



# **GDR 720 ISIS du CNRS**

Information, Signal, Image, viSion

**Rapport d'activité**

**2019 - 2023**

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Présentation générale</b>	<b>1</b>
1.1	Missions du GdR ISIS . . . . .	1
1.2	Positionnement scientifique et structuration . . . . .	2
1.3	Outils d'animation scientifique . . . . .	2
1.3.1	Le comité de direction . . . . .	4
1.3.2	La communauté . . . . .	7
1.4	Fonctionnement externe . . . . .	9
1.5	Club des Partenaires . . . . .	9
1.6	Réseau des doctorants . . . . .	10
1.6.1	Aide à la mobilité . . . . .	11
1.6.2	Journées carrières . . . . .	12
1.6.3	École d'été de Peyresq . . . . .	14
1.6.4	Prix de thèse GRETSI/EEA/ISIS . . . . .	14
1.7	Communication, inter-GdR, international . . . . .	15
1.8	Appels à projets . . . . .	17
<b>2</b>	<b>Présentation par thème</b>	<b>19</b>
2.1	Thème A : Méthodes et modèles . . . . .	19
2.1.1	Présentation générale . . . . .	19
2.1.2	Axes fondamentaux . . . . .	19
2.1.3	Activités sur la période écoulée . . . . .	22
2.2	Thème B : Image et vision . . . . .	35
2.2.1	Présentation générale du Thème B . . . . .	35
2.2.2	Axes fondamentaux . . . . .	36
2.2.3	Méthodologie . . . . .	38
2.2.4	Activités sur la période écoulée . . . . .	47
2.3	Thème C : AAA pour le TdSI . . . . .	67
2.3.1	Présentation générale . . . . .	67
2.3.2	Axes fondamentaux . . . . .	68
2.3.3	Activités sur la période écoulée . . . . .	69
2.4	Thème D : Télécommunications . . . . .	76
2.4.1	Présentation générale . . . . .	76
2.4.2	Axes fondamentaux . . . . .	77
2.4.3	Perspectives du Thème D . . . . .	82
2.4.4	Activités sur la période 2019-2023 . . . . .	84
2.5	Thème T : Apprentissage . . . . .	95
2.5.1	Présentation générale du Thème T . . . . .	95
2.5.2	Axes fondamentaux . . . . .	95
2.5.3	Activités sur la période écoulée . . . . .	98
<b>A</b>	<b>Liste des journées organisées sur la période</b>	<b>116</b>

# 1 Présentation générale

## 1.1 Missions du GdR ISIS

Le GdR ISIS est un outil important de la politique scientifique nationale de l'INS2I, dont la mission est l'**animation scientifique** dans le domaine du traitement du Signal, de l'Image et de la Vision. Il permet aux chercheurs français d'horizons divers, de l'enseignement supérieur, de la recherche académique et de l'industrie, d'échanger leurs idées et leurs travaux, leurs problèmes de recherche et leurs derniers résultats, dans le cadre de réunions scientifiques ouvertes à tous. Celles-ci permettent, aussi bien aux jeunes doctorants qu'aux chercheurs les plus expérimentés, de confronter leurs travaux à l'appréciation des autres équipes spécialistes du domaine dans le cadre de réunions conviviales où les discussions demeurent pointues et franches. Le GdR ISIS favorise ainsi une saine émulation et permet à tous d'accéder au meilleur niveau.

Le GdR ISIS joue ainsi un **rôle fédérateur** en mettant en réseau les acteurs de la recherche en traitement du Signal, de l'Image et en Vision, structurant par là même la communauté. Le groupement de recherche existe sous différentes formes depuis 1988. Depuis sa création, la participation des industriels aux activités du GdR ISIS est favorisée, entretenue, au travers du Club des Partenaires ; voir §1.5. De fait, le GdR ISIS fédère la majeure partie de la communauté relevant du CNRS, des universités, d'autres EPST ou EPIC et du monde industriel. Il comprend 199 laboratoires et 19 partenaires industriels, soit 4600 membres (chercheurs, enseignants-chercheurs, industriels, ingénieurs de recherche, doctorants, post-doctorants et autres personnels). Les demandes d'inscription de laboratoires et de membres sont récurrentes tout au long de l'année ; voir 1.3.2 pour la répartition des laboratoires et des membres.

Fort du nombre important de ses laboratoires adhérents et de ses membres, et de son dynamisme en terme d'animation, le GdR ISIS a pour vocation naturelle de **représenter** sa communauté auprès du CNRS, aux côtés de l'association GRETSI<sup>1</sup> ou d'autres comme le Club EEA<sup>2</sup> et l'AFRIF<sup>3</sup>, de l'ANR<sup>4</sup> ou des alliances telles qu'Allistene<sup>5</sup>.

Un rôle important joué par le GdR ISIS est celui de la **formation** auprès des doctorants. Ce rôle est d'abord tenu par leur participation active et incitée dans les journées d'animation scientifique. Ensuite, en collaboration avec l'association GRETSI, le GdR ISIS propose depuis 2006 une école d'été annuelle à Peyresq. Par ailleurs, le réseau des doctorants animé par le GdR ISIS a pour but de favoriser la mobilité des doctorants et de les aider à préparer leur orientation professionnelle. Enfin, un prix de thèse national est remis annuellement en partenariat avec l'association GRETSI et le Club EEA. Le bilan des actions envers les doctorants est présenté en §1.6.

Enfin, une action de **prospective** est menée pour le CNRS. Cette prospective est réalisée par les membres du comité de direction, principalement les responsables des thèmes, en coordination avec les acteurs majeurs du domaine en France. Nombre d'entre eux participent à des comités éditoriaux de journaux au niveau international, des comités techniques de conférences, ou les comités techniques de sociétés comme IEEE par exemple. Ils contribuent ainsi à repérer les pistes de perspectives au niveau international.

---

1. <http://www.gretsi.fr>

2. <https://www.clubeea.org>

3. <http://afrif.irisa.fr>

4. <https://anr.fr>

5. <https://www.allistene.fr>

## 1.2 Positionnement scientifique et structuration

De l'acquisition des signaux à leur exploitation finale, la séquence des opérations à mettre en œuvre est longue et variée. Le GdR ISIS s'intéresse aux méthodes de traitement de l'information, du signal, de l'image et de la vision, comprenant la mise en forme des signaux, l'analyse et la modélisation, la compression et le codage, le stockage et la transmission. Le contenu sous-jacent à cette nomenclature pérenne est évidemment réinventé au rythme des innovations dans les sciences et technologies de l'information. Le GdR ISIS a pour vocation de se saisir des changements de paradigme de la discipline afin de maintenir son niveau d'excellence dans l'animation et la formation de sa communauté. Les cinq thèmes qui structurent ses activités sont :

- Thème A : Méthodes et modèles en traitement du signal et de l'image
- Thème B : Image et Vision
- Thème C : Adéquation Algorithme Architecture
- Thème D : Télécommunications – compression, protection, transmission
- Thème T : Apprentissage pour l'analyse du signal et des images

Il convient de noter que le Thème T a été créé en début de contrat compte tenu de l'engouement de la communauté pour l'apprentissage machine et de la très forte volonté exprimée par le Club des Partenaires. Les intérêts que le GdR ISIS porte à l'apprentissage sont :

- promouvoir l'utilisation des techniques d'apprentissage les plus récentes dans des tâches de traitement du signal qui y avaient peu recours jusqu'ici ;
- développer et analyser de nouvelles classes de méthodes pour l'apprentissage.

Le Thème T est par nature transverse au sein de l'organisation du GdR ISIS, compte tenu de ses multiples interactions avec les quatre autres thèmes. En prise permanente avec le domaine concerné, les responsables du Thème T sont impliqués dans l'organisation des journées relatives à l'apprentissage automatique émanant des autres thèmes.

La présentation de chacun des cinq Thèmes, de leurs responsables scientifiques, et de leurs activités durant le mandat figurent en §2.

## 1.3 Outils d'animation scientifique

Les outils d'animation du GdR ISIS sont les suivants :

- La journée d'animation scientifique  
L'élément d'activité principal est l'organisation de journées d'animation scientifiques, avec une volonté de programmer conjointement des exposés tutoriels présentés par des chercheurs confirmés de renommée internationale, et des exposés plus pointus proposés par des doctorants. Il est systématiquement proposé aux acteurs industriels du Club des Partenaires de s'associer à chacune de ces journées.

Le GdR ISIS a été la première structure d'animation de la recherche à passer au « tout en ligne » dès le début de la crise sanitaire en mars 2020. Cette réactivité lui a permis d'assurer la continuité de sa mission d'animation. Si le procédé est aujourd'hui commun et éprouvé, il convient de noter l'absence alors de précédent et la nécessité de définir un format convivial et fluide permettant d'accueillir plus de 100 participants connectés et offrant un espace de dialogue entre la salle et les orateurs. Depuis la fin

Participation	2018	2019	2020	2021	2022
Moyenne	58	76	96	131	90
Écart-type	33	51	40	114	52
Minimum	17	23	38	31	29
Maximum	141	201	188	544	201

TABLE 1 – Fréquentation des journées d'animation

de la crise sanitaire, les journées d'animation scientifique sont organisées en mode présentiel ou hybride.

Les journées d'animation scientifiques organisées depuis le début de la mandature sont répertoriées en Annexe A, avec un lien vers un Thème dit principal où elles sont décrites plus en détail. Pour les réunions inter-Thèmes, outre la description détaillée proposée dans le Thème principal vers lequel l'Annexe A renvoie, un rappel plus succinct figure aussi dans les autres Thèmes ayant participé à l'organisation de la journée. La notion de Thème principal est ici arbitraire et vise uniquement à limiter les recopies de descriptifs dans plusieurs Thèmes.

À ce jour, 110 journées scientifiques ont été organisées, soit une moyenne de 25 par an. Elles ont attiré au total 9900 participants. Le tableau 1 présente quelques statistiques de fréquentation au cours des dernières années. On observe une augmentation sensible de la fréquentation moyenne depuis 2018, en particulier au cours des deux années de pandémie, que l'on peut attribuer pour partie à la diffusion des réunions en visioconférence. Pour autant, depuis un retour à la normale en 2022, les chiffres demeurent hauts. Au-delà du mode de diffusion, on a noté que les réunions ayant trait à l'apprentissage statistique attirent beaucoup de participants, en moyenne 157 par réunion dont 70 ne sont pas membres du GdR ISIS, confirmant le succès du GdR ISIS dans l'animation d'une large communauté sur ce sujet.

- Les actions

Il s'agit d'une initiative structurante dans les activités du GdR ISIS. Une action est portée par un ou plusieurs animateurs qui s'engagent à assurer une animation scientifique sur une thématique ciblée et identifiée comme prioritaire. Ceci permet d'identifier des lignes d'actions fortes, programmées dans le temps. Une action peut aussi être motivée par l'écriture d'un livre, d'un article de synthèse, d'un numéro spécial dans une revue, ou encore servir à fédérer plusieurs équipes françaises pour répondre à un challenge international. Les actions ont vocation à être renouvelées à l'occasion du bilan dressé à chaque assemblée générale. Les actions conduites lors du présent contrat sont décrites dans le compte rendu de chaque thème en §2.

- L'assemblée générale

Organisée lors des demandes de renouvellement du GdR ISIS ainsi qu'à mi-mandat, elle permet de réunir régulièrement l'ensemble de la communauté ISIS. L'objectif principal est d'élaborer ensemble les perspectives de chaque thème pour la période à venir, et de redéfinir éventuellement la structure d'organisation du GdR ISIS afin qu'elle puisse servir les axes prospectifs dégagés.

Deux assemblées générales ont été organisées lors du mandat :

- du 16 au 18 juin 2021 à Biarritz
- du 30 mai au 1<sup>er</sup> juin 2023 à Lyon

- Prix de Thèse

Pour promouvoir la recherche, renforcer la visibilité et encourager les études doctorales dans le domaine du signal, de l'image et de la vision, le GdR ISIS co-organise conjointement avec le Club EEA et le GRETSI un Prix de Thèse distinguant des travaux particulièrement originaux et novateurs. Ce prix est délivré annuellement. Les lauréats sont invités à présenter leurs travaux lors du colloque biennal GRETSI.

La liste des lauréats du Prix de Thèse est présentée en §1.6.4.

- École d'été de Peyresq

Le GdR ISIS organise l'école d'été de Peyresq en Traitement du Signal et des Images, conjointement avec le GRETSI. Cette école annuelle créée en 2006 réunit 45 participants durant une semaine. La présence des doctorants est largement majoritaire, et celle des jeunes chercheurs encouragée. Des industriels participent aussi régulièrement à cette école. La programmation est assurée par un directeur scientifique, renouvelé chaque année.

La liste des écoles d'été est présentée en §1.6.3.

- Les projets de recherche exploratoire

Le GdR ISIS publie périodiquement des appels à projets, selon les ressources financières dont il dispose. Les aides accordées, d'un montant de 7000 euros environ pour une durée de deux ans, sont destinées à soutenir des travaux de recherche à caractère très prospectif dans les domaines de l'information, du signal, de l'image et de la vision. Seuls les projets amont, en rupture avec les travaux connus dans le champ scientifique du projet, peuvent être retenus. Les projets doivent associer deux laboratoires au minimum, dont au moins une unité mixte de recherche (UMR) du CNRS, membre du GdR ISIS. La sélection des projets repose sur la qualité scientifique.

Trois appels à projets ont été organisés lors du mandat, dont un en cours, selon le rythme biennal adopté par le GdR ISIS. Les résultats des deux premiers appels sont présentés en §1.8.

### 1.3.1 Le comité de direction

Le lieu de décision du GdR ISIS est son comité de direction. Il comprend le directeur et les deux directeurs adjoints, les responsables scientifiques des thèmes, les responsables du réseau des doctorants, le président du Club des Partenaires industriels, la responsable des relations inter-GdRs et internationales, le responsable du système d'information, la responsable administrative et de gestion. Le comité se réunit quatre fois par an, décide des grandes orientations à donner, planifie les journées d'animation scientifiques à venir, prépare l'Assemblée Générale, décide des actions pour les doctorants, sélectionne les lauréats des appels à projets, participe au choix du sujet de l'école d'été annuelle de Peyresq. Ses principales lignes d'action ainsi que sa composition sont présentées et discutées en Assemblée Générale. Le comité de direction est garant de la qualité scientifique des activités du GdR ISIS. Il est aussi garant de la mise en œuvre du projet et décide des priorités en fonction du budget. Il est à l'écoute des propositions d'animation émanant de la communauté.

