automate, analyse d'algorithmes et modèles* (BAAM) de tailles plus raisonnables, conformément aux recommandations du précédent rapport d'évaluation du laboratoire.

D'autres restructurations du laboratoire, en particulier la scission de l'équipe A3SI, ne nous paraissent pas nécessaires à moyen terme.

## 4-2 Projection scientifique

### 4-2.1 Évolution du laboratoire et projet scientifique

Nous accorderons une importance particulière aux points suivants au cours du quinquennal à venir.

**La consolidation des axes de recherche du laboratoire.** Les axes de recherche du laboratoire décrits dans ce document restent prioritaires et seront consolidés. Pour ceci, nous resterons particulièrement exigeants sur la qualité de nos recrutements et nous nous efforcerons d'offrir le meilleur environnement de travail à nos futures recrues.

**L'interdisciplinarité.** La direction du laboratoire est convaincue de l'apport à la recherche scientifique de l'interdisciplinarité tant du point de vue de l'échange de concepts que du transfert de méthodes. Le LIGM a une démarche volontariste d'ouverture aux autres sciences (mathématiques, linguistique ou encore médecine) pour répondre aux défis sociétaux.

Les recherches à l'interface entre la santé et l'informatique sont en plein essor. Les recherches menées au sein du laboratoire sur les traitements des données biologiques et médicales ou encore sur la médecine personnalisée sont déjà des axes forts. Conforter cette dynamique est très clairement un objectif de la prochaine période.

**Le Machine Learning.** Les derniers recrutements dans le domaine du Machine Learning théorique ont beaucoup renforcé l'activité du LIGM dans ce domaine. Nous poursuivrons nos efforts dans cette direction. Il est important de noter que l'arrivée d'enseignants chercheurs dans ce domaine de recherche est une excellente opportunité pour renforcer les formations de Master de l'UGE dans cette discipline. L'enjeu d'accroître la compétitivité de nos Masters dans ce domaine est en effet de la plus haute importance.

### 4-2.2 Intégration de notre projet dans la stratégie de nos tutelles

Le dialogue entre la direction du laboratoire et ses deux tutelles principales, le CNRS et l'UGE, est permanent et régulier.

L'UGE se donne pour mission d'être l'acteur majeur de la recherche en France dans les domaines de la Ville durable, de la mobilité et des territoires désirables pour demain. Le LIGM s'engage dans les projets locaux portés par l'UGE tout en conservant son identité de laboratoire de recherche en informatique théorique et appliquée. Les futures répartitions et utilisations des fonds sont toujours en discussion et constituent un important point de vigilance pour la direction du LIGM. De tels financements sont entre autres essentiels pour structurer les collaborations entre les différents laboratoires de l'UGE.

### 4-2.3 Soutien à la recherche en cohérence avec la stratégie du laboratoire

Le LIGM a récemment mis en place un groupe de réflexion sur la pérennisation de ses logiciels et plus généralement sur la place du logiciel au sein du laboratoire via la création à moyen terme d'une équipe de soutien à la recherche. Ce projet est long et complexe. Il s'agit en effet de concevoir *ex nihilo* une structure de soutien pour le développement et la pérennisation (il convient en particulier de définir précisément comment fonctionnera une telle équipe avant d'atteindre une certaine masse critique) mais également de mieux valoriser le travail des enseignants-chercheurs et chercheurs du laboratoire dont l'activité est centrée, ne serait-ce que partiellement, autour du logiciel pris dans son sens le plus large. C'est un travail de concertation et de réflexion qu'il convient de mener en concertation avec les différentes tutelles du laboratoire.

### 4-2.4 Plan d'action de l'unité par rapport aux nouveaux enjeux

Par delà notre activité scientifique, certains enjeux revêtent pour nous une importance fondamentale.

**Parité–Égalité–Inclusion.** En 2020, le LIGM s'est doté d'une cellule « *Parité–Égalité* ». Les nombreuses actions menées par cette cellule, qui a tout le soutien et la confiance de la direction du LIGM, sont reçues très positivement par les femmes et les hommes qui constituent notre laboratoire. Il est fondamental de construire sur la dynamique qui est maintenant en place. Le laboratoire souhaite donc intensifier ses actions de communication autour de l'égalité, de la parité, du harcèlement moral ou sexuel, mais également élargir son champ d'action en y incluant la médiation, l'inclusion, le mentorat, ...

**Développement durable et "bilan carbone" du LIGM.** Le réchauffement climatique, ses conséquences, les moyens de l'atténuer et de s'y adapter sont des questions qui traversent la société et aussi l'université. La manière dont la recherche peut s'articuler avec ces problématiques est une thématique prégnante dans le laboratoire. Elle touche à la fois la jeune génération (doctorants et postdoctorants y sont souvent très sensibilisés) et de très nombreux permanents qui se demandent comment aligner leurs pratiques professionnelles avec les objectifs sociétaux tels que les accords de Paris.

Pour structurer ces interrogations, organiser une réflexion et proposer des solutions, la direction du laboratoire a pris en 2023 l'initiative de créer une commission de développement durable chargée de ces questions. Le DU Adjoint est référent DDRS (Développement Durable et Responsabilité Sociétale) et participe à ce titre aux différentes actions menées par la cellule DDRS de l'Université.

Le laboratoire dans son ensemble est en train de finaliser son premier BGES pour l'année 2023 (Bilan des Gaz à Effet de Serre) selon la méthodologie développée par le GDR Labo1point5. L'objectif pour le laboratoire sera dorénavant de réaliser un BGES annuel. La spécificité du laboratoire pour le calcul de son BGES est l'existence de plusieurs fichiers à centraliser (dépenses CNRS/UGE/ESIEE/ENPC). Cette année, le laboratoire produira deux BGES : un BGES correspondant à l'activité de la partie ENPC de l'équipe A3SI et un BGES correspondant au reste du laboratoire.

Le BGES sera l'occasion de présenter les coûts carbone correspondant aux différentes facettes de l'activité du laboratoire et d'initier une réflexion sur les actions à mettre en place pour aller vers une diminution des coûts carbone. La volonté forte exprimée par la direction du laboratoire est de développer une réflexion collégiale qui précèdera la mise en place de mesures efficaces et acceptées par tous.

D'ici à la fin 2025, nous espérons rédiger une charte d'engagement synthétisant les bonnes pratiques que le laboratoire mettra en oeuvre pour diminuer le coût carbone des activités de recherche.

**Enseignement des sciences.** La promotion des sciences et de l'informatique auprès des jeunes publics fait partie des missions d'un laboratoire comme le nôtre. Le LIGM a mené de nombreuses missions dans ce sens au cours de la période évaluée. Nous souhaitons renforcer cette activité lors du prochain quinquennal.

**Communication.** La communication joue aujourd'hui un rôle fondamental au sein d'un laboratoire de recherche, que cette communication soit interne ou externe. Pour dynamiser la diffusion de l'information, le laboratoire doit totalement repenser sa stratégie de communication. L'ambition est de faire mieux et autrement, par exemple en s'inspirant des expériences dans les laboratoires d'informatique franciliens avec lesquels nous avons de nombreux contacts.

## 4-3 Points de vigilance

### 4-3.1 Soutien à la recherche

La LIGM ne possède pas d'équipe de soutien à la recherche qui soit en adéquation avec les évolutions et les besoins actuels du laboratoire. Ce manque est clairement un frein pour la dynamique et l'attractivité du laboratoire. Concernant le logiciel en particulier, le LIGM a récemment mis en place un groupe de réflexion sur la pérennisation de ses logiciels et plus généralement sur la place du logiciel au sein du laboratoire via la création à moyen terme d'une équipe de soutien à la recherche. Ce projet est long et complexe. Il s'agit en effet de concevoir *ex nihilo* une structure de soutien pour le développement et la pérennisation (il convient en particulier de définir précisément comment fonctionnera une telle équipe avant d'atteindre une certaine masse critique) mais également de mieux valoriser le travail des enseignants-chercheurs et chercheurs du laboratoire dont l'activité est centrée, ne serait-ce que partiellement, autour du logiciel pris dans son sens le plus large. C'est un travail de concertation et de réflexion qu'il convient de mener en concertation avec les différentes tutelles du laboratoire.

Concernant le soutien informatique, le laboratoire n'a aucun personnel propre dédié à cette fonction. De plus, l'organisation du service informatique de l'UGE (*i.e.*, dépôt de tickets dans un bureau virtuel) n'est pas

totale­ment adapté à notre mode de fonc­tionnement. Il en résulte de nombreuses difficultés de fonc­tionnement au quotidien et des délais que la direction du laboratoire ne peut absolument pas maîtriser. Nous attendons des initiatives des tutelles sur le prochain quinquennal pour améliorer l'organisation du support informatique du laboratoire.

#### 4-3.2 Équipe Logiciels, Réseaux et Temps réel (LRT)

L'équipe LRT est l'équipe la plus récente du laboratoire, elle a été créée en 2013. Au gré des recrutements de ces dernières années (en particulier sur des supports de poste ESIEE), l'équipe n'a pas encore totalement acquis une identité propre. De plus, durant la période d'évaluation, l'équipe LRT a été grandement perturbée par plusieurs départs : R. Langar (initialement recruté pour diriger l'équipe LRT) est en détachement depuis 2021, L. George est décédé, S. Lohier et S. Midonnet sont partis à la retraite, N. Aitsaadi a été recruté PU à l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines en 2021 et M. Omar a été recruté PU à l'Université de Bretagne Sud en 2022.

Sur les deux dernières années, nous reconnaissons les efforts réalisés par l'actuel chef d'équipe pour son travail d'animation dans un contexte difficile de fort turn-over et pour une équipe multi-site. Il convient donc d'aider et d'accompagner au plus près cette équipe afin d'éviter les dispersions et d'accélérer la convergence vers des méthodes et applications communes. Plus généralement, la direction du laboratoire doit veiller à maintenir la stabilité et la cohésion de l'équipe et reprendre la main sur la politique de recrutement dans l'équipe LRT.

#### 4-3.3 Ressources humaines

Comme nous l'avons mentionné précédemment, onze collègues du LIGM ont plus de 60 ans : 2 MCF, 5 PR UGE, 3 DR CNRS et 1 DR ENPC. Le laboratoire doit donc, dans la mesure de ses moyens d'action, anticiper les départs qui risqueraient de fragiliser des équipes. Ajoutons que plusieurs collègues du laboratoire ont des responsabilités très lourdes (présidence et vice-présidence enseignement). Enfin, de nombreux collègues sont en détachement ou en disponibilité, et ceci sur des périodes parfois très longues.

La direction du laboratoire observe également un turn-over marqué concernant les collègues de l'ESIEE. Durant la période d'évaluation, N. Aitsaadi, N. Mustafa, M. Omar, L. Raad et H. Talbot ont quitté le laboratoire, bien souvent pour des postes académiques plus classiques.

Il faudra donc être durant la prochaine période d'évaluation particulièrement vigilant pour anticiper et adapter la politique de recrutement aux évolutions du laboratoire et de définir avec les tutelles une politique d'accompagnement du laboratoire concernant les collègues en mobilité longue.

#### 4-3.4 Soutien aux thèmes émergents

La direction du laboratoire doit être particulière attentive pour accompagner au plus près les nouveaux thèmes de recherche du laboratoire qui ont émergés ces dernières années et constituent des marqueurs de la dynamique et de l'attractivité du LIGM. Deux points méritent d'être mis en avant.

1. Un groupe de recherche sur les bases de données s'est développé au sein du laboratoire. V. Marsault (CR CNRS) a rejoint le LIGM en 2018 et O. Curé a été promu PR en 2022 par promotion interne dite de « *repyramidage* ». Néanmoins, L. Peterfreund (CR CNRS) a quitté le laboratoire en 2023 pour un poste à l'Université hébraïque de Jérusalem. Il convient d'être attentif pour maintenir la bonne dynamique de ce thème et de saisir une bonne opportunité de recrutement à moyen terme.
2. Plus généralement, l'apprentissage est en plein essor et occupe une place de plus en plus importante au sein du laboratoire, c'est évident pour les équipes A3SI et MMSID mais également pour l'équipe LRT. La direction du laboratoire doit veiller à maintenir une politique de recherche qui garantie la stabilité des équipes et renforce les points forts du LIGM. Cette politique devra bien sûr être menée en étroite collaboration avec les équipes enseignantes pour anticiper d'éventuelles évolutions des cours dispensés.

#### 4-3.5 École des Ponts ParisTech

L'École des Ponts ParisTech (ENPC) a initié un processus de rapprochement avec l'Institut polytechnique de Paris (IP Paris). La direction du laboratoire n'a aucune visibilité sur ce processus et doit être particulièrement attentive à ce que ces mouvements de fond ne viennent pas perturber le bon fonctionnement, la dynamique

et la cohésion du laboratoire. Les collègues relevant de l'ENPC constituent une part importante (7.2 DR et de nombreux doctorants) des recherches menées au sein du laboratoire sur des thèmes porteurs et très compétitifs

## RÉFÉRENCES

- [1] Machine Learning for Networking - Third International Conference, MLN 2020, Paris, France, November 24-26, 2020, Revised Selected Papers, volume 12629 of Lecture Notes in Computer Science, Paris, France, 2021. Springer International Publishing.
- [2] uGetWin, SAS., Paris, France, 2021.
- [3] An Homogeneous Unbalanced Regularized Optimal Transport model with applications to Optimal Transport with Bound, volume 206 of Proceedings of Machine Learning Research, 2023.
- [4] Tasnim Abar, Abderrezak Rachedi, Asma Ben Letaifa, Philippe Fabian, and Sadok El Asmi. FellowMe cache : Fog Computing approach to enhance (QoE) in internet of vehicles. Future Generation Computer Systems, July 2020.
- [5] Yasmina Abdeddaïm. Accurate Strategy for Mixed Criticality Scheduling. In Verification and Evaluation of Computer and Communication Systems - 14<sup>th</sup> International Conference, VECoS 2020, pages 131–146, Xi'an, China, October 2020.
- [6] Darius Afchar, Vincent Nozick, Junichi Yamagishi, and Isao Echizen. MesoNet : a Compact Facial Video Forgery Detection Network. In WIFS 2018, pages 26.1–26.7, Hong Kong, China, December 2018.
- [7] Inaki Estella Aguerri and Abdellatif Zaidi. Distributed Variational Representation Learning. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 43(1) :120–138, 2021.
- [8] Stefan Ainetter, Sinisa Stekovic, Friedrich Fraundorfer, and Vincent Lepetit. Automatically Annotating Indoor Images with CAD Models via RGB-D Scans. In IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision, -, United States, 2023.
- [9] Mohamed Akil, Yaroub Elloumi, and Rostom Kachouri. Computational aspects of deep learning models for detection of eye retina abnormalities. In Real-Time Image Processing and Deep Learning 2020, volume 11401 of Proc. SPIE, page 9, San Diego, California (Online Only), United States, April 2020. SPIE.
- [10] Mohamed Akil, Yaroub Elloumi, and Rostom Kachouri. Detection of Retinal Abnormalities in Fundus Image Using CNN Deep Learning Networks. In Elsevier, editor, State of the Art in Neural Networks, volume 1. Ayman S. El-Baz, 2020.
- [11] Imane Akjouj, Matthieu Barbier, Maxime Clenet, Walid Hachem, Mylène Maïda, François Massol, Jamal Najim, and Viet-Chi Tran. Complex systems in Ecology : A guided tour with large Lotka-Volterra models and random matrices. Proceedings of the Royal Society A : Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 2024.
- [12] Imane Akjouj, Walid Hachem, Jamal Najim, and Mylene Maida. Equilibria of large random Lotka-Volterra systems with vanishing species : a mathematical approach. working paper or preprint, July 2023.
- [13] Imane Akjouj and Jamal Najim. Feasibility of sparse large Lotka-Volterra ecosystems. Journal of Mathematical Biology, 85(66) :1–28, 2022.
- [14] Doriann Albertin. Combinatoire et géométrie des quotients de l'ordre faible. Theses, Université Gustave Eiffel, September 2022.
- [15] Doriann Albertin and Vincent Pilaud. The Canonical Complex of the Weak Order. In FPSAC 2022 - 34<sup>th</sup> International Conference on Formal Power Series and Algebraic Combinatorics, volume 86B of Séminaire Lotharingien de Combinatoire (Proc.), page #36, Bangalore, India, July 2022.
- [16] Doriann Albertin and Vincent Pilaud. The canonical complex of the weak order. Order. A Journal on the Theory of Ordered Sets and its Applications, 40 :349–370, 2023. 18 pages, 12 figures.
- [17] Doriann Albertin, Vincent Pilaud, and Julian Ritter. Removahedral congruences versus permutree congruences. The Electronic Journal of Combinatorics, 28(4) :P4.8, October 2021. 38 pages, 12 figures.
- [18] Doriann Albertin, Vincent Pilaud, and Julian Ritter. Type cones of permutree fans. In FPSAC 2021 - 33<sup>rd</sup> International Conference on Formal Power Series and Algebraic Combinatorics, volume 85B of Séminaire Lotharingien de Combinatoire (Proc.), page #10, Ramat Gan, Israel, January 2022.