La composition du comité de direction pour le mandat 2019-2023 avec ses principales évolutions, en 2021 lors de la première assemblée générale, en 2023 lors de la préparation de la deuxième assemblée générale, est la suivante :

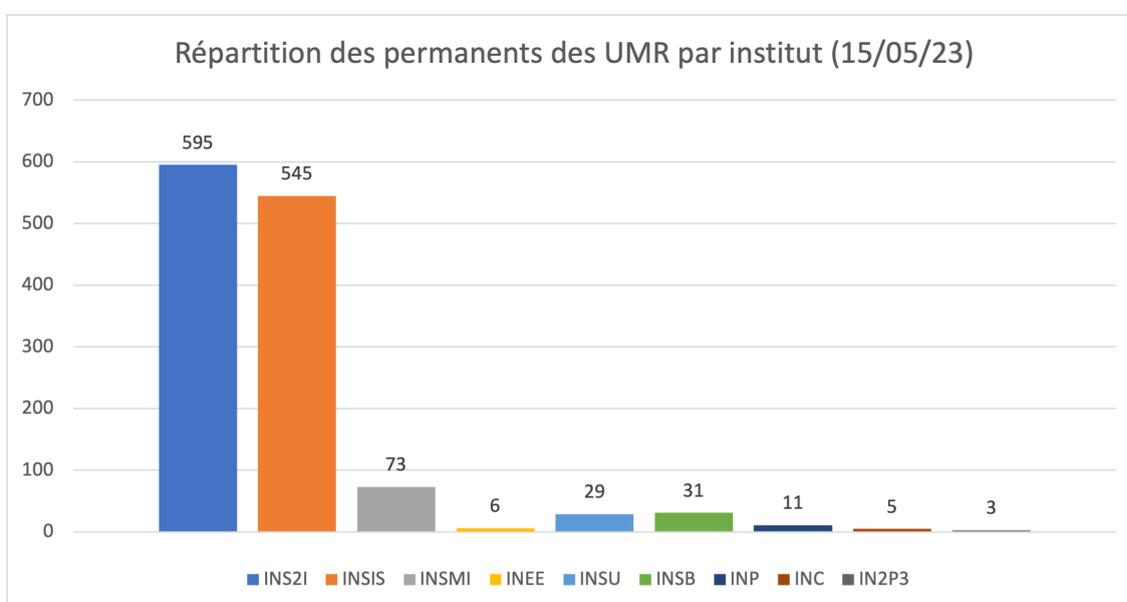
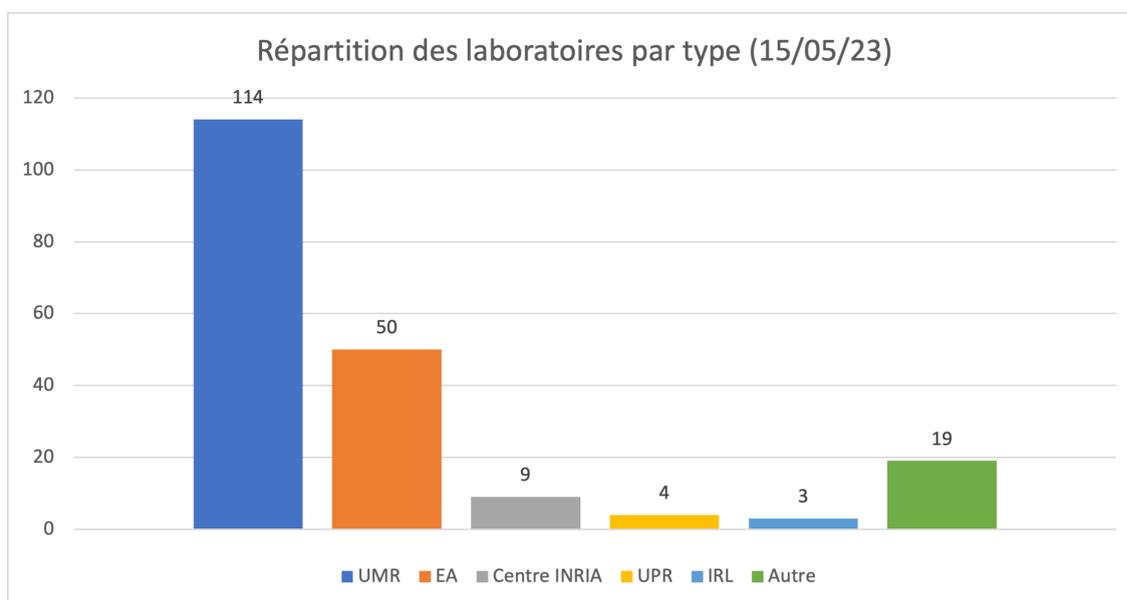
- Directeur :  
**Cédric Richard**  
PU61, Laboratoire Lagrange (UMR CNRS 7293), Université Nice – Sophia Antipolis
- Directeurs adjoints :  
**Yannick Berthoumieu**  
PU61, IMS (UMR CNRS 5218), INP de Bordeaux, Université de Bordeaux  
**Jérôme Idier**  
DR CNRS 07, LS2N (UMR CNRS 6004), Nantes  
Sous la supervision de C. Richard, Y. Berthoumieu est en charge des relations avec le Club des Partenaires représenté par son Président, tandis que J. Idier se consacre aux relations avec les instances.  
**Gersende Fort** (01/2023 →)  
DR CNRS 07, IMT (UMR CNRS 5219), Toulouse
- Directeurs scientifiques adjoints, responsables des thèmes scientifiques :
  - Thème A : Méthodes et modèles en traitement du signal et de l'image  
**Rémy Boyer** (← 12/2020)  
PU61, CRISAL (UMR CNRS 9189), Université de Lille  
**François Desbouvries**  
PU, SAMOVAR (UMR 5157), Telecom SudParis, Evry  
**Nicolas Le Bihan**  
DR CNRS 07, GIPSA-lab (UMR CNRS 5216), Grenoble  
**Mohammed Nabil El Korso** (01/2023 →)  
PU61, L2S (UMR CNRS 8506), CentraleSupélec, Paris Saclay  
**Herwig Wendt** (01/2023 →)  
CR CNRS 07, IRIT (UMR CNRS 5505), Toulouse  
**Simon Barthelmé** (01/2023 →)  
CR CNRS 07, GIPSA-lab (UMR CNRS 5216), Grenoble  
**Cédric Herzet** (01/2023 →)  
CR INRIA, Rennes
  - Thème B : Image et vision  
**Cédric Demonceaux**  
PU61, ImViA, Université Bourgogne Franche-Comté  
**François Goudail**  
PU63, Laboratoire Charles Fabry (UMR CNRS 8501), Institut d'Optique  
**Edoardo Provenzi** (← 06/2021)  
PU26, IMB (UMR 5251), Université de Bordeaux  
**Ruan Su**  
PU61, LITIS, Normastic (EA 4108), Université de Rouen Normandie  
**Carole Lartizien** (01/2023 →)  
DR CNRS 07, CREATIS (UMR CNRS 5220), Université Lyon 1  
**Aladine Chetouani** (01/2023 →)  
MCF61, PRISME (EA 4229), Polytech Orléans  
**Corinne Fournier** (01/2023 →)  
PU61, LHC (UMR CNRS 5516), Télécom St-Étienne

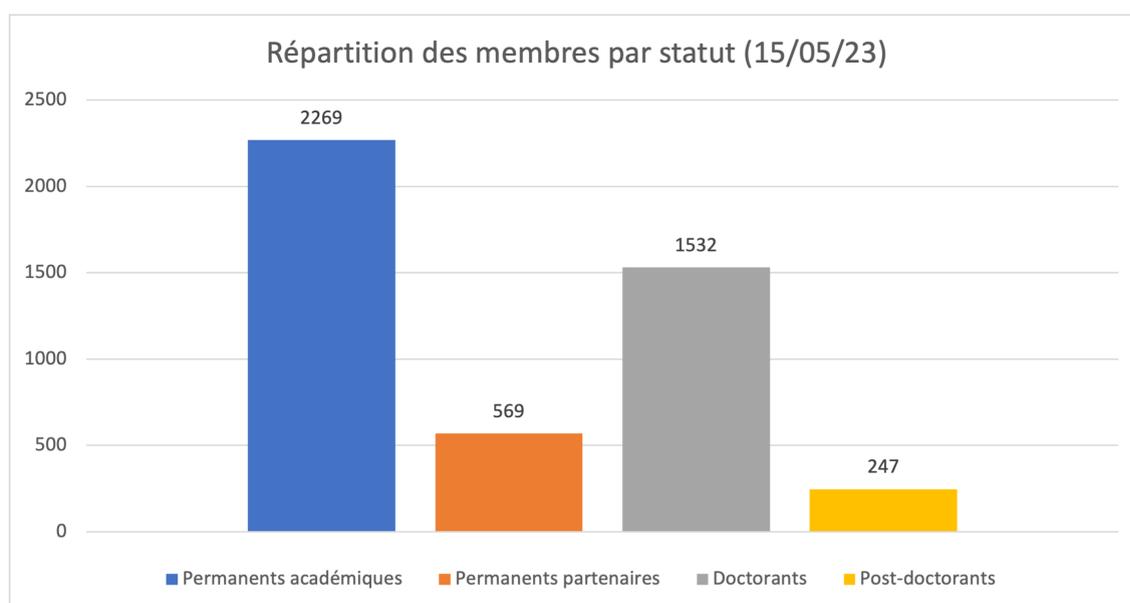
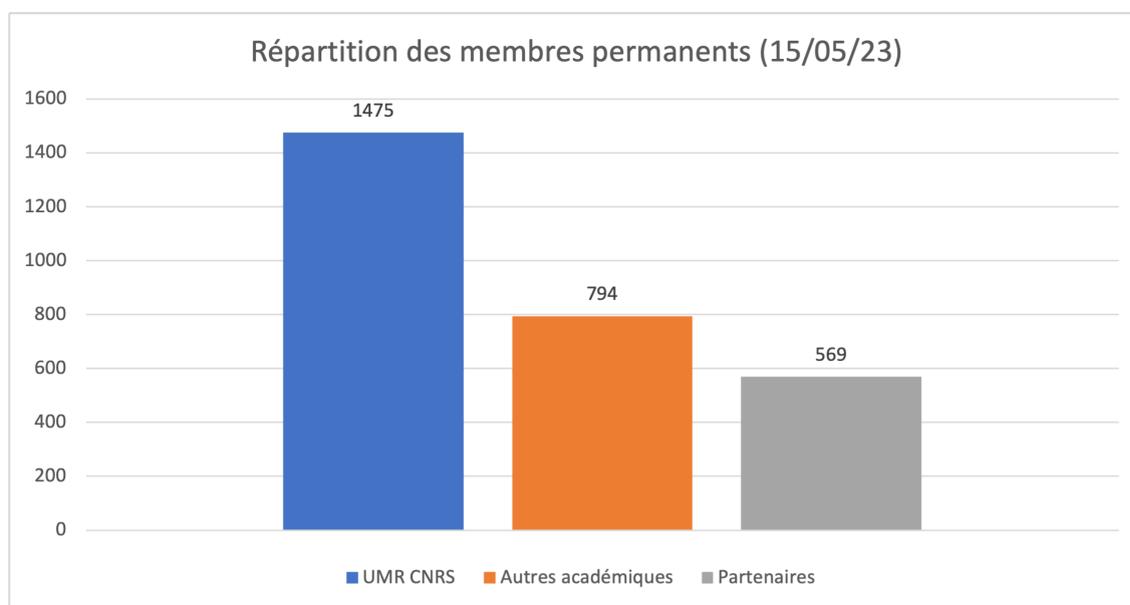
- Thème C : Adéquation algorithme architecture pour le TdSI
  - Christophe Jégo** (← 06/2021)  
PU61, IMS (UMR CNRS 5218), INP de Bordeaux, Université de Bordeaux
  - Jean-François Nezan**  
PU61, IETR (UMR CNRS 6164), INSA de Rennes
  - Virgine Fresse** (06/2021 →)  
MCF61, LHC (UMR CNRS 5516), Télécom St-Étienne
  - Matthieu Gautier** (01/2023 →)  
MCF61, IRISA (UMR CNRS 6074), Université de Rennes
- Thème D : Télécommunications – compression, protection, transmission
  - Chaker Larabi**  
MCF61, XLIM (UMR CNRS 7252), Université de Poitiers
  - William Puech** (← 06/2021)  
PU27, LIRMM (UMR CNRS 5506), Université de Montpellier
  - Patrick Bas** (06/2021 →)  
DR CNRS 07, CRISAL (UMR CNRS 9189), Villeneuve d'Ascq
  - Ghaya Rekaya-Ben Othman**  
PR, département Communications et Électronique, Télécom Paris
  - Maxime Guillaud**  
Huawei Technologies, Paris
  - Charly Poulliat** (01/2023 →)  
PU61, IRIT (UMR CNRS 5505), Université Toulouse
- Thème T : Apprentissage pour l'analyse du signal et des images
  - Christian Wolf**  
MCF HDR, LIRIS (UMR CNRS 5205), INSA de Lyon
  - Nicolas Thome**  
PU, CNAM, Paris
- Président du Club des Partenaires :
  - Daniel Duclos**  
SAGEM DS, Argenteuil
- Réseau des doctorants :
  - Audrey Giremus**  
PU61, IMS (UMR CNRS 5218), Université de Bordeaux
  - Barbara Nicolas**  
DR CNRS 07, CREATIS (UMR CNRS 5220), Lyon
  - Céline Meillier** (01/2023 →)  
MCF61, ICube (UMR CNRS 7357), Université Strasbourg
- Actions inter-GdRs, ouverture internationale :
  - Nelly Pustelnik**  
CR CNRS 07, Laboratoire de Physique (UMR CNRS 5672), ENS Lyon
  - David Rousseau** (01/2023 →)  
PU61, LARIS (EA 7513), Université Angers

- Responsable du système d'information :  
**Michel Jordan**  
Ingénieur de recherche, ETIS (UMR CNRS 8051), ENSEA
- Responsable administrative et gestion :  
**Véronick Locoste**  
Pôle de soutien aux unités, DR01

### 1.3.2 La communauté

Au 15 Mai 2023, le GdR ISIS compte 202 laboratoires inscrits et 19 partenaires industriels, représentant 4600 membres dont 2850 permanents. Pour rappel, il y a dix ans, le GdR ISIS comptait 135 laboratoires inscrits et 2200 membres dont 1500 permanents.