- [19] Jorge Almeida, Alfredo Costa, Revekka Kyriakoglou, and Dominique Perrin. On the group of a rational maximal bifix code. Forum Mathematicum, 32(3) :553–576, May 2020.
- [20] Jorge Almeida, Alfredo Costa, Revekka Kyriakoglou, and Dominique Perrin. Profinite Semigroups and Symbolic Dynamics, volume 2274 of Lecture Notes in Mathematics. Springer International Publishing, 2020.
- [21] Anna Anastasiadis-Symeonidis, Tita Kyriacopoulou, and Aggeliki Fotopoulou. Multiword Expressions in Modern Greek : synthetic review on their nature. Bulletin of Scientific Terminology and Neologisms, 2019.
- [22] Tadeu Nogueira C. Andrade, George Lima, Veronica Maria Cadena Lima, Yasmina Abdeddaim, and Liliana Cucu-Grosjean. On the Selection of Relevant Hardware Events for Explaining Execution Time Behavior. In SBESC 2021 - XI Brazilian Symposium on Computing Systems Engineering, pages 1–8, Florianopolis, Brazil, November 2021. IEEE.
- [23] Renzo Angles, Angela Bonifati, Stefania Dumbrava, George Fletcher, Alastair Green, Jan Hidders, Bei Li, Leonid Libkin, Victor Marsault, Wim Martens, Filip Murlak, Stefan Plantikow, Ognjen Savkovic, Michael Schmidt, Juan Sequeda, Slawek Staworko, Dominik Tomaszuk, Hannes Voigt, Domagoj Vrgoč, Mingxi Wu, and Dusan Zivkovic. PG-Schema : schemas for property graphs. In ACM SIGMOD International Conference on Management of Data (SIGMOD), volume 1, pages 1–25, Seattle, WA, United States, June 2023. ACM.
- [24] Fouad Aouinti, Zeynep Sonat Baltaci, Mathieu Aubry, Aleksandre Guilbaud, and Stavros Lazaris. Computer Vision and Historical Scientific Illustrations. In 1<sup>st</sup> Symposium in Artificial Intelligence & Applied Mathematics for History & Archaeology " IAMAHA " -, Nice, France, November 2023.
- [25] Jean-Christophe Aval, Samuele Giraud, Théo Karaboghossian, and Adrian Tanasa. Graph insertion operads. In FPSAC 2020, volume 84B of Séminaire Lotharingien de Combinatoire, page 32, Online, Israel, July 2020.
- [26] Sergey Avvakumov, Alexey Balitskiy, Alfredo Hubard, and Roman Karasev. Systolic inequalities for the number of vertices. Journal of Topology and Analysis, pages 1–23, March 2023.
- [27] Arvind Ayyer, Matthieu Josuat-Vergès, and Sanjay Ramassamy. Extensions of partial cyclic orders and consecutive coordinate polytopes. Annales Henri Lebesgue, 3 :275–297, 2020.
- [28] Yasmine Bachi, Abderrezak Rachedi, and Djamel Eddine Menacer. Trust-based gateway selection in a multi-tiers blockchain architecture. In GLOBECOM 2021 - 2021 IEEE Global Communications Conference, pages 1–6, Madrid, Spain, December 2021. IEEE.
- [29] Golnaz Badkobeh, Maxime Crochemore, Jonas Ellert, and Cyril Nicaud. Back-To-Front Online Lyndon Forest Construction. In 33<sup>rd</sup> Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching, volume 223, pages 13 :1–13 :23, Prague, Czech Republic, 2022.
- [30] Max Bain, Arsha Nagrani, Gül Varol, and Andrew Zisserman. Frozen in Time : A Joint Video and Image Encoder for End-to-End Retrieval. In 2021 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), Montreal, Canada, October 2021.
- [31] Anas Barakat, Pascal Bianchi, Walid Hachem, and Sholom Schechtman. Stochastic optimization with momentum : convergence, fluctuations, and traps avoidance. Electronic Journal of Statistics, 15(2) :3892–3947, August 2021.
- [32] Imre Bárány, Matthieu Fradelizi, Xavier Goaoc, Alfredo Hubard, and Günter Rote. Random polytopes and the wet part for arbitrary probability distributions. Annales Henri Lebesgue, 3 :701–715, 2020.
- [33] Raphaël Barboni, Gabriel Peyré, and François-Xavier Vialard. On global convergence of ResNets : From finite to infinite width using linear parameterization. In NeurIPS 2022, volume 35, pages 16385–16397, New Orleans (online), United States, November 2022.
- [34] Gabriel Barbosa da Fonseca, Benjamin Perret, Romain Negrel, Jean Cousty, and Silvio Jamil Ferzoli Guimarães. Fuzzy-marker-based segmentation using hierarchies. In International Conference on Discrete Geometry and Mathematical Morphology (DGMM), Uppsala, Sweden, 2021.
- [35] Elias Barbudo, Eva Dokladalova, and Thierry Grandpierre. A New Modelling Framework for Coarse-Grained Programmable Architectures. In Compas 2020, Lyon, France, June 2021. accepted for 2020, presentation delay to 2021.

- [36] Elias Barbudo, Eva Dokladalova, Thierry Grandpierre, and Laurent George. A Mapping Methodology for Coarse-Grained Pipelined Configurable Architectures. In 14<sup>th</sup> Workshop on Models and Algorithms for Planning and Scheduling Problems (MAPSP 2019), Renesse, Netherlands, June 2019.
- [37] Elias Barbudo, Eva Dokladalova, Thierry Grandpierre, and Laurent George. A New Mapping Methodology for Coarse-Grained Programmable Systolic Architectures. In 22<sup>nd</sup> International Workshop on Software and Compilers for Embedded Systems (SCOPE 2019), St Goar, Germany, May 2019.
- [38] Michel Bauer, Denis Bernard, Philippe Biane, and Ludwig Hruza. Bernoulli Variables, Classical Exclusion Processes and Free Probability. Annales Henri Poincaré, November 2022. 40 pages, submitted to the special issue of the Annales H. Poincaré in memory of Krzysztof Gawedzki.
- [39] Rachel Bawden, Jonathan Poinhos, Eleni Kogkitsidou, Philippe Gambette, Benoît Sagot, and Simon Gabay. Automatic Normalisation of Early Modern French. In LREC 2022 - 13<sup>th</sup> Language Resources and Evaluation Conference, pages 3354–3366, Marseille, France, June 2022. European Language Resources Association.
- [40] Abderahmane Bedouhene, Bertrand Neveu, Gilles Trombettoni, Luc Jaulin, and Stéphane Le Méneç. An Interval Constraint Programming Approach for Quasi Capture Tube Validation. In CP 2021 - 27<sup>th</sup> International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming, volume 210 of Leibniz International Proceedings in Informatics (LIPIcs), pages 18 :1–18 :17, Montpellier, France, October 2021. Slovenian Chemical Society.
- [41] Roumaissa Bekkouche, Mawloud Omar, Rami Langar, and Bechir Hamdaoui. Ultra-Lightweight and Secure Intrusion Detection System for Massive-IoT Networks. In ICC 2022 - IEEE International Conference on Communications, pages 5719–5724, Seoul, France, May 2022. IEEE.
- [42] Elena Veronica Belmega, Panayotis Mertikopoulos, and Romain Negrel. Online convex optimization in wireless networks and beyond : The feedback -performance trade-off. In RAWNET 2022 - International Workshop on Resource Allocation and Cooperation in Wireless Networks, pages 1–8, Turin, Italy, September 2022.
- [43] Rémy Belmonte, Ararat Harutyunyan, Noleen Köhler, and Nikolaos Melissinos. Odd Chromatic Number of Graph Classes. In 49<sup>th</sup> International Workshop Graph-Theoretic Concepts in Computer Science, volume 14093 of 49<sup>th</sup> International Workshop on Graph-Theoretic Concepts in Computer Science, pages 44–58, Fribourg, Switzerland, June 2023. Springer Nature Switzerland.
- [44] Thomas Belos, Pascal Monasse, and Eva Dokladalova. MOD SLAM : Mixed Method for a More Robust SLAM without Loop Closing. In 17<sup>th</sup> International Conference on Computer Vision Theory and Applications, pages 691–701, Online Streaming, France, February 2022. SCITEPRESS - Science and Technology Publications.
- [45] Mostefa Ben Naceur, Mohamed Akil, Rachida Saouli, and Rostom Kachouri. Deep Convolutional Neural Networks for Brain tumor segmentation : boosting performance using deep transfer learning : preliminary results. In MICCAI-BRATS 2019 Workshop : Multimodal Brain Tumor Segmentation Challenge, Shenzhen, China, October 2019.
- [46] Mostefa Ben Naceur, Mohamed Akil, Rachida Saouli, and Rostom Kachouri. Fully automatic brain tumor segmentation with deep learning-based selective attention using overlapping patches and multi-class weighted cross-entropy. Medical Image Analysis, 2020.
- [47] Mostefa Ben Naceur, Rostom Kachouri, Mohamed Akil, and Rachida Saouli. A new Online Class-Weighting approach with Deep Neural Networks for image segmentation of Highly Unbalanced Glioblastoma Tumors. In International Work-Conference on Artificial Neural Networks (IWANN-Advances in Computational Intelligence), Advances in Computational Intelligence 15<sup>th</sup> International Work-Conference on Artificial Neural Networks, IWANN 2019, Gran Canaria, Spain, June 12-14, 2019, Proceedings,, Gran Canaria, Spain, June 2019.
- [48] Yacine Benatia, Romain Negrel, Anne Savard, and E Veronica Belmega. Robustness to imperfect CSI of power allocation policies in cognitive relay networks. In IEEE Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications, SPAWC 2022, Oulu, Finland, July 2022.
- [49] Jean-François Bercher and Steeve Zozor. Properties and Inequalities for  $\phi$ -entropies Derived from Inverse MaxEnt Problems. In Entropy 2018 : From Physics to Information Sciences and Geometry, Barcelone, Spain, May 2018.

- [50] Mikhail Berlinkov and Cyril Nicaud. Synchronizing Almost-Group Automata. International Journal of Foundations of Computer Science, 31(08) :1091–1112, December 2020.
- [51] Olivier Bernardi, Éric Fusy, and Shizhe Liang. Grand Schnyder Woods. working paper or preprint, October 2023.
- [52] Vincent Berry, Celine Scornavacca, and Mathias Weller. Scanning Phylogenetic Networks is NP-hard. In SOFSEM 2020 - 46<sup>th</sup> International Conference on Current Trends in Theory and Practice of Informatics, volume 12011 of Lecture Notes in Computer Science, pages 519–530, Limassol, Cyprus, January 2020.
- [53] Valérie Berthé, Paulina Cecchi Bernales, Fabien Durand, Dominique Perrin, J. Leroy, and Samuel Petite. On the dimension group of unimodular  $\mathcal{S}$ -adic subshifts. Monatshefte für Mathematik, 194(4) :687–717, 2021.
- [54] Valérie Berthé, Eda Cesaratto, Pablo Rotondo, and Martín Safe. LOCHS-TYPE THEOREMS BEYOND POSITIVE ENTROPY. Monatshefte für Mathematik, 200(4) :737–779, February 2022.
- [55] Valerie Berthe, Francesco Dolce, Fabien Durand, Julien Leroy, and Dominique Perrin. Rigidity and Substitutive Dendric Words. International Journal of Foundations of Computer Science, 29(05) :705–720, 2018.
- [56] Gilles Bertrand. Completions, Perforations and Fillings. In DGMM 2021 : Discrete Geometry and Mathematical Morphology, volume 12708 of Lecture Notes in Computer Science, pages 137–151, Uppsala, Sweden, May 2021. Springer International Publishing.
- [57] Gilles Bertrand. Completions and Ramifications. In International Conference on Discrete Geometry and Mathematical Morphology, volume 13493 of Lecture Notes in Computer Science, pages 71–83, Strasbourg, France, October 2022. Springer International Publishing.
- [58] Gilles Bertrand. Morse sequences. In International Conference on Discrete Geometry and Mathematical Morphology (DGMM), Florence, Italy, April 2024.
- [59] Gilles Bertrand, Nicolas Boutry, and Laurent Najman. Discrete Morse Functions and Watersheds. Journal of Mathematical Imaging and Vision, (65) :787–801, August 2023.
- [60] Gilles Bertrand and Laurent Najman. Morse frames. In International Conference on Discrete Geometry and Mathematical Morphology (DGMM), Lecture Notes in Computer Science, Florence, Italy, April 2024. S. Brunetti and A. Frosini and S. Rinaldi, Springer.
- [61] Pascal Bianchi, Walid Hachem, and Adil Salim. A constant step Forward-Backward algorithm involving random maximal monotone operators. Journal of Convex Analysis, 2018.
- [62] Pascal Bianchi, Walid Hachem, and Adil Salim. A Fully Stochastic Primal-Dual Algorithm. Optimization Letters, July 2020.
- [63] Pascal Bianchi, Walid Hachem, and Sholom Schechtman. Convergence of constant step stochastic gradient descent for non-smooth non-convex functions. Set-Valued and Variational Analysis, 30(3) :1117–1147, April 2022.
- [64] Pascal Bianchi, Walid Hachem, and Sholom Schechtman. Stochastic Subgradient Descent Escapes Active Strict Saddles on Weakly Convex Functions. Mathematics of Operations Research, 2023. Accepted for publication in Mathematics of Operations Research.
- [65] Philippe Biane. Gog and Magog Triangles. In Computation and Combinatorics in Dynamics, Stochastics and Control - The Abel Symposium, Rosendal, Norway, August 2016. 2018.
- [66] Philippe Biane. Laver tables and combinatorics. Seminaire Lotharingien de Combinatoire, 80(c), October 2019.
- [67] Philippe Biane. Mating of discrete trees and walks in the quarter-plane. The Electronic Journal of Combinatorics, 28(3), September 2021.
- [68] Philippe Biane. Nonlinear free Lévy-Khinchine formula and conformal mapping. Journal of Operator Theory, 85(1) :pp. 79–99, 2021.
- [69] Philippe Biane. Combinatorics of the Quantum Symmetric Simple Exclusion Process, associahedra and free cumulants. Annales de l'Institut Henri Poincaré (D) Combinatorics, Physics and their Interactions, 2022.
- [70] Philippe Biane and Matthieu Josuat-Vergès. Noncrossing partitions, Bruhat order and the cluster complex. Annales de l'Institut Fourier, 69(5) :2241–2289, 2019.

- [71] Somia Bibi, Chafiq Titouna, Faiza Titouna, and Farid Naït-Abdesselam. An LSTM-Based Outlier Detection Approach for IoT Sensor Data in Hierarchical Edge Computing. In 2023 International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), pages 1–6, Split, Croatia, September 2023. IEEE.
- [72] Pierre Bizeul and Jamal Najim. Positive solutions for large random linear systems. Proceedings of the American Mathematical Society, page 1, 2021.
- [73] Nicolas Bonichon, Éric Fusy, and Benjamin Lévêque. A bijection for essentially 3-connected toroidal maps. European Journal of Combinatorics, 95 :103290, June 2021.
- [74] Nicolas Borie and Justine Falque. Product-Coproduct Prographs and Triangulations of the Sphere. In FPSAC 2022, Bangalore, India, July 2022.
- [75] Arup Bose and Walid Hachem. Smallest singular value and limit eigenvalue distribution of a class of non-Hermitian random matrices with statistical application. Journal of Multivariate Analysis, July 2020. 43 pages, 6 figures.
- [76] Arup Bose and Walid Hachem. Spectral measures of empirical autocovariance matrices of high dimensional Gaussian stationary processes. Random Matrices : Theory and Applications, 12(02), 2023.
- [77] Alin Bostan, Arnaud Carayol, Florent Koechlin, and Cyril Nicaud. Weakly-unambiguous Parikh automata and their link to holonomic series. In ICALP 2020 - 47<sup>th</sup> International Colloquium on Automata, Languages and Programming, pages 114.1–114.16, Saarbrücken, Germany, July 2020.
- [78] Henda Boudegga, Yaroub Elloumi, Mohamed Akil, Mohamed Hedi Bedoui, Rostom Kachouri, and Asma Ben Abdallah. Fast and efficient retinal blood vessel segmentation method based on deep learning network. Computerized Medical Imaging and Graphics, 90 :101902, 2021.
- [79] Henda Boudegga, Yaroub Elloumi, Rostom Kachouri, Asma Ben Abdallah, and Mohamed Hedi Bedoui. Extended U-net for retinal vessel segmentation. In ICCCI 2022, Hammamet,, Tunisia, September 2022.
- [80] Olivier Bouillot, Jean-Christophe Novelli, and Jean-Yves Thibon. A two-parameter deformation of the quasi-shuffle and new bases of quasi-symmetric functions. 14 pages, January 2024.
- [81] Alexandre Boulch, Corentin Sautier, Björn Michele, Gilles Puy, and Renaud Marlet. ALSO : Automotive Lidar Self-supervision by Occupancy estimation. In IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2023), Vancouver, Canada, June 2023. CVPR 2023.
- [82] Badre Bousalem, Mohamed Anis Sakka, Vinicius Silva, Wael Jaafar, Asma Ben Letaifa, and Rami Langar. DDoS Attacks Mitigation in 5G-V2X Networks : A Reinforcement Learning-Based Approach. In 19<sup>th</sup> International Conference on Network and Service Management (CNSM 2023), 2023 19<sup>th</sup> International Conference on Network and Service Management (CNSM), Niagara Falls, Canada, October 2023. IEEE.
- [83] Badre Bousalem, Vinicius Silva, Rami Langar, and Sylvain Cherrier. DDoS Attacks Detection and Mitigation in 5G and Beyond Networks : A Deep Learning-based Approach. In GLOBECOM 2022 - 2022 IEEE Global Communications Conference, pages 1259–1264, Rio de Janeiro, France, December 2022. IEEE.
- [84] Badre Bousalem, Vinicius F Silva, Abdelwahab Boualouache, Rami Langar, and Sylvain Cherrier. Deep Learning-based Smart Radio Jamming Attacks Detection on 5G V2I/V2N Communications. In 2023 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM 2023), GLOBECOM 2023 - 2023 IEEE Global Communications Conference, pages 7139–7144, Kuala Lumpur, Malaysia, December 2023. IEEE.
- [85] Badre Bousalem, Vinicius F Silva, Rami Langar, and Sylvain Cherrier. Deep Learning-based Approach for DDoS Attacks Detection and Mitigation in 5G and Beyond Mobile Networks. In 8<sup>th</sup> International Conference on Network Softwarization (NetSoft 2022), 2022 IEEE 8<sup>th</sup> International Conference on Network Softwarization (NetSoft), pages 228–230, Milan, Italy, June 2022. IEEE.
- [86] Nicolas Boutry, Gilles Bertrand, and Laurent Najman. Gradient Vector Fields of Discrete Morse Functions and Watershed-cuts. In DGMM 2022 – IAPR Second International Conference on Discrete Geometry and Mathematical Morphology, volume 13493 of Lecture Note in Computer Sciences, pages 1–13, Strasbourg, France, October 2022. Étienne Baudrier and Benoît Naegel and Adrien Krähenbühl and Mohamed Tajine, Springer.

- [87] Nicolas Boutry, Thierry Géraud, and Laurent Najman. A Tutorial on Well-Composedness. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 60(3) :443–478, March 2018.
- [88] Nicolas Boutry, Thierry Géraud, and Laurent Najman. An Equivalence Relation between Morphological Dynamics and Persistent Homology in 1D. working paper or preprint, January 2019.
- [89] Nicolas Boutry, Thierry Géraud, and Laurent Najman. How to Make n-D Plain Maps defined on Discrete Surfaces Alexandrov-Well-Composed in a Self-dual Way. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 61 :849–973, 2019.
- [90] Nicolas Boutry, Thierry Géraud, and Laurent Najman. An Equivalence Relation between Morphological Dynamics and Persistent Homology in n-D. In *Discrete Geometry and Mathematical Morphology (DGMM)*, Uppsala, Sweden, May 2021.
- [91] Nicolas Boutry, Rocio Gonzalez-Diaz, Laurent Najman, and Thierry Géraud. A 4D counter-example showing that DWcness does not imply CWCness in n-D. In *Combinatorial Image Analysis. IWCIA 2020*, volume 12148 of *LNCS*, Novi Sad, Serbia, July 2020.
- [92] Nicolas Boutry, Laurent Najman, and Thierry Géraud. Equivalence between Digital Well-Composedness and Well-Composedness in the Sense of Alexandrov on n-D Cubical Grids. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 62(9) :1285–1333, November 2020.
- [93] Nicolas Boutry, Laurent Najman, and Thierry Géraud. Topological Properties of the First Non-Local Digitally Well-Composed Interpolation on n-D Cubical Grids. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 62(9) :1256–1284, November 2020.
- [94] Nicolas Boutry, Laurent Najman, and Thierry Géraud. Some equivalence relation between persistent homology and morphological dynamics. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 64 :807–824, June 2022.
- [95] Mathilde Bouvel, Philippe Gambette, and Marefatollah Mansouri. Counting phylogenetic networks of level 1 and 2. *Journal of Mathematical Biology*, 81 :1357–1395, October 2020.
- [96] El Hocine Bouzidi, Abdelkader Outtagarts, Rami Langar, and Raouf Boutaba. Deep Q-Network and Traffic Prediction based Routing Optimization in Software Defined Networks. *Journal of Network and Computer Applications (JNCA)*, 192 :103181, October 2021.
- [97] El Hocine Bouzidi, Abdelkader Outtagarts, Rami Langar, and Raouf Boutaba. Dynamic clustering of software defined network switches and controller placement using deep reinforcement learning. *Computer Networks*, 207 :108852, April 2022.
- [98] Jordão Bragantini, Alexandre X Falcão, and Laurent Najman. Rethinking Interactive Image Segmentation : Feature Space Annotation. *Pattern Recognition*, 131 :108882, November 2022.
- [99] Stéphane Breuils, Yukiko Kenmochi, and Akihiro Sugimoto. Visiting bijective digitized reflections and rotations using geometric algebra. In *International Conference on Discrete Geometry and Mathematical Morphology*, volume 12708 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 242–254, Uppsala (virtuel), Sweden, May 2021.
- [100] Stéphane Breuils, Vincent Nozick, and Laurent Fuchs. Garamon : A Geometric Algebra Library Generator. *Advances in Applied Clifford Algebras*, 29(4), September 2019.
- [101] Stéphane Breuils, Vincent Nozick, Akihiro Sugimoto, and Eckhard Hitzer. Quadric Conformal Geometric Algebra of  $\mathbb{R}^{9,6}$ . *Advances in Applied Clifford Algebras*, 28(2) :35, May 2018.
- [102] Karel Brinda, Michael Baym, and Gregory Kucherov. Simplitigs as an efficient and scalable representation of de Bruijn graphs. *Genome Biology*, 22(96), April 2021.
- [103] Karel Brinda, Alanna Callendrello, Kevin C Ma, Derek R Macfadden, Robyn Lee, Themoula Charalampous, Lauren Cowley, Crista B Wadsworth, Yonatan H Grad, Gregory Kucherov, Justin O'Grady, Michael Baym, and William P Hanage. Rapid inference of antibiotic resistance and susceptibility by genomic neighbour typing. *Nature Microbiology*, February 2020.
- [104] Laurent Bulteau, Guillaume Fertin, Anthony Labarre, Romeo Rizzi, and Irena Rusu. Decomposing subcubic graphs into claws, paths or triangles. *Journal of Graph Theory*, July 2021.
- [105] Laurent Bulteau, Philippe Gambette, and Olga Semínck. Reordering a tree according to an order on its leaves. In *CPM 2022*, volume 223 of *LIPICs*, pages 24 :1–24 :15, Prague, Czech Republic, June 2022. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik.
- [106] Laurent Bulteau, Samuele Giraudo, and Stéphane Vialette. Disorders and Permutations. In *32<sup>nd</sup> Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching (CPM 2021)*, Wroclaw, Poland, July 2021.

- [107] Laurent Bulteau, Mark Jones, Rolf Niedermeier, and Till Tantau. An FPT-Algorithm for Longest Common Subsequence Parameterized by the Maximum Number of Deletions. In 33<sup>rd</sup> Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching (CPM 2022), Pragues (CZ), Czech Republic, June 2022.
- [108] Laurent Bulteau, Vincent Jugé, and Stéphane Vialette. On shuffled-square-free words. Theoretical Computer Science, 941 :91–103, 2023.
- [109] Laurent Bulteau and Stéphane Vialette. Recognizing binary shuffle squares is NP-hard. Theoretical Computer Science, 806 :116–132, February 2020.
- [110] Laurent Bulteau and Mathias Weller. Parameterized Algorithms in Bioinformatics : An Overview. Algorithms, 12(12) :256, December 2019.
- [111] Laurent Bulteau, Mathias Weller, and Louxin Zhang. On Turning A Graph Into A Phylogenetic Network. working paper or preprint, April 2023.
- [112] Benjamin Burton, Hsien-Chih Chang, Maarten Löffler, Arnaud de Mesmay, Clément Maria, Saul Schleimer, Eric Sedgwick, and Jonathan Spreer. Hard Diagrams of the Unknot. Experimental Mathematics, pages 1–19, February 2023.
- [113] Didier Caucal. On Cayley graphs of algebraic structures. In 10<sup>th</sup> International Colloquium on Graph Theory and combinatorics (ICGT 2018), Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science, Lyon, France, July 2018. presented at ICGT 2018.
- [114] Didier Caucal. Cayley graphs of basic algebraic structures. Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science, vol. 21 no. 1, ICGT 2018, April 2020.
- [115] Didier Caucal. Cayley graphs of basic algebraic structures. working paper or preprint, March 2020.
- [116] Didier Caucal and Chloé Rispal. Recognizability for automata. In DLT 2018, volume 11088 of LNCS, pages 206–218, Tokyo, Japan, September 2018.
- [117] Didier Caucal and Chloé Rispal. Boolean algebras by length recognizability. In Lecture Notes in Computer Science, volume 11200 of Models, Mindsets, Meta : The What, the How, and the Why Not ?, pages 169–185. Springer, 2019.
- [118] Edward Cayllahua-Cahuina, Jean Cousty, Silvio Jamil F. Guimarães, Yukiko Kenmochi, Guillermo Cámara-Chávez, and Arnaldo de Albuquerque Araújo. Hierarchical segmentation from a non-increasing edge observation attribute. Pattern Recognition Letters, 131 :105–112, March 2020.
- [119] Edward Jorge Yuri Cayllahua Cahuina, Jean Cousty, Yukiko Kenmochi, Arnaldo Albuquerque de Araújo, Guillermo Cámara-Chávez, and Silvio Jamil F. Guimarães. Efficient algorithms for hierarchical graph-based segmentation relying on the Felzenszwalb-Huttenlocher dissimilarity. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence (IJPRAI), 33(11) :1940008, 2019.
- [120] Fatiha Chabi, Franziska Schmidt, and Jean-François Bercher. Analyse et prédiction de séries temporelles multivariées pour la surveillance de la santé d'ouvrages d'art. In GRETSI 2023, XXIX<sup>ème</sup> Colloque Francophone de Traitement du Signal et des Images, Grenoble, France, August 2023.
- [121] Aditya Challa, Sravan Danda, B S Daya Sagar, and Laurent Najman. Watersheds for Semi-Supervised Classification. IEEE Signal Processing Letters, 26(5) :720–724, May 2019.
- [122] Aditya Challa, Sravan Danda, B S Daya Sagar, and Laurent Najman. Triplet-Watershed for Hyperspectral Image Classification. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 60 :1–14, 2022.
- [123] Aditya S Challa, Sravan Danda, B S S Daya Sagar, and Laurent Najman. Power Spectral Clustering. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 62(9) :1195–1213, November 2020.
- [124] Erin Wolf Chambers, Gregory Chambers, Arnaud de Mesmay, Tim Ophelders, and Regina Rotman. Constructing monotone homotopies and sweepouts. Journal of Differential Geometry, 119(3), November 2021.
- [125] A. Chambon, A. Rachedi, A. Mebarki, and A. Sahli. Method for generating a deployment weighted multigraph of connected objects and method for generating optimized deployment solutions of connected objects thereof. In European Patent – PCT/EP2023/085223, 2023.
- [126] Aurelien Chambon, Abderrezak Rachedi, Abderrahim Sahli, and Ahmed Mebarki. ConSerN : QoS-Aware programmable multitier architecture for dynamic IoT networks. In GLOBECOM 2022 - 2022 IEEE Global Communications Conference, pages 6230–6235, RIO DE JANEIRO, Brazil, December 2022.

- [127] Aurélien Chambon, Abderrezak Rachedi, Abderrahim Sahli, and Ahmed Mebarki. Optimal Visual Coverage for Wireless Camera Sensor Networks using Evacuation Plan. In 2023 IEEE 34<sup>th</sup> Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), Toronto, Canada, September 2023. IEEE.
- [128] Aurélien Chambon, Abderrezak Rachedi, Abderrahim Sahli, and Ahmed Mebarki. When Carbon Footprint Meets Data Transportation in IoT Networks. In 2023 IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom), pages 1–6, Istanbul, Turkey, July 2023. IEEE, IEEE.
- [129] Aurélien Chambon, Abderrahim Sahli, Abderrezak Rachedi, and Ahmed Mebarki. Optimizing IoT Networks Deployment Under Connectivity Constraint For Dynamic Digital Twin. In 2023 IEEE International Conference on Metaverse Computing, Networking and Applications (MetaCom), pages 474–480, Kyoto, Japan, June 2023. IEEE.
- [130] Jean Chartier and Arnaud de Mesmay. Finding Weakly Simple Closed Quasigeodesics on Polyhedral Spheres. Discrete and Computational Geometry, June 2023.
- [131] Cyrille Chenavier, Christophe Cordero, and Samuele Giraud. Quotients of the Magmatic Operad : Lattice Structures and Convergent Rewrite Systems. Experimental Mathematics, 2019.
- [132] Sylvain Cherrier and Yacine Ghamri-Doudane. Fault-Recovery and Coherence in Internet of Things Choreographies. In Securing the Internet of Things, pages 253–272. IGI Global, 2020.
- [133] Sylvain Cherrier and Rami Langar. Semantic network coding for WSN in IoT Applications. In Global Information Infrastructure and Networking Symposium, Tunis, Tunisia, October 2020.
- [134] Philippe Chiberre, Etienne Perot, Amos Sironi, and Vincent Lepetit. Detecting Stable Keypoints from Events through Image Gradient Prediction. In International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop, Online, United States, June 2021.
- [135] Giovanni Chierchia and Benjamin Perret. Ultrametric Fitting by Gradient Descent. In Advances in Neural Information Processing Systems 32, Vancouver, Canada, December 2019.
- [136] Giovanni Chierchia and Benjamin Perret. Ultrametric fitting by gradient descent. Journal of Statistical Mechanics : Theory and Experiment, 2020(12) :124004, December 2020.
- [137] Lenaïc Chizat, Pierre Roussillon, Flavien Léger, François-Xavier Vialard, and Gabriel Peyré. Faster Wasserstein Distance Estimation with the Sinkhorn Divergence. In NeurIPS 2020, volume 33 of Advances in Neural Information Processing Systems, pages 2257–2269, Vancouver, Canada, December 2020.
- [138] Clément Chomicki, Stéphane Breuils, Venceslas Biri, and Vincent Nozick. Intersection of conic sections using geometric algebra. In CGI ENGAGE 2023, volume 14498 of Advances in Computer Graphics, pages 175–187, Shanghai, China, August 2023. Springer.
- [139] Romain Chor, Milad Sefidgaran, and Abdellatif Zaidi. More Communication Does Not Result in Smaller Generalization Error in Federated Learning. In IEEE Symposium on Information Theory (ISIT), Taipei, Taiwan, 2023. Extended version of paper accepted at ISIT 2023.
- [140] Maxime Clenet, Hafedh El Ferchichi, and Jamal Najim. EQUILIBRIUM IN A LARGE LOTKA-VOLTERRA SYSTEM WITH PAIRWISE CORRELATED INTERACTIONS. Stochastic Processes and their Applications, 153 :423–444, November 2022.
- [141] 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. SIAM Journal on Computing, 50(1) :1–31, January 2021. Journal version of ⟨hal-01649756⟩.
- [142] Vincent Cohen-Addad, Éric Colin de Verdière, Dániel Marx, and Arnaud de Mesmay. Almost Tight Lower Bounds for Hard Cutting Problems in Embedded Graphs. Journal of the ACM (JACM), 68(4) :1–26, July 2021. Journal version of ⟨hal-02136928⟩.
- [143] Vincent Cohen-Addad, Chenglin Fan, Euiwoong Lee, and Arnaud de Mesmay. Fitting Metrics and Ultrametrics with Minimum Disagreements. In 2022 IEEE 63<sup>rd</sup> Annual Symposium on Foundations of Computer Science (FOCS), pages 301–311, Denver, United States, October 2022. IEEE.
- [144] Éric Colin de Verdière. Computational topology of graphs on surfaces. In Handbook of Discrete and Computational Geometry, third edition. 2018.

- [145] Éric Colin de Verdière and Thomas Magnard. An FPT Algorithm for the Embeddability of Graphs into Two-Dimensional Simplicial Complexes. In European Symposium on Algorithms, 29<sup>th</sup> Annual European Symposium on Algorithms, Lisbon, Portugal, September 2021.
- [146] Éric Colin de Verdière, Thomas Magnard, and Bojan Mohar. Embedding graphs into two-dimensional simplicial complexes. Computing in Geometry and Topology, 1(1) :1–23, 2022.
- [147] Camille Combe and Samuele Giraudo. Three interacting families of Fuss-Catalan posets. In Formal Power Series and Algebraic Combinatorics, Ramat Gan, Israel, 2020.
- [148] Camille Combe and Samuele Giraudo. Cliff operads : a hierarchy of operads on words. Journal of Algebraic Combinatorics, September 2022.
- [149] Marco Console, Leonid Libkin, and Liat Peterfreund. Querying Incomplete Numerical Data : Between Certain and Possible Answers. In SIGMOD/PODS '23 : International Conference on Management of Data, pages 349–358, Seattle WA, United States, June 2023. ACM.
- [150] Nicholas Cook, Walid Hachem, Jamal Najim, and David Renfrew. Non-Hermitian random matrices with a variance profile (I) : deterministic equivalents and limiting ESDs. Electronic Journal of Probability, 23 :1 – 61, 2018.
- [151] Nicholas Cook, Walid Hachem, Jamal Najim, and David Renfrew. Non-Hermitian random matrices with a variance profile (II) : properties and examples. Journal of Theoretical Probability, 35(4) :2343–2382, December 2022. Soumis pour publication à Journal of Theoretical Probability.
- [152] Christophe Cordero. A Note with Computer Exploration on the Triangle Conjecture. Lecture Notes in Computer Science, 2019.
- [153] 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, 60(4) :479–502, May 2018.
- [154] Jean Cousty, Benjamin Perret, Harold Phelippeau, Stela Carneiro, Pierre Kamlay, and Lilian Buzer. An algebraic framework for out-of-core hierarchical segmentation algorithms. In IAPR International Conference on Discrete Geometry and Mathematical Morphology (DGMM), Uppsala(virtual), Sweden, May 2021.
- [155] Maxime Crochemore, Alice Héliou, Gregory Kucherov, Laurent Mouchard, Solon Pissis, and Yann Ramusat. Absent words in a sliding window with applications. Information and Computation, page 104461, September 2019.
- [156] Maxime Crochemore, Roman Kolpakov, and Gregory Kucherov. Optimal bounds for computing  $\alpha$ -gapped repeats. Information and Computation, 268 :104434, October 2019.
- [157] Maxime Crochemore and Luís M. S. Russo. Cartesian and Lyndon trees. Theoretical Computer Science, 806 :1–9, February 2020. <http://arxiv.org/abs/1712.08749>.
- [158] Sravan Danda, Aditya Challa, B S Daya Sagar, and Laurent Najman. Revisiting the Isoperimetric Graph Partitioning Problem. IEEE Access, 7 :50636 – 50649, 2019.
- [159] Sravan Danda, Aditya Challa, B S Daya Sagar, and Laurent Najman. Some Theoretical Links Between Shortest Path Filters and Minimum Spanning Tree Filters. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 61 :745–762, January 2019.
- [160] Sravan Danda, Aditya Challa, B S Daya Sagar, and Laurent Najman. A Tutorial on Applications of Power Watershed Optimization to Image Processing. The European Physical Journal. Special Topics, 230 :2337–2361, September 2021.
- [161] Francois Darmon, Mathieu Aubry, and Pascal Monasse. Learning to Guide Local Feature Matches. In 2020 International Conference on 3D Vision (3DV), Proceedings of the 2020 International Conference on 3D Vision (3DV), pages 1127–1136, Fukuoka, Japan, November 2020. IEEE.
- [162] Francois Darmon, Benedicte Bascle, Jean-Clement Devaux, Pascal Monasse, and Mathieu Aubry. Deep Multi-View Stereo Gone Wild. In 2021 International Conference on 3D Vision (3DV), pages 484–493, London, United Kingdom, December 2021. IEEE.
- [163] Francois Darmon, Benedicte Bascle, Jean-Clement Devaux, Pascal Monasse, and Mathieu Aubry. Improving neural implicit surfaces geometry with patch warping. In 2022 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2022), 2022 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pages 6250–6259, La Nouvelle Orléans, LA, United States, June 2022. IEEE.