La répartition des laboratoires académiques montre que la grande majorité d'entre eux sont des UMR du CNRS mais que la proportion des équipes d'accueil des universités est importante. L'implication de l'INRIA n'est qu'en apparence faible puisque l'étude répertorie les centres INRIA est non leurs équipes projets. La répartition des membres permanents des UMR par institut du CNRS confirme que les thématiques du GdR ISIS sont au cœur de l'INS2I, mais que ces thématiques constituent des interfaces avec les autres instituts du CNRS, en tout premier lieu avec l'INSIS et l'INSMI. La répartition des membres permanents du GdR ISIS montre qu'ils sont majoritairement issus des UMR du CNRS, mais que les membres académiques ou issus du Club des Partenaires représentent chacun un quart de la communauté du GdR ISIS.

## 1.4 Fonctionnement externe

La communication du GdR ISIS s'effectue principalement par son site internet<sup>6</sup> où sont portés les annonces de réunions du GdR, les comptes rendus, et toute autre activité de la communauté. La liste de diffusion est utilisée pour annoncer les journées d'animation du GdR ISIS et les annonces des membres du Club des Partenaires. Le site internet a été refondu pour sa partie extranet en 2021. L'intranet sera remis à jour en 2023-24.

Afin d'assurer une participation large de la communauté scientifique aux réunions d'animation, le GdR ISIS finance, par laboratoire inscrit ou membre de droit au GdR ISIS, le déplacement d'un membre permanent et d'un doctorant par réunion d'animation, et ce en plus des déplacements des orateurs. Cette opportunité offerte aux laboratoires de recherche illustre la volonté de rassembler la communauté et de permettre un même accès aux réunions à tous les doctorants et collègues, quel que soit leur laboratoire ou équipe d'accueil. Ainsi les équipes éloignées géographiquement et disposant de peu de moyens financiers ne sont pas pénalisées.

Ce système a pu être mis en place et perdure grâce aux conventions signées avec les membres du Club des Partenaires du GdR ISIS ; voir §1.5. Il est important de définir précisément quels sont les laboratoires membres de droit et les laboratoires partenaires qui cotisent. Le GdR étant une structure CNRS, soutenue financièrement par le CNRS, tous les laboratoires ayant le CNRS pour tutelle sont membres de droit. Afin de conserver le rôle fédérateur du GdR ISIS, les équipes d'accueil des universités sont aussi membres de droit même si le GdR ISIS n'est plus soutenu financièrement par le MESR. Les laboratoires privés, les grands organismes et les industriels peuvent s'inscrire après la signature d'une convention s'accompagnant d'une cotisation.

## 1.5 Club des Partenaires

### Président :

- Daniel Duclos  
SAGEM SA

Le Club des Partenaires rassemble les acteurs industriels et des grands organismes publics autres que le CNRS, qui désirent participer à l'animation de la communauté nationale en traitement du signal, des images et de la vision. Lancé peu après la création du GdR ISIS, il vise essentiellement à offrir une meilleure connaissance mutuelle entre les univers académiques et industriels, et à dynamiser les relations et les transferts de technologie entre la recherche institutionnelle et les acteurs économiques. Son succès et sa pérennité en ont fait un modèle pour de nombreux GdRs.

Le Club des Partenaires comprend aujourd'hui les 19 membres suivants :

- Thales Alenia Space
- Thales Defense Mission Systems (DMS)
- Thales Land and Air Systems (LAS)
- Thales Research and Technology (R&T)

---

6. <http://gdr-isis.fr>

- Thales SIX GTS
- TotalEnergies
- SAFRAN
- Mitsubishi Electric R&D Centre Europe
- Orange Labs
- IDEMIA
- ISEP
- MBDA
- EDF R&D
- Huawei Technologies
- CNES
- CEA (DAM, LIST, LETI, ISAS)

Sur la première partie de contrat écoulée, malgré la grave crise traversée, tous les partenaires ont renouvelé leur convention. Ceci démontre une fois de plus l'intérêt porté par le monde industriel aux activités du GdR ISIS. Comme faits marquants, nous sommes heureux de mentionner que le Club des Partenaires s'est encore étoffé. En effet, les sociétés IDEMIA et TotalEnergies ont rejoint le Club des Partenaires et le CEA a relancé sa collaboration en intégrant cette fois quatre de ses centres : DAM, LIST, LETI et ISAS.

Le budget apporté par les partenaires du Club représente aujourd'hui 2/3 du budget du GdR ISIS. Il constitue donc une contribution indispensable sans laquelle le GdR ISIS ne pourrait réaliser ses missions d'animation à leur niveau actuel.

Les partenaires se sont régulièrement impliqués dans l'organisation ou l'animation des journées thématiques sur l'ensemble des thèmes et actions du GdR ISIS. Ces implications ont permis une meilleure connaissance mutuelle, un partage des problèmes d'actualité et des débats riches sur les solutions. Ces relations se sont souvent poursuivies par des contacts ou collaborations directes entre laboratoires et membres du Club.

Sur la période à venir, pour renforcer davantage encore les interfaces entre la recherche académique et la R&D privée, le Club des Partenaires poursuivra son soutien aux actions du GdR ISIS et sera encore force de propositions en termes de thématiques scientifiques et techniques. Il aura aussi à cœur de soutenir toute initiative, telle que les journées carrières destinées aux doctorants (voir §1.6.2), visant à promouvoir les métiers de la recherche publique ou privée et susciter des vocations dans le périmètre du GdR ISIS.

Le Club des Partenaires se félicite du dynamisme de la communauté et de la qualité de ses recherches dans les domaines du traitement du signal, des images et de la vision.

## 1.6 Réseau des doctorants

### Responsables :

- Audrey Giremus  
PU61, IMS (UMR CNRS 5218), Université Bordeaux

- Barbara Nicolas  
DR CNRS 07, CREATIS (UMR CNRS 5220), Lyon
- Céline Meillier (01/2023 →)  
MCF61, ICube (UMR CNRS 7357), Université Strasbourg

Les doctorants constituent un socle important de la communauté de recherche en traitement du signal, des images et de la vision. Conscient de cette force, durant la période 2019-2021, le GdR ISIS a continué à proposer des opérations à destination des doctorants malgré les difficultés dues à la pandémie de Covid. Celles-ci se sont intensifiées sur la période 2022-2023 pour retrouver un fonctionnement quasi nominal actuellement.

Plusieurs actions coexistent, allant de créneaux réservés pour les présentations des doctorants dans les journées d'animation scientifiques, à des dispositifs destinés exclusivement aux doctorants comme le soutien à la mobilité ou l'aide à la préparation de leur carrière.

### 1.6.1 Aide à la mobilité

Pour encourager les mobilités, le GdR ISIS soutient financièrement les missions inter laboratoires de doctorants, en France ou à l'étranger, respectivement à hauteur de 750 € et 1500 € pour des séjours supérieurs à un mois et au prorata de la durée sinon. Les demandes sont accompagnées d'un dossier mettant en avant l'intérêt de la collaboration et comportant également une lettre d'accord du directeur de thèse et du chercheur concerné dans le laboratoire d'accueil. Elles sont financées au fil de l'eau après étude des projets et en fonction des budgets disponibles.

Depuis Janvier 2019, 24 missions ont été acceptées et 19 financées. La répartition des demandes est de :

- 2019 : quatorze demandes
- 2020 : trois demandes (jusqu'en mars 2020)
- 2021 : aucune demande
- 2022 : sept demandes

Les 19 missions financées représentent une aide de 23 k€ pour un total de 43 mois. Les lieux de missions concernent la France (13%), l'Europe (58%), l'Amérique du Nord (21 %) et l'Asie (8 %). La durée des séjours varie entre 1 mois et 6 mois, avec une durée moyenne de 2 mois.

Compte tenu de la situation sanitaire passée, cinq missions qui avaient été acceptées n'ont pas pu avoir lieu. Par ailleurs, aucune demande n'a été formulée entre mars 2020 et janvier 2022. La sortie graduelle de la crise a connu un retour progressif à la normale de cette activité du réseau des doctorants à laquelle le GdR ISIS attache beaucoup d'importance. On peut noter que les missions de 2022 ont toutes eu lieu en Europe et qu'aucune demande concernant l'Asie ou l'Amérique du Nord n'a été faite ce qui montre qu'une situation normale n'est pas encore atteinte.

Au-delà de l'aide financière apportée, cette initiative présente un caractère fortement incitatif à la mobilité et à l'autonomie des jeunes chercheurs et contribue au rayonnement de la communauté.

### 1.6.2 Journées carrières

Concernant la présentation des métiers de la recherche et de l'enseignement supérieur, elle prend la forme d'une journée « Carrières en Signal, Image et Vision » biennale. Cette journée permet aux étudiants en thèse et aux post-doctorants de s'informer sur les métiers de la recherche dans les mondes académique et industriel. Pour cela, des représentants de différents comités institutionnels présentent les instituts et les processus pour y faire carrière. Le Club des Partenaires du GdR ISIS expose également les opportunités dans le secteur privé. Enfin, des jeunes docteurs venant d'EPIC, d'EPST et d'entreprises viennent témoigner de leur parcours et de leurs expériences professionnelles. Un temps d'échange entre les orateurs et les doctorants est également organisé pour permettre aux doctorants d'interagir de manière plus informelle avec les orateurs. Des informations sont également communiquées aux participants telles que les financements de stages post-doctoraux, des liens utiles, etc. Au cours du mandat, trois journées ont été organisées pour une centaine d'étudiants participant à chaque journée.

#### 1. journée « Carrières en Signal, Image et Vision » 2019

*Organisateur(s)* : A. Giremus (IMS), B. Nicolas (CREATIS), N. Dobigeon (IRIT).

*Date* : 7 mars 2019.

*Description* : Les personnes ayant pris part à l'animation de la journée sont :

##### **Carrières dans l'enseignement supérieur et la recherche**

- Thierry Divoux, président de la section 61 du CNU
- Céline Meillier, maître de conférences à l'Université de Strasbourg

##### **Carrières dans les EPST**

- Pierre-Olivier Amblard, président de la section 7 du CoNRS
- Marie Chavent, membre des jurys d'admissibilité de l'INRIA
- Maël Le Treust, chargé de recherche au CNRS
- Antoine Deleforge, chargé de recherche à l'INRIA

##### **Carrières dans les EPIC**

- Jean-Philippe Ovarlez, maître de recherche à l'ONERA
- Cédric Gouy-Pailler, ingénieur de recherche au CEA

##### **Carrières dans l'industrie**

- Daniel Duclos, responsable du Club des Partenaires
- Natalia Neverova, research scientist chez Facebook
- Paul Ferrand, ingénieur de recherche chez Huawei

#### 2. journée « Carrières en Signal, Image et Vision » 2021

*Organisateur(s)* : A. Giremus (IMS), B. Nicolas (CREATIS).

*Date* : 30 juin 2021.

*Description* : Les personnes ayant pris part à l'animation de la journée sont :

##### **Carrières dans l'enseignement supérieur et la recherche**

- Thierry Divoux, président de la section 61 du CNU
- Céline Meillier, maître de conférences à l'Université de Strasbourg

##### **Carrières dans les EPST**

- Pierre-Olivier Amblard, président de la section 7 du CoNRS
- Aline Roumy, membre des jurys d'admissibilité de l'INRIA
- Julien Flamant, chargé de recherche au CNRS
- Antoine Deleforge, chargé de recherche à INRIA

#### **Carrières dans les EPIC**

- Jean-Philippe Ovarlez, directeur de recherche à l'ONERA
- Valentin Serey, ingénieur de recherche au CEA
- Gwendoline Blanchet, ingénieure de recherche au CNRS

#### **Carrières dans l'industrie**

- Anthony Larue, expert chez Thalès
- Paul Ferrand, ingénieur de recherche chez Huawei

### **3. journée « Carrières en Signal, Image et Vision » 2023**

*Organisateur(s)* : C. Meillier (ICube), A. Giremus (IMS), B. Nicolas (CREATIS).

*Date* : 19 juin 2023.

*Description* : Les personnes impliquées dans l'animation de la journée sont :

#### **Carrières dans l'enseignement supérieur et la recherche**

- Thierry Divoux, président de la section 61 du CNU
- Odyssée Merveille, maître de conférences à l'INSA de Lyon

#### **Carrières dans les EPST**

- Inbar Fijalkow, présidente de la section 7 du CoNRS
- Paulo Gonçalves, directeur de recherche à INRIA
- Julien Flamant, chargé de recherche au CNRS
- Romain Michon, "Inria Starting Faculty Position" (ISFP) à INRIA

#### **Carrières dans les EPIC**

- Jean-Philippe Ovarlez, directeur de recherche à l'ONERA
- Marielle Malfante, ingénieure de recherche au CEA
- Virginie Amberg, ingénieure de recherche au CNES

#### **Carrières dans l'industrie**

- Anthony Larue, expert Thalès
- Nour Djidi, ingénieure Nokia
- Camille Chapdelaine, ingénieure de recherche SafranTech

En complément, en 2021/2022, le réseau des doctorants avait manifesté son souhait d'organiser une journée sur l'encadrement doctoral au sein de la communauté. Une telle proposition aurait permis de compléter avec une coloration thématique spécifique les dispositifs autour de l'encadrement doctoral proposés par les universités et les EPST (accompagnement de l'Autorisation à diriger une thèse (ADT)). Cette initiative n'a alors pas été retenue par l'INS2I.

Depuis, l'idée semble avoir mûri puisque des discussions sur ce sujet ont eu lieu lors des ateliers "GdR - Intégration des jeunes chercheuses et chercheurs" en lien avec l'INS2I en mars 2023. Parmi les pistes évoquées, une journée à l'attention des jeunes recrues pourrait traiter des thématiques suivantes : comment encadrer sa première thèse, comment concilier enseignement et recherche, ou encore comment construire un projet de recherche.