- [164] Claire David, Nadime Francis, and Victor Marsault. Run-Based Semantics for RPQs. In 20<sup>th</sup> International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR'23), pages 178–187, Rhodes, Greece, September 2023. International Joint Conferences on Artificial Intelligence Organization.
- [165] Claire David, Nadime Francis, and Victor Marsault. Distinct Shortest Walk Enumeration for RPQs. 14 pages, March 2024.
- [166] Arnaud de Mesmay, Jessica Purcell, Saul Schleimer, and Eric Sedgwick. On the tree-width of knot diagrams. Journal of Computational Geometry, 10(1) :164–180, 2019.
- [167] Arnaud de Mesmay, Yo'av Rieck, Eric Sedgwick, and Martin Tancer. Embeddability in  $R^3$  is NP-hard. Journal of the ACM (JACM), 67(4) :1–29, August 2020.
- [168] Arnaud de Mesmay, Yoav Rieck, Eric Sedgwick, and Martin Tancer. The unbearable hardness of unknotting. Advances in Mathematics, 381 :107648, April 2021.
- [169] Arnaud de Mesmay, Marcus Schaefer, and Eric Sedgwick. Link crossing number is NP-hard. Journal of Knot Theory and Its Ramifications, 29(06) :2050043, May 2020.
- [170] Joffrey de Oliveira, Christophe Calle, Philippe Calvez, and Olivier Curé. Towards Autonomous Anomaly Management Using Semantic Technologies at the Edge. In 2023 IEEE International Conference on Edge Computing and Communications (EDGE), pages 159–165, Chicago, United States, July 2023. IEEE.
- [171] Varun Deshpande, Hakim Badis, and Laurent George. BTCmap : Mapping Bitcoin Peer-to-Peer Network Topology. In 2018 IFIP/IEEE International Conference on Performance Evaluation and Modeling in Wired and Wireless Networks (PEMWN), pages 1–6, Toulouse, France, September 2018. IEEE.
- [172] Varun Deshpande, Hakim Badis, and Laurent George. Efficient topology control of blockchain peer to peer network based on SDN paradigm. Peer-to-Peer Networking and Applications, October 2021.
- [173] Varun Deshpande, Taniya Das, Hakim Badis, and Laurent George. SEBS : A Secure Element and Blockchain Stratagem for Securing IoT. In 2019 Global Information Infrastructure and Networking Symposium (GIIS), pages 1–7, Paris, France, December 2019. IEEE.
- [174] Varun Deshpande, Laurent George, and Hakim Badis. PulSec : Secure Element based framework for sensors anomaly detection in Industry 4.0. In IFAC Manufacturing Modelling, Management and Control (IFAC MIM), volume 52, pages 1204–1209, Berlin, Germany, August 2019.
- [175] Varun Deshpande, Laurent George, and Hakim Badis. SaFe : A Blockchain and Secure Element Based Framework for Safeguarding Smart Vehicles. In 2019 12<sup>th</sup> IFIP Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC), pages 181–188, Paris, France, September 2019. IEEE.
- [176] Alemayehu Addisu Desta, Hakim Badis, and Laurent George. Demand response scheduling in industrial asynchronous production lines constrained by available power and production rate. Applied Energy, 230 :1414 – 1424, November 2018.
- [177] Alin Deutsch, Nadime Francis, Alastair Green, Keith Hare, Bei Li, Leonid Libkin, Tobias Lindaker, Victor Marsault, Wim Martens, Jan Michels, Filip Murlak, Stefan Plantikow, Petra Selmer, Hannes Voigt, Oskar van Rest, Domagoj Vrgoč, Mingxi Wu, and Fred Zemke. Graph Pattern Matching in GQL and SQL/PGQ. In SIGMOD '22 : International Conference on Management of Data, Philadelphia, United States, June 2022.
- [178] Vincent Divol and Théo Lacombe. Understanding the Topology and the Geometry of the Space of Persistence Diagrams via Optimal Partial Transport. Journal of Applied and Computational Topology, October 2020.
- [179] Xuan Huyen Do, Viet Hai Ha, van Long Tran, and Eric Renault. New execution model for CAPE using multiple threads on multicore clusters. ETRI Journal, 43(5) :825–834, May 2021.
- [180] Francesco Dolce and Dominique Perrin. Eventually dendric shifts. Ergodic Theory and Dynamical Systems, 2020.
- [181] Mourad Dridi, Yasmina Abdeddaim, and Chiara Daini. Work In Progress : A New Task Model for Real-Time DNNs over GPU. In 2023 IEEE 29<sup>th</sup> Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium (RTAS), pages 337–340, San Antonio, United States, May 2023.

- [182] Amanda Duarte, Samuel Albanie, Xavier Giró-I-Nieto, and Gül Varol. Sign Language Video Retrieval with Free-Form Textual Queries. In 2022 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pages 14074–14084, New Orleans, United States, June 2022. IEEE. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2022.
- [183] Nicolas Dufour, David Picard, and Vicky Kalogeiton. SCAM! Transferring humans between images with Semantic Cross Attention Modulation. In Shai Avidan, Gabriel Brostow, Moustapha Cissé, Giovanni Maria Farinella, and Tal Hassner, editors, European Conference on Computer Vision (ECCV 2022), volume 13674, pages 713–729, Tel Aviv, Israel, October 2022. Springer.
- [184] Théo Dumont, Théo Lacombe, and François-Xavier Vialard. On the Existence of Monge Maps for the Gromov-Wasserstein Problem. Foundations of Computational Mathematics, 2024.
- [185] Fabien Durand and Dominique Perrin. Dimension Groups and Dynamical Systems, volume 196 of Cambridge Studies in Advanced Mathematics. Cambridge University Press, January 2022.
- [186] Fabien Durand and Dominique Perrin. Introduction. In Dimension Groups and Dynamical Systems : Substitutions, Bratteli Diagrams and Cantor Systems, Cambridge Studies in Advanced Mathematics; 196, pages 1–6. Cambridge University Press, 2022.
- [187] Bénédicte Duriez, Sabarinadh Chilaka, Jean-François Bercher, Eslande Hercul, and Marie-Noëlle Prioleau. Replication dynamics of individual loci in single living cells reveal changes in the degree of replication stochasticity through S phase. Nucleic Acids Research, 47(10) :5155–5169, June 2019.
- [188] Mireille El Gheche, Giovanni Chierchia, and Pascal Frossard. Stochastic Gradient Descent for Spectral Embedding with Implicit Orthogonality Constraint. In ICASSP 2019 - 2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), pages 3567–3571, Brighton, France, May 2019. IEEE.
- [189] Mireille El Gheche, Giovanni Chierchia, and Pascal Frossard. OrthoNet : Multilayer Network Data Clustering. IEEE Transactions on Signal and Information Processing over Networks, 6 :152–162, 2020.
- [190] Hajar El Hassani, Anne Savard, E. Veronica Belmega, and Rodrigo C. De Lamare. Multi-user downlink NOMA systems aided by an ambient backscatter device : achievable rate region and energy-efficiency maximization. IEEE Transactions on Green Communications and Networking, 7(3) :1135–1148, September 2023.
- [191] Ouafae Elaeraj, Cherkaoui Leghris, and Éric Renault. Performance Evaluation of Some Machine Learning Algorithms for Security Intrusion Detection. In International Conference on Machine Learning for Networking, volume 12629 of Lecture Notes in Computer Science, pages 154–166, Paris, France, November 2020. Springer International Publishing.
- [192] Sourour Elloumi, Amélie Lambert, Bertrand Neveu, and Gilles Trombettoni. Global Solution of Quadratic Problems by Interval Methods and Convex Reformulation. In HUGO 2022 - 15<sup>th</sup> Workshop on Global Optimization, Szeged, Hungary, September 2022.
- [193] Sourour Elloumi, Amélie Lambert, Bertrand Neveu, and Gilles Trombettoni. Global solution of Quadratic Problems by Interval Methods and Convex Relaxations. Journal of Global Optimization, 2024.
- [194] Muluken Regas Eressa, Hakim Badis, Laurent George, and Dorian Grosso. Sparse Variational Gaussian Process with Dynamic Kernel for Electricity Demand Forecasting. In 2022 IEEE 7<sup>th</sup> International Energy Conference (ENERGYCON), pages 1–6, Riga, France, May 2022. IEEE.
- [195] Muluken Regas Eressa, Hakim Badis, and Dorian Grosso. Distribution Based Upper Lower Bound Estimation In Deep Neural Nets. In 2022 21<sup>st</sup> IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA), pages 909–913, Nassau, France, December 2022. IEEE.
- [196] Muluken Regas Eressa, Hakim Badis, Rami Langar, and Dorian Grosso. Random Sparse Approximation for a Fast and Scalable Gaussian Process. In 2022 2<sup>nd</sup> International Seminar on Machine Learning, Optimization, and Data Science (ISMODE), pages 460–465, Jakarta, France, December 2022. IEEE.
- [197] Muluken Regas Eressa, Hakim Badis, Rami Langar, and Dorian Grosso. Stochastic Compositional Kernel Estimation for Gaussian Process Models. In 15<sup>th</sup> International Conference on Machine Learning and Computing, pages 86–91, Zhuhai China, France, February 2023. ACM.

- [198] Pierre Escamilla, Michèle Wigger, and Abdellatif Zaidi. Distributed Hypothesis Testing : Cooperation and Concurrent Detection. IEEE Transactions on Information Theory, 66(12) :7550 – 7564, December 2020.
- [199] Léo Exibard, Emmanuel Filiot, and Ayrat Khalimov. Church Synthesis on Register Automata over Linearly Ordered Data Domains. In STACS 2021, Saarbrücken, Germany, March 2021.
- [200] Léo Exibard, Emmanuel Filiot, and Pierre-Alain Reynier. Synthesis of Data Word Transducers. Logical Methods in Computer Science, March 2021.
- [201] Philippe Fabian, Abderrezak Rachedi, and Cédric Gueguen. Programmable objective function for data transportation in the Internet of Vehicles. Transactions on emerging telecommunications technologies, 31(5), January 2020.
- [202] Philippe Fabian, Abderrezak Rachedi, and Cédric Guéguen. Selection of relays based on the classification of mobility-type and localized network metrics in the Internet of Vehicles. Transactions on emerging telecommunications technologies, 32(4), April 2021.
- [203] Justine Falque, Jean-Christophe Novelli, and Jean-Yves Thibon. Pinnacle sets revisited. Discrete Mathematics, 347(4) :113834, April 2024.
- [204] Wenjie Fang, Éric Fusy, and Philippe Nadeau. Tamari intervals and blossoming trees. 37 pages, December 2023.
- [205] Wenjie Fang, Henri Mühle, and Jean-Christophe Novelli. A Consecutive Lehmer Code for Parabolic Quotients of the Symmetric Group. The Electronic Journal of Combinatorics, 28(3), July 2021.
- [206] Wenjie Fang, Henri Mühle, and Jean-Christophe Novelli. Parabolic Tamari Lattices in Linear Type B. The 34<sup>th</sup> International Conference on Formal Power Series and Algebraic Combinatorics (FPSAC 2022), July 2022. Poster - 41 pages, 9 figures. Comments are very welcome.
- [207] Tristan Fautrel, Laurent George, Frederic Faubertau, and Thierry Grandpierre. An hypervisor approach for mixed critical real-time UAV applications. In 2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), pages 985–991, Kyoto, France, March 2019. IEEE.
- [208] Guillaume Fertin, Samuele Giraudo, Sylvie Hamel, and Stéphane Vialette. Unshuffling Permutations. In TAMC, pages 242–261, Kitakyushu, Japan, April 2019.
- [209] Loïc Foissy, Frédéric Menous, Jean-Christophe Novelli, and Jean-Yves Thibon. Quadri-algebras, preLie algebras, and the Catalan family of Lie idempotents. Algebraic Combinatorics, pages 629–666, 2022. 42 pages.
- [210] Aggeliki Fotopoulou, Eric Laporte, and Takuya Nakamura. Where Do Aspectual Variants of Light Verb Constructions Belong? In Proceedings of the 17<sup>th</sup> Workshop on Multiword Expressions (MWE 2021), pages 2–12, Online, France, August 2021. Association for Computational Linguistics.
- [211] Aggeliki Fotopoulou, Eric Laporte, and Takuya Nakamura. 'L'idée nous est venue d'écrire ça pour Annibale'... Complex support verb constructions with 'idée'. In Simona Messina, Virgilio d'Antonio, Antonio Scocozza, and Giustino De Bueriis, editors, Comunicazione, Linguaggi e Società. Studi in onore di Annibale Elia, pages 237–253. Taurus, April 2022.
- [212] Matthieu Fradelizi, Alfredo Hubard, Mathieu Meyer, Edgardo Roldán-Pensado, and Artem Zvavitch. Equipartitions and Mahler Volumes of Symmetric Convex Bodies. American Journal of Mathematics, 144(5) :1201–1219, October 2022.
- [213] Nadime Francis, Amelie Gheerbrant, Paolo Guagliardo, Leonid Libkin, Victor Marsault, Wim Martens, Filip Murlak, Liat Peterfreund, Alexandra Rogova, and Domagoj Vrgoč. A Researcher's Digest of GQL. In 26<sup>th</sup> International Conference on Database Theory (ICDT 2023), volume 255, Ioannina, Greece, March 2023.
- [214] Nadime Francis, Amélie Gheerbrant, Paolo Guagliardo, Leonid Libkin, Victor Marsault, Wim Martens, Filip Murlak, Liat Peterfreund, Alexandra Rogova, and Domagoj Vrgoč. GPC : A Pattern Calculus for Property Graphs. In Symposium on Principles of Database Systems (PODS), pages 241–250, Seattle WA USA, France, June 2023. ACM.
- [215] Nadime Francis, Alastair Green, Paolo Guagliardo, Leonid Libkin, Tobias Lindacker, Victor Marsault, Stefan Plantikow, Mats Rydberg, Petra Selmer, and Andrés Taylor. Cypher : An Evolving Query Language for Property Graphs. In SIGMOD'18 Proceedings of the 2018 International Conference on Management of Data, page 1433, Houston, United States, June 2018. ACM Press.