### 1.6.3 École d'été de Peyresq

Le GdR ISIS participe conjointement avec l'association GRETSI à l'organisation de l'École d'été de Peyresq en Traitement du Signal et des Images. Cette école annuelle réunit sur une semaine 45 participants. La présence des doctorants est largement majoritaire, et celle des jeunes chercheurs encouragée. Des industriels participent aussi régulièrement à cette école. Les récents thèmes de l'école ont été :

**2018** Signaux, images et science des données

*Directeur scientifique* : Rémi Gribonval (INRIA)

**2019** : Géométrie de l'information pour le traitement du signal et des images

*Directeurs scientifiques* : Guillaume Ginolhac (LISTIC), Nicolas Le Bihan (GIPSA-lab)

**2020** Traitement du signal et des images pour la co-conception de systèmes imageurs innovants : physique, mathématique, algorithmes (reporté en 2021)

*Directeurs scientifiques* : Laure Blanc-Féraud (I3S), Andrés Almansa (MAP5)

**2021** voir édition reportée de 2020

**2022** Enjeux méthodologiques et sociétaux de l'apprentissage profond

*Directeur scientifique* : Stéphane Canu (LITIS)

**2023** Réseaux et graphes complexes : théories et applications

*Directeurs scientifiques* : Pierre Borgnat (Lab. de Physique), Philippe Ciblat (LTCI)

### 1.6.4 Prix de thèse GRETSI/EEA/ISIS

Pour promouvoir la recherche, renforcer la visibilité et encourager les études doctorales, le GdR ISIS est associé à l'Association GRETSI et au Club EEA pour délivrer conjointement un Prix de Thèse distinguant des travaux originaux et novateurs. Les récents prix de thèse ont été décernés à :

**2018** Marwa Chafii

*Étude d'une nouvelle forme d'onde multiporteuses à PAPR réduit*

Cette thèse a été préparée à IETR Rennes, sous la direction de Jacques Palicot et Rémi Gribonval.

**2019** Tom Dupré La Tour

*Nonlinear Models for neurophysiological time series*

Cette thèse a été préparée au LTCI Télécom ParisTech, sous la direction de Yves Grenier et d'Alexandre Gramfort.

Un accessit a été attribué à Julien Flamant pour sa thèse intitulée :

*Une approche générique pour l'analyse et le filtrage des signaux bivariés*

au laboratoire CRISAL sous la direction de Pierre Chainais et Nicolas Le Bihan.

**2020** Xiaoyi Mai

*Methods of random matrices for large dimensional statistical learning*

Cette thèse a été préparée au L2S, sous la direction de Romain Couillet et de Walid Hachem.

**2021** Khac-Hoang Ngo

*Non-coherent wireless communications : fundamental limits and system design*

Cette thèse a été préparée à CentraleSupélec et Huawei Technologies France, sous la direction de Sheng Yang et Maxime Guillaud.

**2022** Vincent Le Guen

*Apprentissage profond pour la prévision spatio-temporelle. Application à l'énergie photovoltaïque*

Cette thèse a été réalisée dans le cadre d'une collaboration entre EDF R&D et laboratoire CEDRIC du CNAM sous la direction de Nicolas Thome.

Par l'ensemble de ces actions, le GdR ISIS entend affirmer un soutien fort aux docteurs du domaine.

## 1.7 Communication, actions inter-GdRs, ouverture internationale

**Responsable :**

- Nelly Pustelnik  
CR CNRS 07, Laboratoire de Physique (UMR CNRS 5672), ENS Lyon

**Communication** – Afin de communiquer les informations provenant du Club des Partenaires, mais également des sociétés savantes telles que le Club EEA, le GRETSI, AMIES, le Chapitre IEEE France ou encore l'Académie des Sciences, le GdR ISIS diffuse tous les six mois, par mail, à l'ensemble de ses membres, la « Gazette du GdR ISIS ». Elle regroupe les informations de la communauté (actualités, annonces, offres de postes, etc.). Chaque gazette est archivée sur l'intranet du GdR ISIS.

**Site internet** – Une refonte totale du site internet du GdR ISIS est en cours. Le nouvel extranet a été mis en fonction en juin 2021. Le développement de l'intranet est en cours, et sera mis en fonction au cours de l'année 2023-24.

**Inter-GdR** – Les thématiques du GdR ISIS sont à l'interface de plusieurs autres domaines scientifiques comme les mathématiques, la physique et l'informatique, avec des domaines d'application très variés. Il est ainsi naturellement en interaction régulière avec de nombreux autres GdRs avec lesquels il se coordonne pour l'organisation d'activités communes.

La création du Thème T sur l'apprentissage a permis de renforcer les liens avec le GdR Robotique, le GdR Sécurité Informatique, et le GdR IA autour du thème de recherche commun qu'est l'apprentissage machine.

D'autre part, chaque année le GdR ISIS et le GdR Ondes continuent d'organiser le rendez-vous incontournable des « Journées Imagerie Optique Non Conventionnelle » ainsi que les journées « Co-conception : capteurs hybrides et algorithmes pour des systèmes innovants » co-organisées avec les GdR Ondes et MIA.

**Cartographie des compétences** – Suite à une commande de l'INS2I, une cartographie des compétences de la communauté ISIS a été initiée. Après avoir consulté plusieurs sources d'information, et effectué plusieurs échanges avec l'ensemble du comité de direction, une liste de 62 mots-clés a été construite et transmise à l'INS2I et au Club des Partenaires.

Cette liste est constituée des principales méthodes et applications en traitement du signal et des images (TSI) et pourra évoluer au cours du temps.

Afin d'élaborer cette cartographie, tous les membres permanents du GdR ISIS ont été sollicités début 2023 afin de sélectionner les mots-clés ( $\leq 8$ ) de cette liste qui définissent leur expertise. A ce jour, environ 450 membres ont répondu à cette étude.

Les résultats au 15 mai 2023 sont présentés Figure 1. Ils permettent de visualiser les compétences méthodologiques ou applicatives de la communauté du GdR ISIS. Cette



visualisation permet par exemple de faire ressortir la proportion d'expert.e.s au sein du GdR ISIS pour un mot clé donné. Elle permet également de visualiser des mots-clés associés à chaque thème du GdR ISIS. Grâce à l'intranet, cette cartographie est également un moyen d'identifier des expert.e.s sur un domaine spécifique du TSI. Ce même outil pourrait également permettre d'identifier des bassins géographiques thématiques.

**International** – Suite à la demande de communautés étrangères, un format d'inscription spécial à destination des laboratoires étrangers (sans financement de déplacement) a été élaboré. Il leur permet d'apparaître comme partenaires du GdR ISIS et de recevoir toutes les informations par sa liste de diffusion. Le GdR ISIS travaille à étendre cette initiative, marginale pour le moment.

## 1.8 Appels à projets

Le GdR ISIS lance périodiquement des appels à projets afin de soutenir des travaux de recherche à fort caractère prospectif dans les domaines de l'information, du signal, de l'image et de la vision. Seuls les projets amont, en rupture avec les travaux connus dans le champ scientifique du projet, sont retenus. Les modalités de soumission se veulent volontairement légères et simples.

Un appel à projets a été diffusé en 2019. Sur 21 projets expertisés par un comité d'évaluation, neuf projets ont bénéficié d'un soutien de 7 k€ sur 24 mois. Les projets sélectionnés ont été les suivants :

- **Apprentissage profond à partir de représentations structurelles d'images**  
*Porteur* : Michael Clément (LABRI)
- **Représentation spatio-temporelle de la dynamique de la connectivité fonctionnelle en IRMf cérébrale**  
*Porteuse* : Céline Meillier (iCUBE)
- **Fine modelling in super resolution microscopy**  
*Porteur* : Pierre Weiss (IMT)
- **Géométrie relativiste et algèbre quantique pour la vision colorée**  
*Porteur* : Michel Berthier (MIA)
- **Masques de phases optimisés pour l'augmentation de profondeur de champ en microscopie de molécules uniques**  
*Porteuse* : Caroline Kulcsar (Laboratoire Charles Fabri)
- **Polarimetric phase retrieval: uniqueness and algorithms**  
*Porteur* : Julien Flamant (CRAN)
- **Régularisation de modèles génératifs adverses**  
*Porteur* : Arthur Leclaire (IMB)
- **Robustesse de l'Apprentissage Profond**  
*Porteur* : Vincent Gripon (Lab-STICC)
- **Signal detection via multiple testing and selective inference: theory, practice**  
*Porteur* : David Mary (Lagrange)

Un appel à projets a été diffusé en 2021. Sur treize projets expertisés par un comité d'évaluation, huit projets ont bénéficié d'un soutien de 7 k€ sur 24 mois. Les projets sélectionnés ont été les suivants :

- **Open platform for robust geometric classification of EEG**  
*Porteur* : Florent Bouchard (L2S)
- **Vers un IOT efficace et protégeant la confidentialité des données par le mariage de l'apprentissage fédéré et des technologies FPGA**  
*Porteur* : Mathieu Léonardon (Lab-STICC)
- **Vérification de l'intégrité des documents basée sur des extracteurs flous**  
*Porteuse* : Iuliia Tkachenko (LIRIS)
- **Vision Omni-HDR pour la localisation et cartographie visuelles en environnement à large gamme de radiance**  
*Porteur* : Guillaume Caron (JRL IRL)
- **Mocap from Moving Fisheye and Perspective Cameras Combination**  
*Porteuse* : Elisa Riccietti (LIP)
- **Réseaux génératifs et transport optimal pour la restauration d'images**  
*Porteur* : Moncef Hidane (LIFAT)
- **Sentinel time series super resolution**  
*Porteur* : Nicolas Audebert (CEDRIC)
- **Sparse & non-convex optimisation for learning of inverse image microscopy problems**  
*Porteur* : Luca Calatroni (I3S)

Enfin, un appel à projets est actuellement en cours pour 2023.

## 2 Présentation par thème

### 2.1 Thème A : Méthodes et modèles en traitement du signal et de l'image

#### Directeurs scientifiques adjoints :

- Rémy Boyer (→ 12/2020)  
PU61, CRIStAL (UMR CNRS 9189), Université de Lille
- François Desbouvries  
PU, SAMOVAR (UMR 5157), Telecom SudParis, Evry
- Nicolas Le Bihan  
DR CNRS 07, GIPSA-lab (UMR CNRS 5216), Grenoble
- Mohammed Nabil El Korso (01/2023 →)  
PU61, L2S (UMR CNRS 8506), CentraleSupélec, Paris Saclay
- Herwig Wendt (01/2023 →)  
CR CNRS 07, IRIT (UMR CNRS 5505), Toulouse
- Simon Barthelmé (01/2023 →)  
DR CNRS 07, GIPSA-lab (UMR CNRS 5216), Grenoble
- Cédric Herzet (01/2023 →)  
CR INRIA, Rennes

#### 2.1.1 Présentation générale

Les domaines de recherche couverts par le thème portent sur les questions théoriques et méthodologiques en traitement du signal et de l'image. Le thème est structuré par quatre axes qui définissent son périmètre scientifique :

- Données massives et grande dimension
- Signal et géométrie
- Modèles structurés et inversion
- Signal, image et apprentissage

Cette structuration est issue des discussions qui ont eu lieu lors de la dernière assemblée générale. L'animation scientifique autour de ces axes permet, au travers notamment des journées organisées, d'identifier les verrous méthodologiques rencontrés dans un large spectre applicatif.

#### 2.1.2 Axes fondamentaux

Le périmètre scientifique de chacun des axes est détaillé ci-après.

##### 1. Données massives et grande dimension

De nombreuses applications font face au double contexte des données massives et/ou de grande dimension, que ce soit dans le cadre de l'estimation de modèles à données latentes, pour la résolution de problèmes inverses ou plus largement pour

des tâches d'apprentissage statistique. Trois points ont été identifiés pour cet axe : la simulation (Monte Carlo) de modèles, l'optimisation et l'inférence statistique par la théorie des matrices aléatoires.

Dans le cas de la simulation Monte Carlo, le contexte de la grande dimension engendre un grand nombre de problèmes dans la conception d'algorithmes efficaces et rapides, qui sont nécessaires dans des tâches telles que l'inférence ou les problèmes inverses. En particulier, la taille des supports des lois, leur multimodalité ou la gestion des dépendances sont des questions clés lorsque la dimension augmente.

Pour ce qui concerne l'optimisation, certains algorithmes pâtissent fortement de la dimension et il est nécessaire de repenser ces méthodologies connues pour garantir leurs performances et conserver des vitesses de convergence raisonnables dans un contexte applicatif. En particulier, il reste beaucoup à faire dans le domaine de l'optimisation distribuée dans un contexte de grande dimension, que ce soit dans un cadre stochastique ou déterministe.

Enfin, la théorie des matrices aléatoires est un outil puissant permettant d'explorer de nouvelles techniques pour l'inférence statistique dans le régime doublement asymptotique (taille et nombre des échantillons tendant vers l'infini). En effet, dans ce régime, cette théorie permet de prédire finement le comportement de certains estimateurs centraux en traitement du signal et des images (par exemple pour la matrice de covariance empirique), autorisant ainsi à imaginer de nouveaux algorithmes efficaces, et à performances contrôlables, dans des tâches d'apprentissage ou d'estimation.

## 2. Signal et géométrie

Depuis plusieurs années, la communauté ISIS a développé une activité importante liée à la géométrie des espaces mis en jeu en traitement des données (espaces où vivent les données, espaces de représentation, etc.). Par exemple, ces recherches tentent de proposer des alternatives aux techniques d'algèbre linéaire classiques qui ne peuvent pas être définies lorsque les espaces considérés possèdent une courbure (variétés Riemanniennes par exemple). Parmi les thèmes actifs au sein du GdR, on compte la géométrie de l'information, l'inférence sur variétés et le traitement du signal sur graphe.

La géométrie de l'information se concentre sur la reformulation de problèmes de traitement du signal et des images où l'objet d'intérêt (signal, matrice de covariance, image, etc.) est vu comme un point dans un espace à courbure non-nulle. Il est alors nécessaire de repenser les outils standards du traitement du signal dans ces espaces courbes. Par exemple, la définition même de grandeurs telles que la moyenne ou la variance nécessite de faire appel à des outils de géométrie différentielle et d'optimisation. Ainsi, les algorithmes d'inférence statistique sur ces espaces non-linéaires nécessitent de définir une métrique appropriée afin de l'utiliser dans la modélisation, l'estimation ou tout autre tâche d'intérêt.

Pour ce qui est de l'inférence sur variétés, un objet central est encore la matrice de covariance, dont l'estimation pose encore beaucoup de questions dans certaines situations. Par exemple, pour l'estimation robuste avec peu d'échantillons, avoir recours à l'optimisation sur variétés peut permettre de mieux caractériser les performances d'estimation ou de détection, dans les applications radar notamment. Il reste encore des pistes à explorer pour l'extension de ces techniques inspirées par la géométrie dans l'inférence de matrices structurées (Toeplitz, Hankel, rang faible, etc.).

En traitement du signal sur graphe, les efforts récents de la communauté ont permis des avancées importantes et la dissémination dans plusieurs applications (neuroscience, trafic sur les réseaux sociaux, etc.). Il reste toutefois encore une phase d'homogénéisation (par exemple pour la définition des ondelettes sur graphe) de certains concepts. Les efforts de la communauté se concentrent sur des points tels que la dynamique de graphes, le passage à l'échelle ou les graphes hétérogènes. La promesse de nombreuses applications pourra nourrir les développements méthodologiques proposés par la communauté.

### 3. **Modèles structurés et inversion**

Cette thématique rassemble les verrous méthodologiques autour des problèmes d'algèbre linéaire et multi-linéaire, ainsi que des problèmes d'inférence qui y sont liés : décompositions canoniques structurées, modèles et décomposition tensorielles, acquisition compressée et représentations parcimonieuses.

Les décompositions structurées, telles que la NMF, ont montré leur efficacité dans plusieurs applications (vision par ordinateur, recommandation, etc.). Certains verrous théoriques restent à explorer sur la prise en compte de la phase dans les décompositions par exemple, la sélection automatique du rang de l'approximation, ou la factorisation jointe de données hétérogènes. De même, la réduction du temps de calcul et le passage à l'échelle (données en grande dimension) sont des points importants qui permettront la diffusion de ces décompositions dans les applications classiques de la communauté ISIS.

Pour ce qui est des représentations tensorielles, l'introduction récente de nouveaux modèles (trains de tenseurs, réseaux de tenseurs, tenseurs sur graphes) offrent de nouvelles possibilités en représentation de données de grande taille (big data, curse of dimensionality), fouille de données ou estimation de données manquantes. De nombreuses questions demeurent pour ces nouveaux modèles, comme l'unicité des décompositions ou l'identifiabilité, ainsi que la mise au point d'algorithmes efficaces permettant de calculer les décompositions de ces nouveaux objets.

Enfin, la notion de problème inverse est toujours centrale en traitement du signal et des images, et de nombreux résultats ont été obtenus récemment grâce à des approches comme la régularisation parcimonieuse, l'optimisation non-convexe ou l'utilisation de techniques provenant du traitement du signal sur graphe. Un enjeu pour ces méthodes récentes est l'obtention de nouveaux algorithmes à faible complexité afin de permettre le transfert de ces méthodologies vers le large spectre des applications de la communauté.

### 4. **Signal, image et apprentissage**

En complément de la création du Thème T au sein du GdR, le Thème A a choisi de consacrer un axe thématique dédié aux aspects méthodologiques de l'apprentissage statistique. Ce choix s'explique par l'engouement et l'implication, autant d'un point de vue applicatif que méthodologique, de la communauté pour l'apprentissage machine et l'intelligence artificielle. Trois axes dans lesquels les acteurs du GdR ISIS disposent de compétences spécifiques et peuvent ainsi contribuer à l'essor de ce thème, ont été identifiés : la robustesse et la confiance en la décision, les informations a priori, physiques et topologiques, ainsi que l'apprentissage de représentations.

La robustesse concerne la sensibilité des algorithmes d'apprentissage supervisés au mauvais étiquetage de certaines données de l'ensemble d'apprentissage. Ce type de

lacune influence fortement les résultats de décision. De même, la classification de données aberrantes reste un problème ouvert, rendant la prise de décision peu fiable. La compréhension formelle des réseaux profonds est affectée par cette incertitude sur les décisions, et appelle à se consacrer à ces questions importantes pour leur utilisation dans des applications critiques.

Dans leur utilisation standard, les réseaux de neurones profonds ne font pas systématiquement appel à des *a priori* sur les processus physiques qui ont généré les images ou les signaux analysés. La communauté ISIS a une longue expérience de la prise en compte de ce type d'information et peut s'en servir pour apporter des améliorations aux performances des algorithmes de classification par exemple. De même, la compréhension des mécanismes de décision en apprentissage pourrait permettre une analyse plus fine des signaux et images, que n'apportent pas systématiquement les approches classiques. Cette interaction avec la modélisation physique est un atout qui doit permettre à la communauté d'apporter une contribution à l'utilisation des algorithmes de décision basés sur l'apprentissage machine.

Enfin, une compétence/expérience également présente au sein du GdR ISIS est le choix de la représentation pour une tâche d'analyse ou de traitement de signaux ou images. Mettre à profit cette expérience pourra permettre également de pousser plus avant les résultats des algorithmes d'apprentissage automatique via un choix judicieux et contrôlé de représentation des données.

### 2.1.3 Activités sur la période écoulée

Une part essentielle de l'activité du Thème A concerne l'organisation et l'animation de journées scientifiques, à la fois sur les axes centraux du thème, mais également en collaboration avec les autres thèmes du GdR. Une attention particulière est portée aux thématiques émergentes, sans que soient négligées les compétences plus classiques qui constituent le socle commun de compétences de la communauté. En particulier, une activité importante a été menée durant le début du mandat autour du thème de l'apprentissage, en collaboration avec le Thème T.

Lors de la première partie du mandat, jusqu'à l'assemblée générale à mi-parcours en juin 2021, trois **actions** ont été menées :

- Transport optimal  
R. Flamary
- Simulation pour les problèmes de grande taille  
F. Septier, S. Le Corff
- Modélisation et optimisation à l'interface signal/apprentissage  
V. Emiya, C. Chaux, K. Usevich

À la suite de l'assemblée générale à mi-parcours en juin 2021, deux nouvelles **actions** ont été conduites :

- Apprentissage, simulation et modèles physiques (action commune avec le Thème T)  
Nicolas Thome, Christian Wolf
- Traitement du signal pour l'écoute artificielle et la synthèse sonore  
Mathieu Lagrange, Vincent Lostanlen, Thomas Hélie

Toutes ces actions ont conduit à l'organisation de journées comme rappelé plus loin.

## 1. Journées thématiques :

### 1. *Nouvelles méthodes tensorielles et applications*

*Organisateur(s)* : Henrique Goulart (IRIT), Sebastian Miron (CRAN), Rémy Boyer (CRIStAL).

*Date* : 17 juin 2019.

*Description* : Le traitement et l'analyse de données multidimensionnelles, massives, de fiabilité incertaine et à large diversité de mesures est un enjeu émergent tant scientifique que sociétal. L'algèbre tensorielle est un cadre scientifique bien établi dans la communauté permettant d'aborder ces problèmes pour une large éventail d'applications, grâce aux propriétés d'identifiabilité et d'approximation parcimonieuse des modèles tensoriels à rang réduit. Actuellement, il reste encore de nombreux défis à relever, tels que par exemple la réduction de tenseurs d'ordre élevé sous forme de réseaux/graphes, l'apprentissage des réseaux de neurones (superficiels et profonds) à l'aide des modèles tensoriels, la décomposition des tableaux multidimensionnels de données à valeurs discrètes (e.g., tenseurs binaires), le couplage des données multidimensionnelles et la super-résolution, la détection de rang et l'identifiabilité sous contraintes de non-négativité et/ou de parcimonie, le traitement des tenseurs de très grandes dimensions et/ou d'ordres élevés, etc. L'objectif de cette journée était de présenter les avancées récentes sur les problématiques sus-mentionnées, mais aussi de faire le point sur les nouvelles applications et les défis émergents en lien avec les tenseurs.

### 2. *Signal processing over graphs, with a focus on neuroscience data*

*Organisateur(s)* : Nicolas Tremblay (GIPSA-lab), Bastien Padeloup (Lab-STICC).

*Date* : 25 septembre 2019.

*Description* : Graphs are a central modeling tool for network-structured data. Depending on the application, the nodes of a graph may represent people in a social network, stations in a transportation network, web pages in the hyperlink network... basically any system made of interconnected sub-systems. Data on a graph, called graph signals, such as individual hobbies in a social network, or traffic at a given time in a transportation network, may typically be represented by a scalar per node. Processing these signals while taking into account the irregular structure on which they are defined is the goal of the young research field of Graph Signal Processing (GSP). An important application of GSP is neuroscience data, where graphs are an essential modelisation tool of the brain at various scales of description. Also, the versatility of graphs made them popular for the processing (and even the joint processing) of many different types of brain signals : EEG, MEG, functional MRI, diffusion MRI...

The objective of this conference day was two-fold :

- A methodological perspective on recent advances in Graph Signal Processing with a focus on filtering, sampling, transforms, graph topology inference, higher-order graphs, dynamic signals and/or dynamic graphs.
- Graphs for neuroscience data, with an attention to cross-fertilization of ideas from different scientific communities such as neuroscience, network science and signal processing. The questions that were addressed are how are graphs used today in neuroscience data processing, what are the needs in terms of methodological development, how can GSP bring new perspectives.

### 3. *Décompositions tensorielles*

*Organisateur(s)* : David Brie (CRAN), Rémy Boyer (CRISAL).

*Date* : 27 mai 2020.

*Description* : Les décompositions tensorielles sont des outils adaptés à la représentation et à l'analyse des données multidimensionnelles. Elles trouvent de nombreuses applications en traitement du signal et de l'image ainsi qu'en apprentissage statistique et offrent un cadre théorique pertinent pour le développement de techniques génériques de traitement de données en grande dimension, assorties de garanties théoriques et fournissant des résultats aisément interprétables.

Cette journée a permis de présenter des avancées récentes dans le développement de méthodes tensorielles pour l'apprentissage, la fusion de données, l'approximation de fonctions non-linéaires, etc.

### 4. *Géométrie différentielle et estimation sur variétés*

*Organisateur(s)* : Audrey Giremus (IMS), Arnaud Breloy (LEME).

*Date* : 10 juillet 2020.

*Description* : Depuis une dizaine d'années, la géométrie différentielle au sens large (englobant par exemple la géométrie riemannienne, la théorie des groupes de Lie, la géométrie de l'information, ...) suscite un intérêt grandissant dans la communauté du traitement des signaux et des images. Considérer les données comme des points appartenant à des variétés offre en effet une manière élégante et efficace de tenir compte de leur structure pour résoudre des problèmes d'estimation ou de classification. Ce point de vue a permis d'analyser et traiter de nombreux problèmes fondamentaux (ACP en ligne, apprentissage de dictionnaires, factorisation de tenseurs, etc.) ainsi que de proposer des modèles naturels pour des défis applicatifs variés (interfaces cerveau ordinateur, radar spatio-temporel, robotique et vision, imagerie médicale, statistique des formes, etc.).

Cette réunion a permis de diffuser plus largement ces outils au travers de la présentation d'exposés tutoriels, ainsi que de récents travaux dans le domaine abordant différents sujets tels que : le filtrage et l'analyse statistique sur variétés, la résolution de problèmes d'optimisation ou le choix de métriques adaptées et le calcul de bornes d'erreurs d'estimation. Différentes applications ont été présentées, illustrant l'intérêt de recourir à ce type d'approches.

### 5. *Reproductibilité de la recherche en traitement du signal*

*Organisateur(s)* : Mathieu Lagrange (LS2N), Vincent Lostanlen (LS2N), Slim Essid (LTCl).

*Date* : 22 septembre 2021.

*Description* : Le processus d'expérimentation scientifique repose, pour une part croissante, sur les sciences de l'information. En particulier, les outils du traitement du signal et des images (TSI) ont joué une place essentielle dans nombre de découvertes récentes en physique : la détection des ondes gravitationnelles et l'observation des trous noirs par exemple. Par ailleurs, les progrès récents de certaines technologies numériques, telles que la neuro-imagerie fonctionnelle et la classification de sons, reposent sur un socle logiciel de plus en plus sophistiqué.

Or, chacune de ces applications du TSI n'est pas le résultat d'un seul algorithme, mais du travail conjoint d'une sous-communauté de recherche spécialisée. Qu'il s'agisse d'astrophysique ou de bio-acoustique, le processus d'innovation reste sensiblement le même : la communauté se dote de bases de données massives, de métriques de performance, et d'un environnement logiciel commun. Partant, dif-

férents groupes de recherche ouvrent pour améliorer peu à peu l'état de l'art. Par exemple, l'essor renouvelé des réseaux de neurones profonds au cours de la décennie 2010–2020 a été rendu possible grâce à de nouvelles bases (e.g., ImageNet, AudioSet), "challenges" (e.g., ILSVRC, DCASE), ou encore bibliothèques de calcul (e.g., TensorFlow, PyTorch).

Dans ce contexte, la reproductibilité des expérimentations revêt une importance cruciale. D'abord, quand on aborde un problème nouveau, il est utile de se référer à un système de base dont les propriétés théoriques sont bien comprises : ce système de base doit être librement accessible à toutes et tous. Ensuite, c'est en reproduisant des résultats classiques en traitement du signal (et, plus généralement, en sciences de l'information) que nos étudiant-e-s peuvent s'exercer aux bonnes pratiques de l'expérimentation. Enfin, le développement logiciel en communauté plutôt qu'en silo permet, à moindre coût, d'identifier plus vite les bogues, de tenir à jour la documentation, et d'ajouter de nouvelles fonctionnalités en fonction de la demande.

Néanmoins, l'exigence de reproductibilité de la recherche va au-delà d'une simple liste de bonnes pratiques, telles que le contrôle de version ou le recours à des tests unitaires. Dans son travail sur les "systèmes d'information intègres" (trustworthy information systems), Cynthia Liem a notamment montré que les meilleurs réseaux de neurones pour la classification de musique sont loin d'avoir une "oreille musicale" : bien plutôt, ces modèles s'attachent à des détails imperceptibles dans les enregistrements sonores tout en restant insensibles à des transformations qui, pourtant, sont musicalement significatives.