- [216] Martin Frith, Laurent Noé, and Gregory Kucherov. Minimally-overlapping words for sequence similarity search. *Bioinformatics*, December 2020.
- [217] Huan Fu, Mingming Gong, Chaohui Wang, Kayhan Batmanghelich, and Dacheng Tao. Deep Ordinal Regression Network for Monocular Depth Estimation. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Salt Lake City, United States, June 2018.
- [218] Huan Fu, Mingming Gong, Chaohui Wang, Kayhan Batmanghelich, Kun Zhang, and Dacheng Tao. Geometry-Consistent Generative Adversarial Networks for One-Sided Unsupervised Domain Mapping. In *CVPR 2019 - IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 2422–2431, Long Beach, CA, United States, June 2019. IEEE.
- [219] Niloufar Fuladi, Alfredo Hubard, and Arnaud de Mesmay. Degenerate Crossing Number and Signed Reversal Distance. In *Graph Drawing and Network Visualization*, volume 14465 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 95–109, Palermo, Italy, September 2023. Springer Nature Switzerland.
- [220] Niloufar Fuladi, Alfredo Hubard, and Arnaud de Mesmay. Short Topological Decompositions of Non-orientable Surfaces. *Discrete and Computational Geometry*, November 2023.
- [221] Éric Fusy and Gregory Kucherov. Count-Min Sketch with Variable Number of Hash Functions : An Experimental Study. In *Proceedings of the 30<sup>th</sup> International Symposium on String Processing and Information Retrieval (SPIRE'23)*, volume 14240 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 218–232, Pisa, Italy, September 2023. Springer Nature Switzerland.
- [222] Éric Fusy and Gregory Kucherov. Phase Transition in Count Approximation by Count-Min Sketch with Conservative Updates. In Marios Mavronicolas, editor, *13<sup>th</sup> International Conference on Algorithms and Complexity (CIAC 2023)*, volume 13898 of *Algorithms and Complexity 13<sup>th</sup> International Conference, CIAC 2023*, Larnaca, Cyprus, June 13–16, 2023, *Proceedings*, pages 232–246, Larnaca, Cyprus, June 2023. Springer International Publishing.
- [223] Éric Fusy, Erkan Narmanli, and Gilles Schaeffer. On the enumeration of plane bipolar posets and transversal structures. *European Journal of Combinatorics*, 116(C) :103870, February 2024.
- [224] Simon Gabay, Rachel Bawden, Philippe Gambette, Jonathan Poinhos, Eleni Kogkitsidou, and Benoît Sagot. Le changement linguistique au XVIIe s. : nouvelles approches scriptométriques. In *CMLF 2022 - 8e Congrès Mondial de Linguistique Française*, volume 138 of *SHS Web of conferences*, pages 02006.1–14, Orléans, France, July 2022. EDP Sciences.
- [225] Amina Gacem, Eric Monacelli, Ting Wang, Olivier Rabreau, and Tarik Al-Ani. Assessment of wheelchair skills based on analysis of driving style. *Cognition, Technology and Work*, February 2020.
- [226] Thomas Gallouët, Roberta Ghezzi, and François-Xavier Vialard. Regularity theory and geometry of unbalanced optimal transport. First version, comments welcome., December 2021.
- [227] Philippe Gambette, Andreas D.M. Gunawan, Anthony Labarre, Stéphane Vialette, and Louxin Zhang. Solving the tree containment problem in linear time for nearly stable phylogenetic networks. *Discrete Applied Mathematics*, 246 :62–79, 2018.
- [228] Anatol Garioud, Nicolas Gonthier, Loic Landrieu, Apolline De Wit, Marion Valette, Marc Poupée, Sébastien Giordano, and Boris Wattrelos. FLAIR : a Country-Scale Land Cover Semantic Segmentation Dataset From Multi-Source Optical Imagery. In *NeurIPS Dataset and Benchmark*, New Orleans, United States, 2023.
- [229] Quentin Garrido, Randall Balestriero, Laurent Najman, and Yann Lecun. RankMe : Assessing the downstream performance of pretrained self-supervised representations by their rank. In *The Fortieth International Conference on Machine Learning*, Honolulu, United States, 2023.
- [230] Quentin Garrido, Yubei Chen, Adrien Bardes, Laurent Najman, and Yann Lecun. On the duality between contrastive and non-contrastive self-supervised learning. In *ICLR 2023 - Eleventh International Conference on Learning Representations*, Kigali, Rwanda, May 2023. ICLR 2023 Outstanding Paper Honorable Mention Award.
- [231] Quentin Garrido, Sebastian Damrich, Alexander Jäger, Dario Cerletti, Manfred Claassen, Laurent Najman, and Fred A Hamprecht. Visualizing hierarchies in scRNA-seq data using a density tree-biased autoencoder. *Bioinformatics*, 38 :i316–i324, July 2022. Ian Lawson Van Toch Memorial Award for Outstanding Student Paper at ISMB 2022.
- [232] Quentin Garrido, Laurent Najman, and Yann Lecun. Self-supervised learning of Split Invariant Equivariant representations. In *The Fortieth International Conference on Machine Learning*, Honolulu, United States, 2023.

- [233] Diane Genest, Élodie Puybureau, Marc Léonard, Jean Cousty, Noémie de Crozé, and Hugues Talbot. High throughput automated detection of axial malformations in Medaka fish embryo. *Computers in Biology and Medicine*, 105 :157–168, February 2019.
- [234] Hugo Germain, Guillaume Bourmaud, and Vincent Lepetit. S2DNet : Learning Image Features for Accurate Sparse-to-Dense Matching. In *European Conference on Computer Vision*, virtual, France, 2020.
- [235] Hugo Germain, Vincent Lepetit, and Guillaume Bourmaud. Neural Reprojection Error : Merging Feature Learning and Camera Pose Estimation. In *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Online, United States, June 2021.
- [236] Hugo Germain, Vincent Lepetit, and Guillaume Bourmaud. Visual Correspondence Hallucination. In *International Conference on Learning Representations*, Virtual conference, France, 2022.
- [237] Elahe Ghasemi, Vincent Jugé, and Ghazal Khalighinejad. Galloping in Fast-Growth Natural Merge Sorts. In *49<sup>th</sup> International Colloquium on Automata, Languages, and Programming (ICALP 2022)*, volume 229, pages 68 :1–68 :19, Paris, France, July 2022. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik.
- [238] Samuele Giraudo. Colored operads, series on colored operads, and combinatorial generating systems. *Discrete Mathematics*, 2019.
- [239] Samuele Giraudo. Tree series and pattern avoidance in syntax trees. *Journal of Combinatorial Theory, Series A*, 2020.
- [240] Samuele Giraudo. Duality of graded graphs through operads. *Annals of Combinatorics*, 2021.
- [241] Samuele Giraudo. Operads of decorated cliques I : construction and quotients. *Séminaire Lotharigien de Combinatoire*, 2021.
- [242] Samuele Giraudo. Mockingbird lattices. In *Formal Power Series and Algebraic Combinatorics*, Bangalore, France, 2022.
- [243] Samuele Giraudo and Stéphane Vialette. Algorithmic and algebraic aspects of unshuffling permutations. *Theoretical Computer Science*, 729 :20 – 41, June 2018.
- [244] Xavier Goaoc, Pavel Paták, Zuzana Patáková, Martin Tancer, and Uli Wagner. Shellability is NP-complete. In Bettina Speckmann and Csaba D. Tóth, editors, *International Symposium on Computational Geometry*, 34<sup>th</sup> International Symposium on Computational Geometry (SoCG 2018), Budapest, Hungary, 2018. Schloss Dagstuhl–Leibniz-Zentrum fuer Informatik.
- [245] Joel Goossens and Damien Masson. Simulation intervals for uniprocessor real-time schedulers with preemption delay. In *The 30<sup>th</sup> International Conference on Real-Time Networks and Systems (RTNS) 2022*, pages 36–45, Paris, France, June 2022. ACM.
- [246] Alastair Green, Paolo Guagliardo, Leonid Libkin, Tobias Lindaker, Victor Marsault, Stefan Plantikow, Martin Schuster, Petra Selmer, and Hannes Voigt. Updating graph databases with Cypher. In *45<sup>th</sup> International Conference on Very Large Data Bases (VLDB)*, volume 12, pages 2242–2254, Los Angeles, United States, August 2019.
- [247] Hastings Greer, Roland Kwitt, François-Xavier Vialard, and Marc Niethammer. ICON : Learning Regular Maps Through Inverse Consistency. In *IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, pages 3376–3385, Online, United States, October 2021. IEEE.
- [248] Hastings Greer, Lin Tian, François-Xavier Vialard, Roland Kwitt, Sylvain Bouix, Raul San Jose Estepar, Richard Rushmore, and Marc Niethammer. Inverse Consistency by Construction for Multistep Deep Registration. In *MICCAI*, Vancouver, Canada, 2023. arXiv.
- [249] Eloïse Grossiord, Benoît Naegel, Hugues Talbot, Laurent Najman, and Nicolas Passat. Shape-based analysis on component-graphs for multivalued image processing. *Mathematical Morphology - Theory and Applications*, 3(1) :45–70, 2019.
- [250] Eloïse Grossiord, Nicolas Passat, Hugues Talbot, Benoît Naegel, Salim Kanoun, Ilan Tal, Pierre Tervé, Soléakhéna Ken, Olivier Casanovas, Michel Meignan, and Laurent Najman. Shaping for PET image analysis. *Pattern Recognition Letters*, 131 :307–313, 2020.
- [251] Antoine Guédon, Pascal Monasse, and Vincent Lepetit. SCONE : Surface Coverage Optimization in Unknown Environments by Volumetric Integration. In *NeurIPS*, online, France, 2022.

- [252] Antoine Guédon, Tom Monnier, Pascal Monasse, and Vincent Lepetit. MACARONS : Mapping And Coverage Anticipation with RGB Online Self-Supervision. In International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Vancouver, Canada, 2023.
- [253] Li Guo, Jean-Yves Thibon, and Houyi Yu. The Hopf algebras of signed permutations, of weak quasi-symmetric functions and of Malvenuto-Reutenauer. Advances in Mathematics, 374 :107341.1–34, November 2020.
- [254] Pooja Gupta, Jyoti Maggu, Angshul Majumdar, Emilie Chouzenoux, and Giovanni Chierchia. DeConFuse : a deep convolutional transform-based unsupervised fusion framework. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 26, 2020.
- [255] Pooja Gupta, Jyoti Maggu, Angshul Majumdar, Emilie Chouzenoux, and Giovanni Chierchia. ConFuse : Convolutional Transform Learning Fusion Framework For Multi-Channel Data Analysis. In EUSIPCO 2020 - 28<sup>th</sup> European Signal Processing Conference, Proceedings of the 28<sup>th</sup> European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2020), Amsterdam / Virtual, Netherlands, January 2021.
- [256] Pooja Gupta, Angshul Majumdar, Emilie Chouzenoux, and Giovanni Chierchia. SuperDeConFuse : A Supervised Deep Convolutional Transform based Fusion Framework for Financial Trading Systems. Expert Systems with Applications, 2020.
- [257] Pooja Gupta, Angshul Majumdar, Emilie Chouzenoux, and Giovanni Chierchia. DeConDFuse : Predicting drug-drug interaction using joint deep convolutional transform learning and decision forest fusion framework. Expert Systems with Applications, page 22, 2023.
- [258] Walid Hachem. Approximate Message Passing for sparse matrices with application to the equilibria of large ecological Lotka-Volterra systems. Stochastic Processes and their Applications, 2024.
- [259] Walid Hachem, Adrien Hardy, and Shlomo Shamai. Mutual Information of Wireless Channels and Block-Jacobi Ergodic Operators. IEEE Transactions on Information Theory, 65(11), November 2019.
- [260] Khaled Hamouid and Mohamed Mohammedi. Dynamic and Flexible Access Control for IoT-Enabled Smart Healthcare. In 2023 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC), pages 1–6, Doha, Qatar, October 2023. IEEE.
- [261] Khaled Hamouid, Mawloud Omar, and Kamel Adi. A Privacy-Preserving Authentication Model Based on Anonymous Certificates in IoT. In 2021 Wireless Days (WD), pages 1–6, Paris, France, June 2021. IEEE.
- [262] Shreyas Hampali, Sinisa Stekovic, Sayan Deb Sarkar, Chetan S Kumar, Friedrich Fraundorfer, and Vincent Lepetit. Monte Carlo Scene Search for 3D Scene Understanding. In Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Online, United States, June 2021.
- [263] Jaeho Han, Changhoe Hwang, Seongyong Choi, Gwanghoon Yoo, Eric Laporte, and Jeeseun Nam. DECOMWE : Building a Linguistic Resource of Korean Multiword Expressions for Feature-Based Sentiment Analysis. In Kiyooki Shirai, editor, 13<sup>th</sup> Workshop on Asian Language Resources, The 13<sup>th</sup> Workshop on Asian Language Resources, pages 14–20, Miyazaki, Japan, May 2018. Kiyooki Shirai.
- [264] Saloua Hendaoui and Nawel Zangar. Leveraging SDN slicing isolation for improved adaptive satellite-5G downlink scheduler. In International Symposium on Networks, Computers and Communications, DUBAI, United Arab Emirates, October 2021.
- [265] Saloua Hendaoui and Nawel Zangar. Leveraging Unsupervised Machine Learning for New Traffic Types Classification in Hybrid Satellite Terrestrial Network. In IEEE ISNCC'23, Doha, Qatar, October 2023.
- [266] Yasuaki Hiraoka, Yusuke Imoto, Théo Lacombe, Killian Meehan, and Toshiaki Yachimura. Topological Node2vec : Enhanced Graph Embedding via Persistent Homology. Journal of Machine Learning Research, 2024. For associated repository, see [https://github.com/killianmeehan/topological\\_node2vec](https://github.com/killianmeehan/topological_node2vec).
- [267] Alfredo Hubbard and Andrew Suk. Disjoint Faces in Drawings of the Complete Graph and Topological Heilbronn Problems. In Symposium of Computational Geometry, Dallas (TX), United States, June 2023. Schloss Dagstuhl – Leibniz-Zentrum für Informatik.
- [268] Issam Jabri, Tesnim Mekki, Abderrezak Rachedi, and Maher Ben Jemaa. Vehicular fog gateways selection on the internet of vehicles : A fuzzy logic with ant colony optimization based approach. Ad Hoc Networks, 91 :101879, August 2019.

- [269] Clara Jaquet, Laurent Najman, Hugues Talbot, Leo Grady, Michiel Schaap, Buzzy Spain, Hyun Jin Kim, Irene Vignon-Clementel, and Charles A. Taylor. Generation of patient-specific cardiac vascular networks : a hybrid image-based and synthetic geometric model. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 66(4) :946–955, April 2019. Featured article on the cover of the April issue of TBME - <https://www.embs.org/tbme/articles/generation-of-patient-specific-cardiac-vascular-networks-a-hybrid-image-based-and-synthetic-geometric-model/>.
- [270] Matthieu Josuat-Vergès. A q-analog of Schläfli and Gould identities on Stirling numbers. *Ramanujan Journal*, (46) :483–507, 2018.
- [271] Matthieu Josuat-Vergès.  $\Delta$ -cumulants in terms of moments. *Infinite Dimensional Analysis, Quantum Probability and Related Topics*, 21(2) :Article ID 1850012, 2018.
- [272] Matthieu Josuat-Vergès and C.Y. Amy Pang. Subalgebras of Solomon's descent algebra based on alternating runs. *Journal of Combinatorial Theory, Series A*, 158 :36–65, 2018.
- [273] Vincent Jugé. Adaptive Shivers Sort : An Alternative Sorting Algorithm. In *Fourteenth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, pages 1639–1654, Salt Lake City, United States, January 2020. Society for Industrial and Applied Mathematics.
- [274] Rostom Kachouri, Mohamed Akil, and Yaroub Elloumi. Retinal image processing in Biometrics. In Amine Nait-Ali, editor, *Hidden Biometrics – When Biometric Security Meets Biomedical Engineering*, number 1. October 2019.
- [275] Abdellah Kaci and Abderrezak Rachedi. PoolCoin : Toward a distributed trust model for miners' reputation management in blockchain. In *2020 IEEE 17<sup>th</sup> Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, pages 1–6, Las Vegas, United States, January 2020. IEEE.
- [276] Abdellah Kaci and Abderrezak Rachedi. Toward a Machine Learning and Software Defined Network Approaches to Manage Miners' Reputation in Blockchain. *Journal of Network and Systems Management*, 28(3) :478–501, July 2020.
- [277] Abdellah Kaci and Abderrezak Rachedi. A novel blockchain for social internet of vehicles in the Era of 5G and Beyond. In *ICC 2022 - IEEE International Conference on Communications*, pages 5232–5237, Seoul, France, May 2022. IEEE.
- [278] Abdellah Kaci and Abderrezak Rachedi. RoofCoin : a blockchain for internet of vehicles based on the ROOF standard and VSN. In *2022 IEEE 19<sup>th</sup> Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*, pages 725–726, Las Vegas, United States, January 2022. IEEE.
- [279] Ryad Kaoua, Xi Shen, Alexandra Durr, Stavros Lazaris, David Picard, and Matthieu Aubry. Image Collation : Matching illustrations in manuscripts. In *International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR)*, Lausanne, Switzerland, September 2021.
- [280] Jarkko Kari, Andrew Ryzhikov, and Anton Varonka. Words of Minimum Rank in Deterministic Finite Automata. In *DLT 2019*, volume 11647 of *LNCS*, pages 74–87, Warsaw, Poland, August 2019.
- [281] Marek Karpinski, Narayanan Narayanan N Narayanan, Johan Thapper, Abdelhakim El Maftouhi, Laurent Rosaz, Jean-Alexandre Anglès d'Auriac, Csilla Bujtás, Yannis Manoussakis, Leandro Montero, and Tuza Zsolt. Tropical dominating sets in vertex-coloured graphs. *Journal of Discrete Algorithms*, January 2018.
- [282] Bertrand Kerautret, Phuc Ngo, Nicolas Passat, Hugues Talbot, and Clara Jaquet. OpenCCO : An Implementation of Constrained Constructive Optimization for Generating 2D and 3D Vascular Trees. *Image Processing On Line*, 13 :258–279, 2023.
- [283] Svetla Koeva, Cvetana Krstev, Duško Vitas, Tita Kyriacopoulou, Claude Martineau, and Tsvetana Dimitrova. Semantic and syntactic patterns of multiword names : A cross-language study. In *Multiword expressions : Insights from a multi-lingual perspective*, *Phraseology and Multiword Expressions*, pages 31–62. Language Science Press, May 2018.
- [284] Eleni Kogkitsidou and Philippe Gambette. Normalisation of 16<sup>th</sup> and 17<sup>th</sup> century texts in French and geographical named entity recognition. In *ACM SIGSPATIAL GeoHumanities'20*, *Proceedings of the 4<sup>th</sup> ACM SIGSPATIAL Workshop on Geospatial Humanities*, pages 28–34, Seattle (virtual), United States, November 2020. ACM.
- [285] Gregory Kucherov. Evolution of biosequence search algorithms : a brief survey. *Bioinformatics*, 35(19) :3547–3552, October 2019.