La reproductibilité d'une expérience est d'autant plus délicate quand l'acquisition de données est coûteuse, comme en neurosciences par exemple. Afin d'accélérer l'adoption de données ouvertes, il est donc important d'intégrer des routines logicielles de chargement et de mise en forme de ces données aux outils de transformation et d'apprentissage statistique. C'est ce qu'a proposé Alexandre Gramfort avec les bibliothèques scikit-learn ainsi qu'avec le projet "Rapid Analytics and Model Prototyping" (RAMP).

Par ailleurs, la recherche en traitement du signal opère souvent sur des données fortement structurées : c'est notamment le cas d'une partition musicale ou d'une progression d'accords. Pour garantir la reproductibilité des expériences, il faut que cette structure riche soit préservée dans les prédictions de la machine et qu'elle soit interprétable par l'humain. Le travail de Brian McFee sur le format JAMS traduit ce souci de structuration et d'interopérabilité logicielle.

Enfin, la définition de métriques d'évaluation pertinentes demande une attention particulière. En effet, c'est à partir de ces métriques que la communauté scientifique concernée décide de ses futures orientations et évalue la pertinence de ses propositions. Annamaria Mesaros, qui notamment organise le challenge "Detection and Classification of Acoustic Scenes and Events" (DCASE) depuis 2016, possède une longue expérience de ces questions d'évaluation et d'éditorialisation de la recherche appliquée. Elle a notamment développé la bibliothèque logiciel qui est aujourd'hui le standard de facto pour évaluer les performances d'un détecteur d'événements sonores.

## 6. *Statistical learning with missing values*

*Organisateur(s)* : Mohammed Nabil El Korso (L2S), Yajing Yan (LISTIC), Jean-Yves Tournet (IRIT).

*Date* : 26 novembre 2021.

*Description* : The term "Missing data" is used when some variables of an observed vector are absent, raising challenging problems in signal and image processing, e.g., involving estimation theory, detection and classification. Handling missing data is a pitfall in statistical signal processing, machine learning and data analysis. To name a few applications where missing data has drawn significant attention, we can cite biomedical studies, chemometrics or remote sensing where missing values created by poor atmospheric conditions or sensor failure can dramatically hinder the understanding of the physical phenomenon under observation. This workshop addressed recent advances and new challenges in the processing and analysis of signals or images affected by missing data. These approaches included likelihood-based approaches, Bayesian and multiple imputation approaches, inverse-probability weighting, pattern-mixture models, sensitivity analysis and approaches under nonignorable missingness, computational tools such as the Expectation-Maximization algorithm and the Gibbs sampler, etc.

### 7. *Avancées récentes en analyse temps-fréquence*

*Organisateur(s)* : Julien Flamant (CRAN), Thomas Oberlin (ISAE-SUPAERO).

*Date* : 31 mars 2022.

*Description* : L'analyse temps-fréquence est dotée d'une riche histoire depuis ses premiers développements au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, à l'interface du traitement du signal et de l'analyse harmonique. Les représentations temps-fréquences comme le spectrogramme sont utilisées en routine dans d'innombrables applications, allant de l'astronomie gravitationnelle au traitement de signaux audio, en passant par l'EEG ou la surveillance de machines tournantes. Le but de cette journée était de faire un tour d'horizon des récentes avancées méthodologiques du domaine, ainsi que des nouveaux champs applicatifs. Sur le plan méthodologique, on peut citer, parmi les avancées récentes, le développement de nouvelles approches de segmentation du spectrogramme par l'exploitation de la structure de ses zéros (par triangulation ou par l'étude de processus ponctuels associés), mais aussi les approches dites de synchrosqueezing et nouvelles formes de réallocation permettant l'extraction de modes AM-FM, ou encore les extensions des représentations temps-fréquence classiques telles que le spectrogramme pour les signaux bi- ou multivariés. Sur le plan des applications, on a vu ces dernières années émerger de nombreux travaux qui exploitent l'extraction des lignes de fréquence instantanées (ridges), ou bien les décompositions adaptatives données par des segmentations temps-fréquence. Ces décompositions s'avèrent adaptées pour de très nombreuses séries temporelles non-stationnaires. Les domaines d'applications incluent l'acoustique, la géophysique, l'audio et la parole, ou bien encore le radar.

### 8. *Méthodes en traitement du signal pour l'écoute artificielle*

*Organisateur(s)* : Mathieu Lagrange (LS2N), Thomas Hélie (IRCAM), Vincent Lostanlen (LS2N).

*Date* : 12 mai 2022.

*Description* : Dans le cadre de l'action "Traitement du signal pour l'écoute artificielle", une première journée "Méthodes" a été organisée, animée autour d'Irène Waldspurger, Emmanuel Amiot, Bruno Torrèsani, et Roland Badeau.

### 9. *Signal et imagerie acoustique*

*Organisateur(s)* : Sébastien Bourguignon (LS2N), Barbara Nicolas (CREATIS).

*Date* : 21 juin 2022.

*Description* : L'acquisition et l'exploitation de données acoustiques est au cœur

d'applications variées : échographie médicale, évaluation et contrôle non destructifs de matériaux, sismique, océanographie, etc. Si les modalités de mesure et les pratiques d'analyse associées diffèrent sensiblement d'une communauté scientifique à l'autre, elles partagent également de nombreuses similitudes. Outre la nature même des données, les problématiques liées à la formation d'image, au débruitage et aux problèmes inverses tiennent une place importante dans ces domaines. L'émergence de dispositifs de mesure toujours plus puissants s'accompagne également d'évolutions nécessaires dans les méthodes de traitement. L'acquisition et l'analyse de données multi-capteurs et multi-fréquences, l'imagerie 3D et les contraintes d'imagerie en temps réel, l'émergence de méthodes d'apprentissage automatique en sont quelques exemples. L'objectif de cette journée a été de rassembler les acteurs de l'imagerie acoustique appliquée dans ces domaines afin d'améliorer leur fertilisation croisée.

#### 10. *Échantillonnage avec dépendance négative*

*Organisateur(s)* : Rémi Bardenet (CRISAL), Simon Barthelmé (GIPSA-lab).

*Date* : 16 septembre 2022.

*Description* : L'échantillonnage à dépendance négative consiste à sélectionner des objets "avec répulsion", c'est-à-dire en évitant d'inclure des objets trop similaires entre eux. Il peut s'appliquer à l'intégration numérique, à l'interpolation, à la discrétisation de signaux, au design d'expériences, etc. L'objectif de cette journée était de faire le point sur les progrès récents en échantillonnage répulsif dans différents champs voisins du traitement du signal.

#### 11. *Traitement du signal pour la voix*

*Organisateur(s)* : Mathieu Lagrange (LS2N), Thomas Hélie (IRCAM), Vincent Lostanlen (LS2N).

*Date* : 20 octobre 2022.

*Description* : Cette journée a été organisée dans le cadre de l'action "Traitement du signal pour l'audio et l'écoute artificielle", sur le thème de la Voix. Elle a été animée par les orateurs suivants : Yves Laprie (LORIA), Thomas Hueber (GIPSA-lab), Nathalie Henrich Bernadoni (GIPSA-lab), Axel Roebel (IRCAM).

### 2. Journées inter-thèmes et inter-GdR :

#### 1. *Radioastronomie dans la perspective de SKA*

*Organisateur(s)* : André Ferrari (Lagrange), Jean-François Nezan (IETR), Rémy Boyer (CRISAL).

*Date* : 27 Novembre 2018.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème C**

#### 2. *Images et data : méthodes d'analyse et modélisation pour l'agriculture numérique*

*Organisateur(s)* : Adel Hafiane (INSA), Christelle Gée (Agroécologie), Raphaël Canals (PRISME), Paul-Henry Cournède (MICS).

*Date* : 14 mars 2019.

*Description* : Réunion co-organisée avec les **Thèmes B et T**

#### 3. *Transport optimal en apprentissage statistique et traitement du signal*

*Organisateur(s)* : Rémi Flamary (Lagrange), Nicolas Courty (IRISA), Alain Rakotomamonjy (LITIS), N. Papadakis (IMB).

*Date* : 9 juillet 2019.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

Le transport optimal (TO) et la distance de Wasserstein qui lui est associée sont devenus au cours des dernières années des outils très utilisés en apprentissage statistique et en traitement du signal. Ils ont été utilisés avec succès en apprentissage supervisé, apprentissage non-supervisé et apprentissage de modèle génératifs (Wasserstein GAN) avec des applications en adaptation de domaine ou apprentissage de dictionnaire. Les distances basées TO ont en effet la capacité d'intégrer la géométrie intrinsèque des données et peuvent encoder cette information lors d'un calcul de similarité. Le développement récent de méthodes de régularisation entropique du plan de transport a amené de nouveaux algorithmes efficaces et la possibilité de s'intégrer dans les algorithmes d'apprentissage à base de programmation différentiable. Cette journée a été l'occasion de faire un état des lieux sur les travaux en cours sur ces problèmes fondamentaux.

#### 4. *Théorie du deep learning*

*Organisateur(s)* : C. Chaux (I2M), V. Emiya (LIS), F. Malgouyres (IMT), N. Thome (CNAM), K. Usevich (CRAN).

*Date* : 17 octobre 2019.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

#### 5. *Apprentissage profond et modèles génératifs pour modéliser l'incertitude des données – 1<sup>ère</sup> journée*

*Organisateur(s)* : F. Septier (LMBA), S. Le Corff (SAMOVAR).

*Date* : 11 mai 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

#### 6. *Covariance matrix advances for machine learning*

*Organisateur(s)* : G. Ginolhac (LISTIC), R. Couillet (GIPSA-lab).

*Date* : 8 décembre 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

The estimation of covariance or correlation matrices is an old problem, very simply posed, but fundamental in many scientific fields. Research on this topic is still very active and continues to progress, in particular by raising the issue of covariance estimation for asymptotically large (or, alternatively, very few) data. This GdR day aimed to share these new advances and more particularly those arising from two specific domains : random matrix theory and differential geometry. In particular, the presentations focused on the on-line estimation of statistical parameters of non-Gaussian distributions as well as on recent breakthroughs in random matrix theory for theoretical and applied statistical machine learning.

#### 7. *Apprentissage profond et modèles génératifs pour modéliser l'incertitude des données – 2<sup>e</sup> journée*

*Organisateur(s)* : S. Le Corff (SAMOVAR), F. Septier (LMBA).

*Date* : 17 mai 2021.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

#### 8. *Traitement du signal et applications quantiques*

*Organisateur(s)* : Mathieu Thevenin (CEA), Xavier Geoffret (ATOS), Gaetan Rubez (ATOS), Yannick Deville (IRAP).

*Date* : 22 juin 2021.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème C**

**9. Théorie du deep learning**

*Organisateur(s)* : Caroline Chaux (I2M), Valentin Emiya (LIS), François Malgouyres (IMT), Nicolas Thome (CNAM), Konstantin Usevich (CRAN).

*Date* : 28 juin 2021.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

**10. Transport optimal et apprentissage statistique**

*Organisateur(s)* : Thibault Séjourné (DMA ENS), Kilian Fatras (IRISA), Rémi Flamary (CMAP), Nicolas Courty (IRISA), Gabriel Peyré (DMA ENS).

*Date* : 18 novembre 2021.

*Description* : Réunion co-organisée avec les **GdR MIA et Thème T**

Le Transport Optimal a suscité beaucoup d'intérêt dans la communauté de l'apprentissage statistique. Ses capacités inhérentes de comparaisons des mesures de probabilités étant à présent utilisées dans beaucoup de domaines tels que la classification, la génération de données ou encore la robustesse adverse. Récemment, le transport optimal a trouvé une vive application dans les flots génératifs, les données manquantes ou les graphes grâce à des variantes d'intérêts. Cette réunion du GDR ISIS en partenariat avec le GDR MIA avait pour but de présenter les dernières avancées sur le transport optimal, sa théorie, ses variantes (transport non balancé, distance de Gromov-Wasserstein, etc.) et ses applications (modèles génératifs, graphes, etc.).

**11. Recent advances in graph machine learning**

*Organisateur(s)* : Edouard Oyallon (ISIR), Nicolas Keriven (GIPSA-lab).

*Date* : 8 mars 2022.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

Machine Learning on graphs, and more generally non-euclidean structured data, has recently emerged as a primary citizen of the machine learning world, with many applications in community detection, recommender systems, natural language processing, molecule classification, protein interface prediction, quantum chemistry, epidemiology, combinatorial optimization to cite a few. In particular, deep models such as Graph Neural Networks have become very popular tools, with their successes, limitations, and a plethora of open questions. This workshop aimed to bring together researchers and students to discuss recent advances in Graph Machine Learning, both theoretical and practical.

**12. Signal and image processing in neuroscience**

*Organisateur(s)* : Régine Le Bouquin Jeannès (LTSI), Radu Randa (CRAN).

*Date* : 12 mai 2022.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème B**

**13. Generative models : control and (mis)usage**

*Organisateur(s)* : Hervé Le Borgne (CEA), Alexandre Benoit (LISTIC), Nicolas Audebert (CNAM).

*Date* : 31 mai 2022.

*Description* : Réunion co-organisée avec les **Thèmes B et T**

Since the advent of generative adversarial networks (Goodfellow et al., 2014) and variational autoencoders (Kingma and Welling, 2014), many neural architectures have been proposed to improve data-driven image synthesis. Once the most recent models are learned from a dataset, sampling randomly in their latent space usually produces images with a striking realism. Beyond the increasing quality of

the resulting images, the models also proposed more disentangled representation, that allows a deeper interpretation of their internal structure. In particular, some works showed that controlling latent codes along a certain path in their latent space can result in variations of the semantic attributes in the corresponding generated images.

Such an ability to semantically edit images is useful for various real-world tasks, including artistic visualization, design, photo enhancement, inpainting and retouching, film post-production and targeted data augmentation. These works also have a theoretical interest to better understand the internal structure of the models as well as the learning procedure.

This meeting aimed to bring together researchers and students to discuss recent theoretical and practical advances in generative models.