- [286] Gregory Kucherov and Steven Skiena. Improving the Sensitivity of MinHash Through Hash-Value Analysis. In 34<sup>th</sup> Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching (CPM 2023), volume 259, pages 20 :1–20 :12, Champs sur Marne - Marne la Vallée, France, June 2023. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik.
- [287] Revekka Kyriakoglou. Iterated morphisms, combinatorics on words and symbolic dynamical systems. Theses, Université Paris-Est, October 2019.
- [288] Raphael Lapertot, Giovanni Chierchia, and Benjamin Perret. Supervised Learning of Hierarchical Image Segmentation. In 26<sup>th</sup> Iberoamerican Congress on Pattern Recognition (CIARP), volume 1 of Lecture Notes in Computer Science, pages 201–213, Coimbra (Portugal), Portugal, November 2023. Instituto Superior de Educação e Ciências (ISEC), Springer Nature Switzerland.
- [289] Eric Laporte. Hybrid Language Processing in the Deep Learning Era. In International Conference on Natural Language and Speech Processing, Trento, Italy, December 2022.
- [290] Quentin Lebon, Josselin Lefèvre, Jean Cousty, and Benjamin Perret. Interactive Segmentation With Incremental Watershed Cuts. In Iberoamerican Congress on Pattern Recognition (CIARP), volume 14469 of Lecture Notes in Computer Science, pages 189–200, Coimbra, Portugal, November 2023. Inês Domingues and Verónica Vasconcelos, Springer Nature Switzerland.
- [291] Josselin Lefèvre, Jean Cousty, Benjamin Perret, and Harold Phelippeau. Join, Select, and Insert : Efficient Out-of-core Algorithms for Hierarchical Segmentation Trees. In IAPR International Conference on Discrete Geometry and Mathematical Morphology (DGMM), volume 13493 of Lecture Notes in Computer Science, pages 274–286, Strasbourg, France, October 2022. Springer International Publishing.
- [292] Flavien Léger and François-Xavier Vialard. A geometric Laplace method. Pure and Applied Analysis, 5(4) :1041–1080, December 2023.
- [293] Sylvain Lempereur, Arnim Jenett, Elodie Machado, Ignacio Arganda-Carreras, Matthieu Simion, Pierre Affaticati, Jean-Stéphane Joly, and Hugues Talbot. Automated segmentation of thick confocal microscopy 3D images for the measurement of white matter volumes in zebrafish brains. Mathematical Morphology - Theory and Applications, 4(1) :31–45, July 2020.
- [294] Sylvain Lempereur, Elodie Machado, Fabrice Licata, Matthieu Simion, Lilian Buzer, Isabelle Robineau, Julien Hémon, Payel Banerjee, Noémie de Crozé, Marc Léonard, Pierre Affaticati, Hugues Talbot, and Jean-Stéphane Joly. ZeBrainInspector, a platform for the automated segmentation and analysis of body and brain volumes in whole 5 days post-fertilization zebrafish following simultaneous visualization with identical orientations. Developmental Biology, 490 :86–99, October 2022.
- [295] Jacob Leygonie, Mathieu Carrière, Théo Lacombe, and Steve Oudot. A Gradient Sampling Algorithm for Stratified Maps with Applications to Topological Data Analysis. Mathematical Programming, 202 :199–239, 2023.
- [296] Leonid Libkin and Liat Peterfreund. SQL Nulls and Two-Valued Logic. In SIGMOD/PODS '23 : International Conference on Management of Data, pages 11–20, Seattle WA, United States, June 2023. ACM.
- [297] Romain Loiseau, Baptiste Bouvier, Yann Teytaut, Elliot Vincent, Mathieu Aubry, and Loïc Landrieu. A Model You Can Hear : Audio Identification with Playable Prototypes. In ISMIR 2022 - 23<sup>rd</sup> International Society for Music Information Retrieval Conference, Bengaluru, India, December 2022.
- [298] Romain Loiseau, Tom Monnier, Mathieu Aubry, and Loïc Landrieu. Representing Shape Collections with Alignment-Aware Linear Models. In International Conference on 3D Vision 2021 (3DV 2021), Londres (On-line), United Kingdom, December 2021. Accepted to 3DV 2021. 17 pages, 10 figures. Code and data are available at : <https://romainloiseau.github.io/deep-linear-shapes>.
- [299] Romain Loiseau, Elliot Vincent, Mathieu Aubry, and Loïc Landrieu. Learnable Earth Parser : Discovering 3D Prototypes in Aerial Scans. In CVPR, Seattle (USA), United States, 2024.
- [300] Philippe Loubaton and Xavier Mestre. On the asymptotic behavior of the eigenvalue distribution of block correlation matrices of high-dimensional time series. Random Matrices : Theory and Applications, 11(31) :2250024, July 2022.
- [301] Philippe Loubaton and Alexis Rosuel. Properties of linear spectral statistics of frequency-smoothed estimated spectral coherence matrix of high-dimensional Gaussian time series. Electronic Journal of Statistics, 15(2) :5380–5454, October 2021.

- [302] Philippe Loubaton, Alexis Rosuel, and Pascal Vallet. On the asymptotic distribution of the maximum sample spectral coherence of Gaussian time series in the high dimensional regime. *Journal of Multivariate Analysis*, 194 :105124, March 2023.
- [303] Philippe Loubaton and Daria Tieplova. On the behaviour of large empirical autocovariance matrices between the past and the future. *Random Matrices : Theory and Applications*, vol. 10(no. 2), April 2021.
- [304] Corentin Lunel and Arnaud de Mesmay. A Structural Approach to Tree Decompositions of Knots and Spatial Graphs. In *International Symposium on Computational Geometry (SoCG)*, Dallas, United States, June 2023. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik.
- [305] Dereje M. Molla, Hakim Badis, Laurent George, and Marion Berbineau. Software Defined Radio Platforms for Wireless Technologies. *IEEE Access*, pages pp1–27, January 2022.
- [306] Jyoti Maggu, Angshul Majumdar, Emilie Chouzenoux, and Giovanni Chierchia. Deep Convolutional Transform Learning. In *ICONIP 2020 - 27<sup>th</sup> International Conference on Neural Information Processing*, Bangkok, Thailand, November 2020.
- [307] Jyoti Maggu, Angshul Majumdar, Emilie Chouzenoux, and Giovanni Chierchia. Deeply Transformed Subspace Clustering. *Signal Processing*, 174 :107628, September 2020.
- [308] Sharmin Majumder, Yaroub Elloumi, Mohamed Akil, Rostom Kachouri, and Nasser Kehtarnavaz. A deep learning-based smartphone app for real-time detection of five stages of diabetic retinopathy. In *Real-Time Image Processing and Deep Learning 2020*, page 5, San Diego, California (Online Only), United States, April 2020. SPIE.
- [309] Nicolas Manzini, Franziska Schmidt, Jean-François Bercher, André Orcesi, Pierre Marchand, and Julien Gazeaux. Approche basée sur l'apprentissage automatique pour la détection d'anomalies lors de la surveillance d'ouvrages. In *Association Universitaire de Génie Civil AUGC, editor, 8<sup>ème</sup> congrès international francophone Diagnobéton 2023*, volume 41, pages 169–177, Nantes, France, October 2023. Université Gustave Eiffel and Institut de recherche en Génie civil et Mécanique - GEM and Confédération Française pour les Essais Non Destructifs - COFREND.
- [310] Hermina Petric Maretic, Mireille El Gheche, Giovanni Chierchia, and Pascal Frossard. GOT : An Optimal Transport framework for Graph comparison. In *Advances in Neural Information Processing Systems 32*, Vancouver, Canada, December 2019.
- [311] Hermina Petric Maretic, Mireille El Gheche, Giovanni Chierchia, and Pascal Frossard. fGOT : Graph Distances Based on Filters and Optimal Transport. In *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, volume 36, pages 7710–7718, Vancouver, Canada, February 2022.
- [312] Hermina Petric Maretic, Mireille El Gheche, Matthias Minder, Giovanni Chierchia, and Pascal Frossard. Wasserstein-Based Graph Alignment. *IEEE Transactions on Signal and Information Processing over Networks*, 8 :353–363, 2022.
- [313] Conrado Martínez, Cyril Nicaud, and Pablo Rotondo. A Probabilistic Model Revealing Shortcomings in Lua's Hybrid Tables. In *The 28<sup>th</sup> International Computing and Combinatorics Conference*, volume 13595, pages 381–393, Shenzhen, China, 2022.
- [314] Karima Massmi, Khaled Hamouid, and Kamel Adi. Secure Electric Vehicle Dynamic Charging Based on Smart Contracts. In *2023 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC)*, pages 1–6, Doha, Qatar, October 2023. IEEE.
- [315] Salma Matoussi, Ilhem Fajjari, Nadjib Ait Saadi, and Rami Langar. Deep Learning Based User Slice Allocation in 5G Radio Access Networks. In *IEEE Conference on Local Computer Networks (IEEE LCN)*, Sydney, Australia, November 2020.
- [316] Salma Matoussi, Ilhem Fajjari, Nadjib Aitsaadi, and Rami Langar. User-Centric Slice Allocation Scheme in 5G Networks and Beyond. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 20(4) :4268–4282, 2023.
- [317] Salma Matoussi, Ilhem Fajjari, Salvatore Costanzo, Nadjib Aitsaadi, and Rami Langar. 5G RAN : Functional Split Orchestration Optimization. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38(7) :1448–1463, 2020.

- [318] Dereje Mechal Molla, Hakim Badis, Marion Berbineau, Laurent George, Ali Sabra, Hayfa Ben Thameur, Iyad Dayoub, Mohammad Kalaagi, D. Seetharamdoo, and Hakim Takhedmit. New generation of adaptable Wireless sensor Network for way side objeCTs in rAilway enviRonments (NEWNECTAR), a laboratory demonstrator for optimized data collection process in rail. In 13h World Congress on Railway Research 2022, Birmingham, United Kingdom, June 2022.
- [319] Dereje Mechal Molla, Hakim Badis, Laurent George, and Marion Berbineau. Coverage Extension of Software Defined Radio Platforms for 3GPP 4G/5G Radio Access Networks. In WMNC 2021, 13<sup>th</sup> IFIP Wireless and Mobile Networking Conference, pages pp55–62, Montreal, QC, Canada, October 2021. Institute of Electrical and Electronics Engineers - IEEE. WMNC 2021, 13<sup>th</sup> IFIP Wireless and Mobile Networking Conference, Montreal, QC, CANADA, 20-/10/2021 - 22/10/2021.
- [320] Dereje Mechal Molla, Ali Sabra, Hakim Badis, and Marion Berbineau. Performance evaluation of data collection and forwarding in NEWNECTAR architecture based on a reconfigurable wireless transceiver. In 4<sup>th</sup> SmartRaCon workshop, San Sebastian, Spain, October 2022.
- [321] Tesnim Mekki, Issam Jabri, Abderrezak Rachedi, and Maher Ben Jemaa. Vehicular Cloud Networking : Evolutionary Game with Reinforcement Learning based Access Approach. International Journal of Bio-Inspired Computation, 13(1), January 2019.
- [322] Tesnim Mekki, Issam Jabri, Abderrezak Rachedi, and Maher Benjemaa. Vehicular cloud networks : Challenges, architectures, and future directions. Vehicular Communications, 9 :268–280, September 2017.
- [323] Tesnim Mekki, Issam Jabri, Abderrezak Rachedi, and Maher Benjemaa. Towards Multi-Access Edge based Vehicular Fog Computing Architecture. In IEEE Global Communications Conference (Globecom), Abu-Dhabi, United Arab Emirates, December 2018.
- [324] Tesnim Mekki, Rihab Jmal, Lamia Chaari, Issam Jabri, and Abderrezak Rachedi. Vehicular Fog Resource Allocation Scheme : A Multi-Objective Optimization based Approach. In 2020 IEEE 17<sup>th</sup> Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), pages 1–6, Las Vegas, United States, January 2020. IEEE.
- [325] Frédéric Menous, Jean-Christophe Novelli, and Jean-Yves Thibon. Tree expansions of some Lie idempotents. 27 pages, January 2024.
- [326] Odysée 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.
- [327] Kaddour Messaoudi, Omar Sami Oubbati, Abderrezak Rachedi, and Tahar Bendouma. UAV-UGV-Based System for Aol minimization in IoT Networks. In ICC 2023 - IEEE International Conference on Communications, pages 4743–4748, Rome, Italy, May 2023. IEEE.
- [328] Nicolas Michel, Giovanni Chierchia, Romain Negrel, and Jean-François Bercher. Learning Representations on the Unit Sphere : Investigating Angular Gaussian and von Mises-Fisher Distributions for Online Continual Learning. In The 38<sup>th</sup> Annual AAAI Conference on Artificial Intelligence, Vancouver, Canada, February 2024. arXiv.
- [329] Nicolas Michel, Romain Negrel, Giovanni Chierchia, and Jean-François Bercher. Contrastive Learning for Online Semi-Supervised General Continual Learning. In 2022 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), pages 1896–1900, Bordeaux, France, October 2022. IEEE.
- [330] Nicolas Michel, Romain Negrel, Giovanni Chierchia, and Jean-François Bercher. Domain-Aware Augmentations for Unsupervised Online General Continual Learning. In The 34<sup>th</sup> British Machine Vision Conference, Aberdeen, United Kingdom, November 2023.
- [331] Ruben Milocco, Pascale Minet, Eric Renault, and Selma Boumerdassi. Evaluating the upper bound of energy cost saving by proactive data center management. IEEE Transactions on Network and Service Management, 17(3) :1527 – 1541, September 2020.
- [332] Ruben Milocco, Pascale Minet, Eric Renault, and Selma Boumerdassi. Proactive Data Center Management Using Predictive Approaches. IEEE Access, 8 :161776–161786, 2020.
- [333] Ruben H Milocco, Pascale Minet, Eric Renault, and Selma Boumerdassi. An Evaluation Method of Optimal Cost Saving in a Data Center with Proactive Management. In Management of Data Center Networks, number 1. Wiley, May 2021.

- [334] Matei Moldoveanu and Abdellatif Zaidi. In-Network Learning : Distributed Training and Inference in Networks. *Entropy*, 25(6) :920, June 2023.
- [335] Dereje Mechal Molla, Hakim Badis, Alemayehu Addisu Desta, Laurent George, and Marion Berbineau. SDR-Based Reliable and Resilient Wireless Network for Disaster Rescue Operations. In *2019 International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM)*, pages 1–7, Paris, France, December 2019. IEEE.
- [336] Dereje Mechal Molla, Hakim Badis, Laurent George, and Marion Berbineau. NEWNECTAR : A New gEneration of Adaptable Wireless Sensor NETwork for Way Side objeCTs in rAILway enviRONments. In *International Workshop on Communication Technologies for Vehicles (Nets4Workshop)*, volume 12574 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 166–178, Bordeaux, France, November 2020. Springer International Publishing.
- [337] Liliane Momeni, Hannah Bull, K R Prajwal, Samuel Albanie, Gül Varol, and Andrew Zisserman. Automatic Dense Annotation of Large-Vocabulary Sign Language Videos. In *European Conference on Computer Vision (ECCV) 2022*, volume 13695 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 671–690, Tel Aviv, Israel, October 2022. Springer Nature Switzerland. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2022*.
- [338] Tom Monnier, Jake Austin, Angjoo Kanazawa, Alexei A. Efros, and Mathieu Aubry. Differentiable Blocks World : Qualitative 3D Decomposition by Rendering Primitives. In *Thirty-seventh Conference on Neural Information Processing Systems*, New Orleans (Louisiana), United States, December 2023. Project webpage with code and videos : <https://www.tmonnier.com/DBW>. V2 update includes comparisons based on NeuS, hyperparameter analysis and failure cases.
- [339] Tom Monnier, Matthew Fisher, Alexei A. Efros, and Mathieu Aubry. Share With Thy Neighbors : Single-View Reconstruction by Cross-Instance Consistency. In *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)*, volume 13694 of *Lecture Notes in Computer Science*, page 26 p, Tel-Aviv, Israel, October 2022. Project webpage with code and videos : <https://imagine.enpc.fr/monnieri/UNICORN/>.
- [340] Tom Monnier, Thibault Groueix, and Mathieu Aubry. Deep Transformation-Invariant Clustering. In *Advances in Neural Information Processing Systems 33 (2020)*, Vancouver, Canada, December 2020. Project webpage : <http://imagine.enpc.fr/monnieri/DTIClustering/>.
- [341] Tom Monnier, Elliot Vincent, Jean Ponce, and Mathieu Aubry. Un-supervised Layered Image Decomposition into Object Prototypes. In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. 2021*, Montreal, Canada, October 2021.
- [342] Yasmine Mrad, Yaroub Elloumi, Mohamed Hedi Bedoui, and Rostom Kachouri. Retinal vessels grouping in glaucoma : study and synthesis. In *AMINA 2022*, Monastir, Tunisia, November 2022.
- [343] Paul Mühlethaler, Eric Renault, and Selma Boumerdassi. Design and Evaluation of Flooding-Based Location Service in Vehicular Ad Hoc Networks. *Sensors*, 20(8) :2389, April 2020.
- [344] Boris Muzellec, Adrien Vacher, Francis Bach, François-Xavier Vialard, and Alessandro Rudi. Near-optimal estimation of smooth transport maps with kernel sums-of-squares. *SIAM Journal on Mathematics of Data Science*, 2024.
- [345] Amed Mvoulana, Rostom Kachouri, and Mohamed Akil. Fully automated method for glaucoma screening using robust optic nerve head detection and unsupervised segmentation based cup-to-disc ratio computation in retinal fundus images. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 77 :101643, 2019.
- [346] Amed Mvoulana, Rostom Kachouri, and Mohamed Akil. Fine-tuning Convolutional Neural Networks : a comprehensive guide and benchmark analysis for Glaucoma Screening. In *25<sup>th</sup> International Conference in Pattern Recognition*, Milano (on line), Italy, January 2021.
- [347] Mostefa Ben Naceur, Rachida Saouli, Mohamed Akil, and Rostom Kachouri. Fully Automatic Brain Tumor Segmentation using End-to-End Incremental Deep Neural Networks in MRI images. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 166 :39 – 49, November 2018.
- [348] Takuya Nakamura. Dire le haut degré sans le dire en japonais et en français : exclamatives en "à quel point" et en "donnani". *Langages*, N°220(4) :87, 2020.
- [349] Phuc Ngo, Yukiko Kenmochi, Nicolas Passat, and Isabelle Debled-Rennesson. Discrete regular polygons for digital shape rigid motion via polygonization. In *International Workshop on Reproducible Research on Pattern Recognition (RRPR)*, volume 11455 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 55–70, Beijing, China, 2018.