#### 14. *Diagnostic et pronostic des systèmes industriels*

*Organisateur(s)* : Claude Delpha (L2S), Raphael Romary (LSEE), Moussa Boukhnifer (LCOMS).

*Date* : 2 juin 2022.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **GdR SEEDS**

De nos jours, les systèmes industriels ont des caractéristiques de plus en plus exigeantes pour satisfaire à des critères de sûreté de fonctionnement de plus en plus strictes (fiabilité, maintenabilité, sécurité, etc.). Dans ce cadre, la détection et le diagnostic de défauts (ou anomalies) est une étape déterminante pour limiter les pertes économiques mais également les événements tragiques conséquents à la présence d'un défaut non détecté ou mal estimé, mal identifié/localisé voir même encore dont la prédiction de l'évolution est inadéquate (pronostic). Par exemple, les secteurs du transport, de la production et la gestion de l'énergie, des communications, etc., restent très attentifs à des solutions proposés dans ce domaine (diagnostic de machines électriques, de convertisseurs, de batteries, de panneaux photovoltaïques, de systèmes éolien/hydrolien, de roulements, de contacts, composants électroniques, de câbles, etc.). Dans ce cadre, de nombreux travaux sont développés dans le domaine du diagnostic et même du pronostic par les communautés scientifiques différentes, soit sur des aspects méthodologiques (traitement de l'information, signal et image), soit au travers des applications spécifiques en fonction du secteur d'application dominant (électricité, électronique, mécanique, etc.). Le point commun de tous ces acteurs est qu'ils développent, mettent en œuvres des outils de traitement du signal et des images, des outils statistiques ou de Machine Learning pour proposer des solutions de diagnostic/pronostic efficaces, robustes et fiables. Par exemple, un des challenges scientifiques important est de proposer des solutions pour la détection et l'identification des défauts le plus tôt possible (alors que son effet sur le système est très faible et sans conséquence majeure) permettant de mettre en place des solutions suivi (monitoring) et de maintenance conditionnelles en fonction de son évolution.

#### 15. *Apprentissage et modélisation physique*

*Organisateur(s)* : Nicolas Thome (CNAM), Christian Wolf (Naver Labs), Martijn Van Den Ende (Lagrange).

*Date* : 2 juin 2022.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

### 3. Actions du thème :

Le programme d'animation scientifique a été conçu à partir d'actions fixant la politique scientifique du Thème A. Ces actions ont été définies en début de mandat, puis complétées à mi-mandat comme décrit ci-après. Nous rappelons que la structuration en actions laisse évidemment la possibilité d'organiser des journées en dehors de celles-ci selon les demandes de la communauté.

#### 1. Action *Transport Optimal*

*Animateur(s)* : Rémi Flamary (Lagrange).

*Activités menées* : Le transport optimal a été formulé par Gaspard Monge au 18ème siècle et a connu de grandes avancées théoriques, notamment médiatisées par les travaux de Cédric Villani. Il s'agit d'optimiser le coût de transport depuis un ensemble de sources vers des consommateurs. Ce problème très ancien a connu plusieurs révolutions successives. Très récemment, le transport optimal et les distances associées connues sous le nom d'EMD (pour Earth Mover's Distance) dans la communauté de la vision par ordinateur, ont connu un essor certain avec les méthodes de régularisation, notamment entropique, du plan de transport, permettant de calculer rapidement des plans de transports *lissés* pour des données de grandes dimensions. Dès lors, ils tendent à devenir des outils standards pour le traitement de données et on peut maintenant anticiper le fait que ces techniques joueront prochainement un rôle important dans la résolution de problèmes inverses difficiles en imagerie (petite dimension) mais aussi en Machine Learning (grande dimension). Plusieurs verrous subsistent néanmoins, dont la communauté du GdR ISIS peut se saisir.

Deux journées thématiques ont été organisées dans le cadre de cette action durant son mandat.

##### **Transport optimal en apprentissage statistique et traitement du signal**

*Organisateur(s)* : Rémi Flamary (Lagrange), Nicolas Courty (IRISA), Alain Rakotomamonjy (LITIS), N. Papadakis (IMB)

*Date* : 9 juillet 2019

##### **Transport optimal et apprentissage statistique**

*Organisateur(s)* : Thibault Séjourné (DMA ENS), Kilian Fatras (IRISA), Rémi Flamary (CMAP), Nicolas Courty (IRISA), Gabriel Peyré (DMA ENS)

*Date* : 18 novembre 2021

#### 2. Action *Simulation pour les problèmes de grande taille*

*Animateur(s)* : François Septier (LMBA) et Sylvain Le Corff (SAMOVAR).

*Activités menées* : L'objectif de cette action est de développer de nouvelles méthodologies permettant de résoudre les problèmes posés par l'analyse de grands jeux de données et de données de très grande dimension. L'un des enjeux majeurs est la mise en place d'algorithmes permettant une exploration efficace de l'espace d'état dont la vitesse de convergence peut être contrôlée en fonction de la dimension du problème considéré. L'organisation de journées thématiques dédiées aux méthodes de Monte Carlo, aux algorithmes stochastiques ainsi qu'à l'optimisation numérique favorisera les interactions et les collaborations entre chercheurs afin d'améliorer la maîtrise des coûts nécessaires à l'étude de systèmes dynamiques complexes. L'un des enjeux majeurs est la mise en place d'algorithmes permettant une exploration efficace de l'espace d'état dont la vitesse de convergence peut être contrôlée en fonction de la dimension du problème considéré.

Trois journées thématiques ont été organisées dans le cadre de cette action durant son mandat.

**Apprentissage profond et modèles génératifs pour modéliser l'incertitude des données – 1<sup>ère</sup> journée**

*Organisateur(s)* : F. Septier (LMBA), S. Le Corff (SAMOVAR)

*Date* : 11 mai 2020

**Apprentissage profond et modèles génératifs pour modéliser l'incertitude des données – 2<sup>e</sup> journée**

*Organisateur(s)* : S. Le Corff (SAMOVAR), F. Septier (LMBA)

*Date* : 17 mai 2021

**Generative models : control and (mis)usage**

*Organisateur(s)* : Hervé Le Borgne (CEA), Alexandre Benoit (LISTIC), Nicolas Audebert (CNAM)

*Date* : 31 mai 2022

**3. Action Modélisation et optimisation à l'interface signal/apprentissage**

*Animateur(s)* : Valentin Emiya (LIF, Marseille), Caroline Chauv (I2M, Marseille), Konstantin Usevich (CRAN, Nancy).

*Activités menées* : Le traitement du signal et l'apprentissage ont en commun un grand nombre de fondamentaux, dont des modèles et méthodes d'optimisation. Les objectifs scientifiques de cette action sont de dégager ces objets d'intérêt pour les deux disciplines, de faire ressortir leurs points de convergence, au-delà des différences de formalisme; de s'intéresser aux contextes et histoires respectifs; de confronter l'originalité des développements dans chaque discipline. Cet espace de rencontre entre les deux communautés signal/apprentissage favorise en particulier l'émergence de travaux à l'interface des deux disciplines et permet à la communauté du traitement du signal de se positionner scientifiquement par rapport aux avancées en apprentissage automatique. L'action est portée également par le Thème T compte tenu des thèmes d'interface tels que l'optimisation, les modélisations statistiques, la factorisation de matrices et tenseurs, le traitement de séquences spatio-temporelles

Deux journées thématiques ont été organisées dans le cadre de cette action durant son mandat.

**Théorie du deep learning**

*Organisateur(s)* : C. Chauv (I2M), V. Emiya (LIS), F. Malgouyres (IMT), N. Thome (CNAM), K. Usevich (CRAN)

*Date* : 17 octobre 2019

**Théorie du deep learning**

*Organisateur(s)* : Caroline Chauv (I2M), Valentin Emiya (LIS), François Malgouyres (IMT), Nicolas Thome (CNAM), Konstantin Usevich (CRAN)

*Date* : 28 juin 2021

**4. Action Apprentissage, simulation et modèles physiques (06/2021 →)**

*Animateur(s)* : Nicolas Thome (CNAM), Christian Wolf (Naver Labs).

*Activités menées* : Action co-animée avec le **Thème T**

Les méthodes d'apprentissage informées par la physique visent à produire des approximateurs universels qui peuvent intégrer la connaissance de toute loi physique régissant un ensemble de données au cours du processus d'entraînement, et qui peuvent être décrits par des équations aux dérivées partielles. Ce principe

permet de surmonter la faible disponibilité des données de certains systèmes biologiques et d'ingénierie qui fait que la plupart des techniques d'apprentissage automatique existantes manquent de robustesse. La connaissance préalable des lois physiques générales agit au cours de l'apprentissage comme un agent de régularisation qui limite l'espace des solutions admissibles, augmentant ainsi la justesse de l'approximation de la fonction. Ainsi, l'intégration de ces informations préalables permet-elle d'améliorer le contenu informatif des données disponibles, et d'aider l'algorithme d'apprentissage à trouver une bonne solution du point de vue de la généralisation, même avec une faible quantité de données d'apprentissage. Une journée thématique a été organisée dans le cadre de cette action durant son mandat.

#### **Apprentissage et modélisation physique**

*Organisateur(s)* : Nicolas Thome (GNAM), Christian Wolf (Naver Labs), Martijn Van Den Ende (Lagrange)

*Date* : 2 juin 2022

#### **5. Action AUDIO : Traitement du signal pour l'écoute artificielle et la synthèse sonore** (06/2021 →)

*Animateur(s)* : Mathieu Lagrange (LS2N), Vincent LOSTANLEN (LS2N), Thomas Hélie (STMS).

*Activités menées* : Cette action propose un panorama de la recherche scientifique en traitement du signal audio. Elle se polarise selon deux volets complémentaires : l'écoute artificielle et la synthèse sonore.

D'une part, l'écoute artificielle (machine listening) vise à extraire l'information d'un signal audio numérique à la manière du système auditif humain. Elle s'attache donc à offrir une description contextuelle des événements sonores, au travers de certaines lois cognitives telles le masquage en fréquence ou l'anticipation rythmique. À ce titre, l'intégration de l'écoute artificielle dans un algorithme prend souvent la forme d'un recours à l'apprentissage automatique (machine learning) sur données annotées.

D'autre part, la synthèse sonore vise à calculer de nouveaux sons. Ce faisant, elle tâche de concilier l'impression de réalisme que donnerait une prise de son en direct avec la finesse de contrôle des interfaces gestuelles humain-machine. Par conséquent, la synthèse sonore se nourrit d'échanges avec des disciplines aussi diverses que l'acoustique, la phonétique, la robotique et la réalité virtuelle.

Par cette action, nous entendons faire valoir le rôle-pivot du traitement du signal audio-numérique dans la modélisation du son, tel que celui-ci peut-être "écouté" ou "créé" par la machine. Outre un solide ancrage dans les acquis fondamentaux du traitement du signal, cette action présentera les liens importants avec trois passerelles interdisciplinaires : les sciences cognitives, les sciences de la musique, et la bio-acoustique.

Deux journées thématiques ont été organisées dans le cadre de cette action durant son mandat.

#### **Méthodes en traitement du signal pour l'écoute artificielle**

*Organisateur(s)* : Mathieu Lagrange (LS2N), Thomas Hélie (STMS), Vincent LOSTANLEN (LS2N)

*Date* : 12 mai 2022

#### **Traitement du signal pour la voix**

*Organisateur(s)* : Mathieu Lagrange (LS2N), Thomas Hélie (STMS), Vincent Los-

tanlen (LS2N)

*Date* : 20 octobre 2022

## 2.2 Thème B - Image et Vision

### Directeurs scientifiques adjoints :

- Cédric Demonceaux  
PU61, ImViA, Université Bourgogne Franche-Comté
- François Goudail  
PU63, Laboratoire Charles Fabry (UMR CNRS 8501), Institut d'Optique
- Edoardo Provenzi (→ 06/2021)  
PU26, IMB (UMR 5251), Université de Bordeaux
- Ruan Su  
PU61, LITIS, Normastic (EA 4108), Université de Rouen Normandie
- Carole Lartizien (01/2023 →)  
DR CNRS 07, CREATIS (UMR CNRS 5220), Université Lyon 1
- Aladine Chetouani (01/2023 →)  
MCF61, PRISME (EA 4229), Polytech Orléans
- Corinne Fournier (01/2023 →)  
PU61, LHC (UMR CNRS 5516), Télécom St-Étienne

### 2.2.1 Présentation générale du Thème B

Le Thème B fédère l'ensemble des acteurs sur les thématiques Image et Vision. Il était auparavant organisé autour de quatre axes, chacun traitant d'une composante de la chaîne de l'image, du capteur jusqu'à l'extraction d'information de haut niveau : techniques de formation et de traitement des images, analyse de scène par vision par ordinateur, systèmes de vision, analyse et traitement des masses de données images et vidéos.

Au cours des dernières années, l'ensemble de ces sujets a connu de très importantes mutations en intégrant des techniques aussi variées que le calcul intensif et distribué, le traitement de masses de données ou l'apprentissage. D'autre part, l'évolution des architectures, notamment GPU, et de la puissance de calcul a permis de développer des méthodes où l'interactivité prend une place de plus en plus importante. Enfin, des domaines applicatifs tels que l'imagerie du vivant, la télédétection, l'art et le patrimoine, la vision pour la robotique ou pour l'industrie du multimédia, exploitent aujourd'hui tout le spectre de l'image et de la vision, allant du capteur à l'interprétation des données visuelles, recouvrant par là-même tous les axes sur lesquels le Thème B était structuré. Pour ces raisons, et après d'importantes discussions lors de la précédente Assemblée Générale, il est apparu opportun de faire évoluer la structure du Thème B en passant d'une structuration en axes thématiques à une structuration en actions, afin de favoriser l'animation de journées dépendant intrinsèquement de plusieurs axes et de gagner ainsi en réactivité. Cette nouvelle structure s'est montrée pertinente et devrait permettre de favoriser davantage encore l'interaction avec d'autres GdR (Ondes, MIV, IG, MIA, Vision, IM, Robotique, IA, etc.), de proposer des journées avec le Thème T et le Club des Partenaires, fortement investis dans ce thème riche en enjeux socio-économiques.