- [350] Phuc Ngo, Nicolas Passat, and Yukiko Kenmochi. Quasi-regularity verification for 2D polygonal objects based on medial axis analysis. In *International Conference on Image Processing (ICIP)*, pages 1584–1588, Anchorage, Alaska, United States, September 2021.
- [351] Phuc Ngo, Nicolas Passat, Yukiko Kenmochi, and Isabelle Debled-Rennesson. Convexity invariance of voxel objects under rigid motions. In *International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, pages 1157–1162, Beijing, China, 2018.
- [352] Phuc Ngo, Nicolas Passat, Yukiko Kenmochi, and Isabelle Debled-Rennesson. Geometric-preserving rigid motions of digital objects. In *Journées Informatique et Géométrie (JIG)*, Lyon, France, 2018.
- [353] Thanh Xuan Nguyen, Giovanni Chierchia, Laurent Najman, Aku Venhola, Caroline Haigh, Reynier Peletier, Michael H.F. Wilkinson, Hugues Talbot, and Benjamin Perret. CGO : Multiband Astronomical Source Detection With Component-Graphs. In *ICIP 2020 - IEEE International Conference on Image Processing, 2020 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, pages 16–20, Abu Dhabi, United Arab Emirates, October 2020. IEEE.
- [354] Thanh Xuan Nguyen, Giovanni Chierchia, O Razim, R Peletier, Laurent Najman, Hugues Talbot, and Benjamin Perret. Object Detection with Component-Graphs in Multi-band Images : Application to Source Detection in Astronomical Images. *IEEE Access*, 9 :156482–156491, November 2021.
- [355] van Nguyen Nguyen, Yuming Du, Yang Xiao, Michael Ramamonjisoa, and Vincent Lepetit. PIZZA : A Powerful Image-only Zero-Shot Zero-CAD Approach to 6 DoF Tracking. In *International Conference on 3D Vision (3DV)*, Prague, Czech Republic, September 2022. 3DV Oral.
- [356] van Nguyen Nguyen, Thibault Groueix, Georgy Ponimatkin, Vincent Lepetit, and Tomas Hodan. CNOS : A Strong Baseline for CAD-based Novel Object Segmentation. In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, Paris, France, October 2023. arXiv.
- [357] van Nguyen Nguyen, Yinlin Hu, Xiao Yang, Mathieu Salzmann, and Vincent Lepetit. Templates for 3D Object Pose Estimation Revisited : Generalization to New Objects and Robustness to Occlusions. In *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, New Orleans, United States, 2022.
- [358] Cyril Nicaud. The Černý Conjecture Holds with High Probability. *Journal of Automata Languages and Combinatorics*, 24(2-4) :343–365, 2019.
- [359] Jean-Christophe Novelli and Jean-Yves Thibon. Noncommutative unicellular LLT polynomials. *Journal of Combinatorial Theory, Series A*, 177 :105305, January 2021.
- [360] Jean-Christophe Novelli and Jean-Yves Thibon. Noncommutative symmetric functions and Lagrange inversion II : Noncrossing partitions and the Farahat-Higman algebra. *Advances in Applied Mathematics*, 140 :102396, September 2022.
- [361] Jean-Christophe Novelli, Jean-Yves Thibon, and Frédéric Toumazet. A Noncommutative Cycle Index and New Bases of Quasi-symmetric Functions and Noncommutative Symmetric Functions. *Annals of Combinatorics*, 24(3) :557–576, September 2020.
- [362] Arthur Nunge. An equivalence of multistatistics on permutations. *Journal of Combinatorial Theory, Series A*, 157 :435–460, July 2018.
- [363] Omar Sami Oubbati, Mohammed Atiquzzaman, Hyotaek Lim, Abderrezak Rachedi, and Abderrahmane Lakas. Synchronizing UAV Teams for Timely Data Collection and Energy Transfer by Deep Reinforcement Learning. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 71(6) :6682–6697, 2022.
- [364] Omar Sami Oubbati, Abderrahmane Lakas, and Mohsen Guizani. Multi-Agent Deep Reinforcement Learning for Wireless-Powered UAV Networks. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(17) :16044–16059, February 2022.
- [365] Lazaros Papamanolis, Hyun Jin Kim, Clara Jaquet, Matthew Sinclair, Michiel Schaap, Ibrahim Danad, Pepijn van Diemen, Paul Knaapen, Laurent Najman, Hugues Talbot, Charles A Taylor, and Irene Vignon-Clementel. Myocardial Perfusion Simulation for Coronary Artery Disease : A Coupled Patient-Specific Multiscale Model. *Annals of Biomedical Engineering*, 49 :1432–1447, May 2021.
- [366] Nicolas Passat, Yukiko Kenmochi, Phuc Ngo, and Kacper Pluta. Rigid motions in the cubic grid : A discussion on topological issues. In *Discrete Geometry for Computer Imagery (DGCI)*, volume 11414 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 127–140, Marne-la-Vallée, France, 2019. Springer.

- [367] Nicolas Passat, Phuc Ngo, and Yukiko Kenmochi. Homotopic Digital Rigid Motion : An Optimization Approach on Cellular Complexes. In International Conference on Discrete Geometry and Mathematical Morphology (DGMM), volume 12708 of Lecture Notes in Computer Science, pages 189–201, Uppsala (virtual), Sweden, 2021.
- [368] Benjamin Perret, Giovanni Chierchia, Jean Cousty, Silvio Jamil F. Guimarães, Yukiko Kenmochi, and Laurent Najman. Hgra : Hierarchical Graph Analysis. SoftwareX, 10 :100335, July 2019.
- [369] Benjamin Perret and Jean Cousty. Component Tree Loss Function : Definition and Optimization. In DGMM 2022 : Discrete Geometry and Mathematical Morphology, volume 13493, pages 248–260, Strasbourg, France, 2022. Springer, Cham.
- [370] Benjamin Perret, Jean Cousty, Silvio Jamil Ferzoli Guimarães, Yukiko Kenmochi, and Laurent Najman. Removing non-significant regions in hierarchical clustering and segmentation. Pattern Recognition Letters, 128 :433–439, December 2019.
- [371] Dominique Perrin and Andrew Ryzhikov. The Degree of a Finite Set of Words. In Nitin Saxena and Sunil Simon, editors, FSTTCS 2020, volume 182 of Proceedings of the 40<sup>th</sup> IARCS Annual Conference on Foundations of Software Technology and Theoretical Computer Science, pages 54 :1–54 :16, Goa (online), India, December 2020. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik.
- [372] Mathis Petrovich, Michael J. Black, and Gül Varol. Action-Conditioned 3D Human Motion Synthesis with Transformer VAE. In 2021 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), Montreal, Canada, October 2021.
- [373] Mathis Petrovich, Michael J. Black, and Gül Varol. TEMOS : Generating diverse human motions from textual descriptions. In European Conference on Computer Vision 2022, Tel Aviv, Israel, October 2022. ECCV 2022 Oral, Camera ready.
- [374] Larissa Picoli, Oto Araújo Vale, and Eric Laporte. Aspecto verbal nas construções com verbo-suporte. Revista do GEL (Grupo de Estudos Lingüísticos do Estado de São Paulo), 18(1) :204–229, April 2021.
- [375] Giorgia Pitteri, Aurélie Bugeau, Slobodan Ilic, and Vincent Lepetit. 3D Object Detection and Pose Estimation of Unseen Objects in Color Images with Local Surface Embeddings. In 15<sup>th</sup> Asian Conference on Computer Vision, Kyoto (virtual conference), Japan, November 2020.
- [376] Kacper Pluta, Tristan Roussillon, David Cœurjolly, Pascal Romon, Yukiko Kenmochi, and Victor Ostromoukhov. Characterization of bijective digitized rotations on the hexagonal grid. Journal of Mathematical Imaging and Vision, 60(5) :707–716, 2018. Submitted to Journal of Mathematical Imaging and Vision.
- [377] K R Prajwal, Hannah Bull, Liliane Momeni, Samuel Albanie, Gül Varol, and Andrew Zisserman. Weakly-supervised Fingerspelling Recognition in British Sign Language Videos. In British Machine Vision Conference (BMVC) 2022, London, United Kingdom, November 2022.
- [378] Gilles Puy, Alexandre Boulch, and Renaud Marlet. FLOT : Scene Flow on Point Clouds guided by Optimal Transport. In European Conference on Computer Vision (ECCV), volume 12373 of Lecture Notes in Computer Science, pages 527–544, Virtual conference, France, August 2020. Springer International Publishing.
- [379] Xuchong Qiu, Yang Xiao, Chaohui Wang, and Renaud Marlet. Pixel-Pair Occlusion Relationship Map (P2ORM) : Formulation, Inference and Application. In European Conference on Computer Vision, pages 690–708, Online, France, August 2020.
- [380] A. Rachedi and H. Badis. Method and assembly allowing end-user terminals to exchange over a wireless multi-hop communication proximity network with dynamic architecture. In European Patent – PCT/EP2018/083502 – US20200374975 – CN112868255 – WO2019110594, 2018.
- [381] A. Rachedi and A. Mebarki. Method and device for guidance by connected object in a building. In European Patent – 19306270.0 – 1205 -WO2021064225, 2020.
- [382] A. Rachedi and A. Mebarki. Method and device for guiding using a connected object in a building by location at each positioning terminal. In European Patent – 0894-IDF57-EP, 2021.
- [383] Michaël Ramamonjisoa, Sinisa Stekovic, and Vincent Lepetit. MonteBoxFinder : Detecting and Filtering Primitives to Fit a Noisy Point Cloud. In European Conference on Computer Vision, Tel Aviv, Israel, October 2022. Accepted at ECCV 2022. Project page : <https://michaelramamonjisoa.github.io/projects/MonteBoxFinder>, Code : <https://github.com/MichaelRamamonjisoa/MonteBoxFinder>.

- [384] Xiangnan Ren, Olivier Curé, Li Ke, Jérémy Lhez, Badre Belabbess, Tendry Randriamalala, Yufan Zheng, and Gabriel Képéklian. Strider : An Adaptive, Inference-enabled Distributed RDF Stream Processing Engine. Proceedings of the VLDB Endowment (PVLDB), 10(12) :1905 – 1908, August 2017.
- [385] Eric Renault, Paul Mühlethaler, and Selma Boumerdassi. Communication Security in VANETs based on the Physical Unclonable Function. In ICC 2021 - IEEE International Conference on Communications, pages 1–6, Montreal, Canada, June 2021. IEEE.
- [386] Katrin Renz, Nicolaj C. Stache, Neil Fox, Gül Varol, and Samuel Albanie. Sign Segmentation with Changepoint-Modulated Pseudo-Labeling. In 2021 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), Nashville, TN, United States, June 2021.
- [387] Dominique Revuz. PLaTon, une plateforme pour apprendre et enseigner. Technical report, LIGM - Laboratoire d'Informatique Gaspard-Monge, February 2020.
- [388] Rodrigo Rill-García, Eva Dokladalova, and Petr Dokladal. Pixel-accurate road crack detection in presence of inaccurate annotations. Neurocomputing, January 2022.
- [389] Rodrigo Rill-García, Eva Dokladalova, and Petr Dokládál. Syncrack : Improving Pavement and Concrete Crack Detection Through Synthetic Data Generation. In 17<sup>th</sup> International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications (VISAPP'22), on-line, France, February 2022.
- [390] Rodrigo Rill-García, Eva Dokladalova, Petr Dokládál, Jean-François Caron, Romain Mesnil, Pierre Margerit, and Malo Charrier. Inline monitoring of 3D concrete printing using computer vision. Additive Manufacturing, 60 :103175, December 2022.
- [391] Clément Riu, Vincent Nozick, and Pascal Monasse. Automatic RANSAC by Likelihood Maximization. Image Processing On Line, March 2022.
- [392] Clément Riu, Vincent Nozick, and Pascal Monasse. Automatic Threshold RanSaC Algorithms for Pose Estimation Tasks. Communications in Computer and Information Science, 1815 :1, October 2023.
- [393] Damien Robert, Hugo Raguét, and Loïc Landrieu. Efficient 3D Semantic Segmentation with Superpoint Transformer. In International Conference on Computer Vision, pages 17195–17204, Paris, France, October 2023. CVR, IEEE. Code available at [github.com/drprojects/superpoint\\_transformer](https://github.com/drprojects/superpoint_transformer).
- [394] Julie Robic, Alex Nkengne, Benjamin Perret, Michel Couprie, Hugues Talbot, Giovanni Pellacani, and Katell Vie. Clinical validation of a computer-based approach for the quantification of the skin ageing process of women using in vivo confocal microscopy. Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology, 35(1), January 2021.
- [395] Julie Robic, Benjamin Perret, Alex Nkengne, Michel Couprie, and Hugues Talbot. Self-dual pattern spectra for characterising the dermal-epidermal junction in 3D reflectance confocal microscopy imaging. In ISMM 2019 - International Symposium on Mathematical Morphology and Its Applications to Signal and Image Processing, volume 11564 of Lecture Notes in Computer Science, pages 508–519, Saarbrücken, Germany, July 2019. Springer.
- [396] Julie Robic, Benjamin Perret, Alex Nkengne, Michel Couprie, and Hugues Talbot. Three-dimensional conditional random field for the dermal–epidermal junction segmentation. Journal of Medical Imaging, 6(02) :1, April 2019.
- [397] Rosemberg Rodriguez Salas, Petr Dokládál, and Eva Dokladalova. A Minimal Model for Classification of Rotated Objects with Prediction of the Angle of Rotation. Journal of Visual Communication and Image Representation, 75 :103054, February 2021.
- [398] Rosemberg Rodriguez Salas, Petr Dokládál, and Eva Dokladalova. A minimal model for rotation invariant convolutional neural networks with angle prediction. In 16<sup>th</sup> International Conference on Computer Vision Theory and Applications - VISAPP 2021, On-line Streaming, Austria, February 2021.
- [399] Rosemberg Rodriguez Salas, Petr Dokládál, and Eva Dokladalova. Rotation Invariant Networks for Image Classification for HPC and Embedded Systems. Electronics, 10(2) :139, January 2021.
- [400] Rosemberg Rodriguez Salas, Eva Dokladalova, and Petr Dokládál. Rotation invariant CNN using scattering transform for image classification. In IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Taipei, Taiwan, September 2019.
- [401] Simon Rohou, Abderahmane Bedouhene, Gilles Chabert, Alexandre Goldsztejn, Luc Jaulin, Bertrand Neveu, Victor Reyes, and Gilles Trombettoni. Towards a Generic Interval Solver for Differential-Algebraic

- CSP. In CP 2020 - 26<sup>th</sup> International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming, volume 12333 of Lecture Notes in Computer Science (LNCS), pages 548–565, Louvain-la-Neuve, Belgium, September 2020. Simonis, Helmut, Springer.
- [402] Alexis Rosuel, Philippe Loubaton, Pascal Vallet, and Xavier Mestre. On the detection of low-rank signal in the presence of spatially uncorrelated noise : a frequency domain approach. IEEE Transactions on Signal Processing, 69 :p. 4458–4473, 2021.
- [403] Andrew Ryzhikov. Mortality and Synchronization of Unambiguous Finite Automata. In WORDS 2019, volume 11682 of LNCS, pages 299–311, Loughborough, United Kingdom, September 2019.
- [404] Andrew Ryzhikov. Synchronizing automata and coding theory. Theses, Université Paris-Est, November 2020.
- [405] Yuki Saeki, Atsushi Saito, Jean Cousty, Yukiko Kenmochi, and Akinobu Shimizu. Statistical modeling of pulmonary vasculatures with topological priors in CT volumes. In MICCAI 2021 workshop on Topological Data Analysis and Its Applications for Medical Data, Interpretability of Machine Intelligence in Medical Image Computing, and Topological Data Analysis and Its Applications for Medical Data, pages 108–118, Strasbourg (virtual), France, September 2021.
- [406] Nazih Salhab, Rami Langar, Rana Rahim, Sylvain Cherrier, and Abdelkader Outtagarts. Autonomous Network Slicing Prototype Using Machine-Learning-Based Forecasting for Radio Resources. IEEE Communications Magazine, 59(6) :73–79, June 2021.
- [407] Nazih Salhab, Rana Rahim, and Rami Langar. Autonomous Anomaly Detector for Cloud-Radio Access Network Key Performance Indicators. In 19<sup>th</sup> International IFIP TC6 Networking Conference 2020, Paris, France, June 2020.
- [408] Nazih Salhab, Rana Rahim, Rami Langar, and Raouf Boutaba. Deep Neural Networks approach for Power Head-Room Predictions in 5G Networks and Beyond. In 19<sup>th</sup> International IFIP TC6 Networking Conference 2020, Paris, France, June 2020.
- [409] Raoul Sallé de Chou, Mohamed Ali Srir, Laurent Najman, Nicolas Passat, Hugues Talbot, and Irene Vignon-Clementel. Convex optimization for binary tree-based transport networks. In DGMM 2024 - Third International Conference on Discrete Geometry and Mathematical Morphology, Florence, Italy, April 2024.
- [410] Deise Santana Maia, Jean Cousty, Laurent Najman, and Benjamin Perret. On the probabilities of hierarchical watersheds. In International Symposium on Mathematical Morphology, Mathematical Morphology and Its Applications to Signal and Image Processing 14<sup>th</sup> International Symposium, ISMM 2019, Saarbrücken, Germany, July 8-10, 2019, Proceedings, Saarbrücken, Germany, July 2019.
- [411] Deise Santana Maia, Jean Cousty, Laurent Najman, and Benjamin Perret. Properties of combinations of hierarchical watersheds. Pattern Recognition Letters, 128 :513–520, December 2019.
- [412] Deise Santana Maia, Jean Cousty, Laurent Najman, and Benjamin Perret. Watershedding hierarchies. In International Symposium on Mathematical Morphology, Mathematical Morphology and Its Applications to Signal and Image Processing 14<sup>th</sup> International Symposium, ISMM 2019, Saarbrücken, Germany, July 8-10, 2019, Proceedings, Saarbrücken, Germany, July 2019.
- [413] Deise Santana Maia, Jean Cousty, Laurent Najman, and Benjamin Perret. Characterization of graph-based hierarchical watersheds : theory and algorithms. International Journal of Mathematical Imaging and Vision, 62(5) :627–658, March 2020.
- [414] Septimia Sarbu and Abdellatif Zaidi. On Learning Parametric Distributions from Quantized Samples. In 2021 IEEE International Symposium on Information Theory (ISIT), pages 1094–1099, Melbourne, France, July 2021. IEEE.
- [415] Corentin Sautier, Gilles Puy, Spyros Gidaris, Alexandre Boulch, Andrei Bursuc, and Renaud Marlet. Image-to-Lidar Self-Supervised Distillation for Autonomous Driving Data. In Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pages 9881–9891, New Orleans, United States, June 2022. IEEE/CVF.
- [416] Ibrahim Sbeity, Christophe Villien, Benoît Denis, and E Veronica Belmega. RNN-based GNSS positioning using satellite measurement features and pseudorange residuals. In ICL GNSS 2023 - International Conference on Localization and GNSS, Castellon, Spain, June 2023.
- [417] Franziska Schmidt, Fatiha Chabi, and J.F. Bercher. SHM analysis for damage detection using time series analysis methods. In Fabio Biondini and Dan M. Frangopol, editors, IALCCE 2023, Eighth International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, Life-Cycle of Structures

- and Infrastructure Systems, pages 2227–2234, Milan, Italy, July 2023. Fabio Biondini, Dan M. Frangopol, CRC Press.
- [418] Celine Scornavacca and Mathias Weller. Treewidth-based algorithms for the small parsimony problem on networks. *Algorithms for Molecular Biology*, 17(1) :15, December 2022.
- [419] Milad Sefidgaran, Romain Chor, and Abdellatif Zaidi. Rate-Distortion Theoretic Bounds on Generalization Error for Distributed Learning. In *The Thirty-Sixth Annual Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2022)*, New Orleans, United States, 2022. Accepted at NeurIPS 2022.
- [420] Milad Sefidgaran and Abdellatif Zaidi. Data-dependent Generalization Bounds via Variable-Size Compressibility. *IEEE Transactions on Information Theory*, 2024.
- [421] Milad Sefidgaran, Abdellatif Zaidi, and Piotr Krasnowski. Minimum Description Length and Generalization Guarantees for Representation Learning. In *The Thirty-Seventh Annual Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, New Orleans, United States, 2023. Accepted and presented at NeurIPS 2023.
- [422] Thibault Séjourné, Gabriel Peyré, and François-Xavier Vialard. Unbalanced Optimal Transport, from Theory to Numerics. *ESAIM : Control, Optimisation and Calculus of Variations*, 2022.
- [423] Thibault Séjourné, François-Xavier Vialard, and Gabriel Peyré. The Unbalanced Gromov Wasserstein Distance : Conic Formulation and Relaxation. In *NeurIPS*, Virtual conference, France, 2021. arXiv.
- [424] Thibault Séjourné, François-Xavier Vialard, and Gabriel Peyré. Faster Unbalanced Optimal Transport : Translation invariant Sinkhorn and 1-D Frank-Wolfe. In *Aistats*, Virtual conference, France, 2022. arXiv.
- [425] Xi Shen, Robin Champenois, Shiry Ginosar, Ilaria Pastrolin, Morgane Rousselot, Oumayma Bounou, Tom Monnier, Spyros Gidaris, François Bougard, Pierre-Guillaume Raverdy, Marie-Françoise Limon, Olivier Poncet, K Bender, Béatrice Joyeux-Prunel, Elizabeth Honig, Alexei Efros, Mathieu Aubry, Marc H. Smith, and Christine Bénévent. Spatially-consistent Feature Matching and Learning for Heritage Image Analysis. *International Journal of Computer Vision*, March 2022.
- [426] Xi Shen, François Darmon, Alexei Efros, and Mathieu Aubry. RANSAC-Flow : Generic Two-Stage Image Alignment. In *European Conference on Computer Vision 2020*, pages 618–637. October 2020.
- [427] Xi Shen, Alexei A. Efros, and Mathieu Aubry. Discovering Visual Patterns in Art Collections with Spatially-consistent Feature Learning. In *2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pages 9270–9279, Long Beach, CA, United States, June 2019. IEEE.
- [428] Yoshihiro Shibuya, Djamel Belazzougui, and Gregory Kucherov. Efficient reconciliation of genomic datasets of high similarity. In *22<sup>nd</sup> International Workshop on Algorithms in Bioinformatics (WABI 2022)*, Leibniz International Proceedings in Informatics (LIPIcs), Potsdam, Germany, September 2022.
- [429] Yoshihiro Shibuya, Djamel Belazzougui, and Gregory Kucherov. Space-efficient representation of genomic k-mer count tables. *Algorithms for Molecular Biology*, 17(1) :5, December 2022.
- [430] Yoshihiro Shibuya and Gregory Kucherov. Set-Min sketch : a probabilistic map for power-law distributions with application to k-mer annotation. In *Research in Computational Molecular Biology - 25<sup>th</sup> Annual International Conference, RECOMB 2021, Padua, Italy, August 29-September 1, 2021, Proceedings, Lecture Notes in Computer Science, Padova, Italy, August 2021*.
- [431] Oriane Siméoni, Gilles Puy, Huy V. Vo, Simon Roburin, Spyros Gidaris, Andrei Bursuc, Patrick Pérez, Renaud Marlet, and Jean Ponce. Localizing Objects with Self-Supervised Transformers and no Labels. In *BMVC 2021 - 32<sup>nd</sup> British Machine Vision Conference*, Virtual, United Kingdom, November 2021.
- [432] Shikha Singh, Emilie Chouzenoux, Giovanni Chierchia, and Angshul Majumdar. Multi-label Deep Convolutional Transform Learning for Non-intrusive Load Monitoring. *ACM Transactions on Knowledge Discovery from Data (TKDD)*, 16(5) :1–6, March 2022.
- [433] Shikha Singh, Angshul Majumdar, Emilie Chouzenoux, and Giovanni Chierchia. Semi-supervised Deep Convolutional Transform Learning for Hyperspectral Image Classification. In *ICIP 2022 - 29<sup>th</sup> IEEE International Conference on Image Processing, Proceedings of the 29<sup>th</sup> IEEE International Conference on Image Processing*, Bordeaux, France, October 2022.
- [434] Abdallah Sobehy, Eric Renault, and Paul Mühlethaler. CSI based indoor localization using Ensemble Neural Networks. In *MLN 2019 : 2<sup>nd</sup> IFIP International Conference on Machine Learning for Networking*, volume 12081 of *Lecture Notes in Computer Science book series (LNCS)*, pages 367–378, Paris, France, December 2019. Springer.

- [435] Sampriti Soor, Aditya Challa, Sravan Danda, B S Daya Sagar, and Laurent Najman. Iterated Watersheds, A Connected Variation of K-Means for Clustering GIS Data. IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing, 9(2) :626 – 636, April 2021.
- [436] Sinisa Stekovic, Mahdi Rad, Friedrich Fraundorfer, and Vincent Lepetit. MonteFloor : Extending MCTS for Reconstructing Accurate Large-Scale Floor Plans. In International Conference on Computer Vision (ICCV 2021), Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), pages 16034–16043, Online, Canada, October 2021.
- [437] Savita Sthawarmath, Eric Renault, and Thierry Lejkin. Designing Stateless Control-Plane for Next-Generation Telecom Networks. In 2022 IEEE International Mediterranean Conference on Communications and Networking (MeditCom), pages 154–159, Athens, France, September 2022. IEEE.
- [438] Raphael Sulzer, Loic Landrieu, Renaud Marlet, and Bruno Vallet. Scalable Surface Reconstruction with Delaunay-Graph Neural Networks. Computer Graphics Forum, 40(5) :157 – 167, August 2021. The presentation of this work at SGP 2021 is available at <https://youtu.be/KlrCDGhS10o>.
- [439] Lama Tarsissi, David Coeurjolly, Yukiko Kenmochi, and Pascal Romon. Convexity Preserving Contraction of Digital Sets. In The 5<sup>th</sup> Asian Conference on Pattern Recognition (ACPR 2019), pages 611–624, Auckland, New Zealand, November 2019.
- [440] Lama Tarsissi, Yukiko Kenmochi, Hadjer Djerroumi, David Coeurjolly, Pascal Romon, and Jean-Pierre Borel. Algorithms for pixelwise shape deformations preserving digital convexity. In International Conference on Discrete Geometry and Mathematical Morphology (DGMM), volume 134934, pages 84–97, Strasbourg, France, October 2022.
- [441] Lama Tarsissi, Yukiko Kenmochi, Pascal Romon, David Coeurjolly, and Jean-Pierre Borel. Convexity preserving deformations of digital sets : Characterization of removable and insertable pixels. Discrete Applied Mathematics, 341 :270–289, August 2023.
- [442] Issenhuth Thibaut, Tanielian Ugo, Mary Jérémie, and Picard David. Unveiling the Latent Space Geometry of Push-Forward Generative Models. In International Conference on Machine Learning, Honolulu (Hawaii), USA, United States, July 2023.
- [443] Jean-Yves Thibon and David G. L. Wang. A noncommutative approach to the Schur positivity of chromatic symmetric functions. 26 pages, with an appendix of 6 pages, January 2024.
- [444] Lin Tian, Hastings Greer, François-Xavier Vialard, Roland Kwitt, Raúl San José Estépar, Richard Jarrett Rushmore, Nikolaos Makris, Sylvain Bouix, and Marc Niethammer. GradICON : Approximate Diffeomorphisms via Gradient Inverse Consistency. In CVPR, Vancouver, Canada, 2023. arXiv.
- [445] Daria Tieplova and Philippe Loubaton. On the largest singular values of certain large random matrices with application to the estimation of the minimal dimension of the state-space representations of high-dimensional time series. working paper or preprint, October 2021.
- [446] Daria Tieplova and Philippe Loubaton. Estimation consistante de la dimension minimale des représentations d'état de séries temporelles multivariées de grandes dimensions. In GRETSI (Groupe de Recherche et d'Etudes de Traitement du Signal et des Images) 2022, Nancy, France, September 2022.
- [447] Daria Tieplova, Philippe Loubaton, and Leonid Pastur. On the Limit Distribution of the Canonical Correlation Coefficients Between the Past and the Future of a High-Dimensional White Noise. In ICASSP 2020 - 2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Proceedings ICASSP 2020, pages 8772–8776, Barcelona, Spain, May 2020. IEEE.
- [448] Yigit Ugur, Inaki Estella Aguerri, and Abdellatif Zaidi. Vector Gaussian CEO Problem Under Logarithmic Loss and Applications. IEEE Transactions on Information Theory, 66(7) :4183–4202, July 2020.
- [449] Adrien Vacher, Boris Muzellec, Alessandro Rudi, Francis Bach, and François-Xavier Vialard. A Dimension-free Computational Upper-bound for Smooth Optimal Transport Estimation. In COLT 2021 - 34<sup>th</sup> Annual Conference on Learning Theory, Boulder, United States, August 2021.
- [450] Adrien Vacher and François-Xavier Vialard. Parameter tuning and model selection in optimal transport with semi-dual Brenier formulation. In NeurIPS, New Orleans, France, 2022.
- [451] Adrien Vacher and François-Xavier Vialard. Semi-Dual Unbalanced Quadratic Optimal Transport : Fast Statistical Rates and Convergent Algorithm. In ICML, Hawaii, USA, United States, March 2023.
- [452] Pascal Vallet and Philippe Loubaton. Un test d'indépendance mutuelle entre un grand nombre de signaux. In XXIX<sup>ème</sup> Colloque Francophone de Traitement du Signal et des Images GRETSI 2023, Grenoble, France, August 2023.

- [453] Leo van Iersel, Mark Jones, and Mathias Weller. Embedding phylogenetic trees in networks of low treewidth. Discrete Mathematics and Theoretical Computer Science, vol. 25 :2(Discrete Algorithms), October 2023.
- [454] Gül Varol, Liliane Momeni, Samuel Albanie, Triantafyllos Afouras, and Andrew Zisserman. Read and Attend : Temporal Localisation in Sign Language Videos. In 2021 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2021), Nashville, TN, United States, June 2021.
- [455] Gül Varol, Liliane Momeni, Samuel Albanie, Triantafyllos Afouras, and Andrew Zisserman. Scaling Up Sign Spotting Through Sign Language Dictionaries. International Journal of Computer Vision, 130(6) :1416–1439, June 2022.
- [456] Elliot Vincent, Jean Ponce, and Mathieu Aubry. Pixel-wise Agricultural Image Time Series Classification : Comparisons and a Deformable Prototype-based Approach. working paper or preprint, June 2023.
- [457] Yijun Wan, Melih Barsbey, Umut Şimşekli, and Abdellatif Zaidi. Implicit Compressibility of Overparametrized Neural Networks Trained with Heavy-Tailed SGD. In The Thirty-Seventh Annual Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS), New Orleans, United States, December 2023. 31 pages, 2 figures.
- [458] Chaohui Wang, Huan Fu, Dacheng Tao, and Michael J Black. Occlusion Boundary : A Formal Definition & Its Detection via Deep Exploration of Context. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, November 2020.
- [459] Mathias Weller. Linear-Time Tree Containment in Phylogenetic Networks. In RECOMB-CG 2018, volume 11183 of Proceedings of the 16<sup>th</sup> RECOMB Comparative Genomics Satellite Conference, pages 309–322, Magog-Orford (Sherbrooke), Canada, October 2018. Springer.
- [460] Yang Xiao, Xuchong Qiu, Pierre-Alain Langlois, Mathieu Aubry, and Renaud Marlet. Pose from Shape : Deep Pose Estimation for Arbitrary 3D Objects. In British Machine Vision Conference (BMVC) 2019, Cardiff, United Kingdom, September 2019.
- [461] Yuexiu Xing, Ting Wang, Zhou Fen, Aiqun Hu, Guyue Li, and Linning Peng. EVAL Cane : Nonintrusive Monitoring Platform With a Novel Gait-Based User-Identification Scheme. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 70 :1–15, 2021.
- [462] Yuexiu Xing, Ting Wang, Fen Zhou, Aiqun Hu, Guyue Li, and Linning Peng. EVAL cane : Non-intrusive monitoring platform with a novel gait-based user identification scheme. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, July 2020.
- [463] Weiqin Xu, Olivier Curé, and Philippe Calvez. SuccinctEdge : a succinct RDF store for edge computing. Proceedings of the VLDB Endowment (PVLDB), 13(12) :2857–2860, September 2020.
- [464] Weiqin Xu, Olivier Curé, and Philippe Calvez. Knowledge Graph Management on the Edge. In International Conference on Extending Database Technology, Nicosia, Cyprus, March 2021.
- [465] Youcef Yahiatene and Abderrezak Rachedi. Towards a Blockchain and Software-Defined Vehicular Networks approaches to secure Vehicular Social Network. In IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN), Paris, France, October 2018.
- [466] Xiao Yang, Vincent Lepetit, and Renaud Marlet. Few-Shot Object Detection and Viewpoint Estimation for Objects in the Wild. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2023.
- [467] Houyi Yu, Li Guo, and Jean-Yves Thibon. Weak quasi-symmetric functions, Rota–Baxter algebras and Hopf algebras. Advances in Mathematics, 344 :1–34, February 2019.
- [468] Kevin Zagalo, Yasmina Abdeddaïm, Avner Bar-Hen, and Liliana Cucu-Grosjean. Response Time Stochastic Analysis for Fixed-Priority Stable Real-Time Systems. IEEE Transactions on Computers, pages 1–12, January 2023.
- [469] Abdellatif Zaidi. Rate-Exponent Region for a Class of Distributed Hypothesis Testing Against Conditional Independence Problems. IEEE Transactions on Information Theory, 69(2) :703–718, 2023.
- [470] Djamila Zamouche, Sofiane Aissani, Kahina Zizi, Lina Bourkeb, Khaled Hamouid, and Mawloud Omar. A Behavioral Modeling-based Driver Authentication Approach for Smart Cars Self-Surveillance. In 2022 IEEE 27<sup>th</sup> International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD), pages 232–237, Paris, France, November 2022. IEEE.
- [471] Steeve Zozor and Jean-François Bercher.  $\Phi$ -Informational Measures : Some Results and Interrelations. Entropy, 23(7) :911, July 2021.