### 2.2.2 Axes fondamentaux

#### 1. Capteurs et co-conception

Nous voyons apparaître sur le commerce de plus en plus de capteurs dédiés aux applications. A titre d'exemple, depuis maintenant une dizaine d'années, il est possible d'acquérir en une seule prise de vue la colorimétrie et la profondeur de la scène avec des capteurs de vision 3D (kinect, caméra temps de vol, etc.). Les champs de vue s'élargissent puisqu'il est aujourd'hui possible d'avoir une vue à 360° de l'environnement à partir d'une seule prise de vue à l'aide de capteurs sphériques (Gear 360°, GoPro, Giroptic, Ricoh, etc.). Les caméras événementielles (event-based) qui ne perçoivent que les changements d'illumination dans la scène sont désormais disponibles. Citons encore les caméras plénoptiques qui permettent d'acquérir des images de différentes focales à partir d'une seule caméra et ainsi remonter à la 3D de la scène. Tous ces capteurs ont leur propre particularité et amènent à des nouveaux verrous scientifiques qu'il faut soulever tels que la reconnaissance d'objets sur des images 360°, l'utilisation conjointe des informations 2D et 3D des imageurs 3D, de la géométrie multi-vues pour des capteurs plénoptiques et event-based. Il est également important de choisir, pour une application donnée, les informations pertinentes afin d'obtenir des systèmes à la fois efficaces, rapides et économes.

#### 2. Vision 3D

Dans le cadre de scènes fixes ou rigides, les méthodes géométriques pour reconstruire le 3D de la scène ou estimer la pose des caméras (on parle de Structure From Motion, SfM) ont été largement étudiées. Par contre, le problème reste encore ouvert lorsqu'il s'agit de traiter des scènes déformables (on parle ici de Non Rigid Structure from Motion) ou fortement dynamiques. De même, lorsque nous disposons de capteurs de plusieurs modalités (colorimétrie, temps de vol, polarimétrie, multi-spectral), les approches multi-vues sont encore difficiles à mettre en oeuvre étant donné l'hétérogénéité des données. Tous ces problèmes restent donc à résoudre et devront faire l'objet d'une attention particulière lors de ces prochaines années car elles trouvent des applications fortes notamment dans le domaine de l'imagerie médicale où les objets sont déformables et faiblement texturés.

#### 3. Colorimétrie

Les performances d'un algorithme de traitement d'image en couleurs dépendent souvent d'une manière remarquable du choix de l'espace de couleur dans lequel on met en place l'algorithme. Une meilleure compréhension de la géométrie des espaces de couleur est nécessaire pour simplifier ce choix et pour permettre d'adapter les modèles à des situations plus générales. Les outils de la géométrie différentielle, de la topologie algébrique et de l'analyse harmonique sont particulièrement adaptés pour ce type d'étude, bien que leur utilisation en traitement des images en couleurs ne soit pas courant. Concernant la vision des couleurs par un observateur humain, il est établi que l'espace de vision des couleurs n'est pas Euclidien. Certains auteurs ont proposé des modèles Riemanniens plats (Helmholtz, Schrödinger, Stiles), mais la tendance aujourd'hui est d'utiliser des espaces à courbure négative pour lesquels le prototype est la géométrie hyperbolique. L'étude de ces espaces et leur propriétés pour la vision des couleurs pourra permettre une reformulation rigoureuse de la géométrie des espaces couleur et d'apporter des réponses aux nombreuses objections que suscitent les modèles empiriques utilisés actuellement. Cela permettra de définir

des algorithmes de traitement d'image couleur qui soient intrinsèquement adaptés à la vision humaine.

#### 4. **Vision par ordinateur pour les interfaces Homme/Machine**

La vision par ordinateur a un grand rôle potentiel à jouer pour rendre les futures interfaces homme machine plus naturelles. Par exemple, les technologies de réalité augmentée et virtuelle se développent très rapidement actuellement, et les compagnies développant des casques de visualisation pour ces applications présentent des avancées majeures. Néanmoins, des progrès sont encore nécessaires pour obtenir la précision et la robustesse nécessaires. De façon plus générale, la vision sera sans doute d'une grande aide pour interagir avec l'utilisateur grâce au développement de la compréhension des gestes, de la posture du corps, ou aussi des expressions faciales. En particulier, la reconnaissance des expressions faciales n'en est encore qu'à ses balbutiements, les méthodes existantes étant limitées à la reconnaissance d'expressions clairement exagérées alors que souvent seuls de micro-indices indiquent l'émotion d'une personne. La prédiction et l'anticipation des actions futures de l'utilisateur sont aussi importantes et encore peu explorées. Pour des systèmes dangereux comme les machines-outils, cette anticipation est pourtant cruciale. La reconnaissance vocale devrait aussi être couplée avec l'analyse des images pour une meilleure compréhension de la machine des intentions de l'utilisateur. Les techniques d'apprentissage sont évidemment un outil important pour développer ces méthodes pour l'interface homme-machine.

#### 5. **Techniques d'apprentissage pour l'image et la vision**

A l'ère numérique, les bases de données de grande taille, parfois hétérogènes, se sont imposées rapidement dans tous les domaines. Des méthodes d'analyse, reconnaissance, indexation et fouille des données images et vidéo évoluent pour répondre à ces nouveaux besoins en tenant compte d'une part des notions classiques mais aussi de cette nouvelle échelle. Dans ce contexte, les techniques d'apprentissage sont devenues un outil incontournable. Les approches supervisées, où des exemples sont typiquement annotés par un expert, sont les plus couronnées de succès, mais ce sont aussi celles qui demandent le plus d'investissement en temps et en argent. Le problème est exacerbé en vision par ordinateur, où les annotations peuvent être complexes, comme des régions d'images 2D ou des mesures 3D. La dimension temporelle apportée par la vidéo reste un problème ouvert pour les techniques d'apprentissage où pour les problèmes inverses comme le flot optique, les approches end-to-end ne surpassent pas encore les approches plus classiques ou mixtes (benchmark MPI-Sintel). Les méthodes géométriques peuvent également être utiles dans un contexte d'apprentissage en couplant conjointement les mesures géométriques 3D aux données sémantiques. Enfin, des méthodes alternatives, spécifiques à la vision par ordinateur, commencent à émerger pour diminuer la quantité de données à annoter. Une première approche possible est l'auto-apprentissage (self-learning) : l'idée est d'exploiter la cohérence temporelle entre images d'une séquence vidéo. Par exemple, la segmentation d'un objet dans des images consécutives doit être cohérente avec le flot optique. Une autre approche est le domain transfer, où différentes techniques commencent à être développées, pour pouvoir utiliser des images de synthèse pour l'entraînement tout en généralisant aux images réelles. Le transfert learning, les Generative Adversarial Networks sont des méthodes possibles pour le domain transfer.

### 2.2.3 Méthodologie

Le programme d'animation scientifique a été conçu à partir d'actions fixant la politique scientifique du Thème B. Ces actions ont été définies en début de mandat, puis modifiées à mi-mandat comme décrit ci-après.

Nous rappelons que la structuration en actions laisse évidemment la possibilité d'organiser des journées en dehors de celles-ci selon les demandes de la communauté.

#### A) Actions du thème (→ 06/2021)

Durant la première partie du mandat, les activités du Thème B ont été articulées autour de huit actions qui répondaient alors aux enjeux de la communauté. Ces actions ont fait l'objet d'au moins une journée d'animation par an. L'ensemble des réunions organisées figure à la suite de la description des actions.

#### 1. Action Co-conception

*Animateur(s)* : Matthieu Boffety (LCF), Julien Fade (Institut FOTON), Corinne Fournier (LHC), Pauline Trouvé (ONERA).

*Activités menées* : La conception de systèmes d'acquisition d'images connaît un renouveau grâce aux approches où le dispositif d'imagerie est étroitement associé aux algorithmes de traitement des données. On parle de conception conjointe ou co-conception. Cette démarche est particulièrement utile aujourd'hui où les capteurs peuvent délivrer beaucoup d'informations : spatiales, 3D, temporelles, spectrales, polarimétriques, etc. Il est très important de définir des approches qui permettent d'acquérir l'information utile pour une application donnée de la manière la plus efficace, simple et économe possible. Elles trouvent des applications dans des domaines à fort potentiel d'innovation tels que l'imagerie biomédicale, le multimédia, la télédétection ou le contrôle des processus industriels. Pour atteindre cet objectif, on doit prendre en compte la nature physique de la scène observée, de l'instrument qui acquiert les données et des algorithmes de traitement qui extraient l'information pertinente. Ce domaine est donc par essence multidisciplinaire, et l'objectif de cette action est de favoriser l'interaction entre les utilisateurs des informations (physiciens, biologistes et médecins, spécialistes de l'environnement, etc.), les concepteurs de systèmes d'imagerie et les traiteurs de signaux/images, dans le but d'améliorer l'efficacité globale des systèmes d'imagerie. Cet axe se situant à l'interface entre la physique, les mathématiques appliquées et le traitement d'image, la plupart des journées sont organisées en collaboration avec des GdRs tels que Ondes, MIV (Microscopie et imagerie du vivant), ou MIA.

#### 2. Action Nouveaux enjeux en télédétection

*Animateur(s)* : Abdourrahmane Atto (LISTIC), Loïc Denis (LHC), Stéphane May (CNES).

*Activités menées* : Les nouvelles générations de satellites d'observation de la Terre sont déployées en constellations pour augmenter de manière très significative les résolutions spatiales, spectrales et temporelles des images numériques des sites observés. Il en est de même en imagerie astrophysique : les dernières générations de systèmes de télédétection sont déployées par exemple en constellations de télescopes imageurs pour améliorer l'observabilité de rayonnements rares dans le temps. D'autre part, la généralisation de l'usage d'imageurs embarqués sur des drones révolutionne l'imagerie aéroportée au sens où le coût faible (en comparaison avec l'utilisation d'avions ou d'hélicoptères dans les précédentes décennies) de tels systèmes rend possible des revisites régulières de sites sensibles et/ou peu accessibles. La grande quantité des données

acquises et les nouvelles caractéristiques de ces images constituent de nouveaux défis pour leur traitement et l'extraction de l'information dans ces images de télédétection. Ces défis imposent à la communauté de se coordonner et de partager ses compétences sur de nouvelles approches en analyse des images de télédétection. Les nouveaux défis soulevés sont relatifs, entre autres, à la multi-modalité, au traitement de séries temporelles d'images de plus en plus denses, à l'apprentissage statistique de régularités ou d'évolutions spatio/spectro-temporelles caractérisant différents phénomènes dynamiques.

### 3. Action *Vision guidée par les capteurs émergents*

*Animateur(s)* : Guillaume Caron (MIS), Franck Ruffier (ISM), Pascal Vasseur (MIS).

*Activités menées* : De nombreuses entreprises s'impliquent de plus en plus dans la fabrication et la commercialisation de nouveaux types de caméras comme les caméras à temps de vol, les caméras plénoptiques, les caméras omnidirectionnelles, les caméras événementielles et autres capteurs visuels. Ces nouvelles caméras et les nouveaux usages qu'elles laissent entrevoir sont le fruit de progrès d'intégrations techniques et technologiques récents. Ces caméras permettent d'obtenir des informations de natures différentes comme la profondeur, le mouvement, la couleur ou encore de longueurs d'ondes différentes (IR, FIR, SWIR). L'usage de ces capteurs fait émerger de nombreuses questions sur les outils et les méthodes associées. En premier lieu, se pose le problème de la modélisation et de l'étalonnage. Ce thème a été profondément traité pour les caméras classiques, voire également les caméras omnidirectionnelles, avec des résultats significatifs et des outils performants. Néanmoins, il existe un intérêt important pour l'amélioration de ces modélisations géométriques et/ou photométriques, ainsi que pour le développement d'outils de mise en œuvre rapides, précis et robustes. De même, la nature hétérogène des informations mesurées nécessite le développement de principes spécifiques pour l'étalonnage extrinsèque des caméras comme ce fut le cas pour les caméras et les Lidars par exemple. Du point de vue du traitement de l'information, de nombreuses pistes de recherche sont également à explorer pour l'extraction de primitives, la caractérisation de ces primitives, la mise en correspondance. Ainsi, il est pertinent d'étudier si les traitements classiques sont applicables à ces modalités et s'ils sont optimaux dans tous les cas. Une question intéressante concerne les traitements précoces qu'il est possible voire souhaitable d'effectuer au plus proche du capteur. La collaboration entre capteurs interroge sur l'usage de l'information d'une modalité pour optimiser le traitement d'une autre. L'étude des gains et des pertes en termes de robustesse, précision, incertitude, temps de calcul avec ces modalités par rapport aux méthodes de vision classiques ainsi les conditions optimales d'utilisation sont d'un intérêt fondamental.

### 4. Action *Analyse de données massives en imagerie du vivant*

*Animateur(s)* : Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Su Ruan (LITIS).

*Activités menées* : Les sciences de l'information tiennent aujourd'hui une place primordiale dans l'analyse des données produites en Sciences du Vivant (SV). Il s'agit d'une part d'organiser les masses de données hétérogènes, multi-échelles et multimodales produites dans les hôpitaux et les centres de recherche, et d'autre part d'extraire l'information pertinente pour mieux soigner ou mieux comprendre les mécanismes physiopathologiques. Les travaux de recherche dans ce domaine doivent être réalisés dans un contexte pluridisciplinaire rassemblant des acteurs des sciences des données, de l'ingénierie et du vivant, afin de concevoir et développer des méthodes adaptées aux

spécificités des données biomédicales. L'objectif de cette action est de favoriser les interactions entre les différentes communautés scientifiques autour de thèmes de recherche émergents et fédérateurs en science de l'information (SI). Cette action s'est articulée autour de plusieurs journées scientifiques associant des chercheurs seniors pour des exposés tutoriels et des jeunes chercheurs pour la présentation de travaux plus focalisés afin de favoriser la qualité des échanges et la création de dynamiques communes. Certaines journées, organisées autour de thèmes ciblés des sciences des données particulièrement intéressants pour l'analyse des données biomédicales, ont visé à favoriser le transfert des connaissances. D'autres journées ont été centrées autour de grands thèmes de l'analyse des données biomédicales. Elles ont visé à identifier les verrous scientifiques ou technologiques dans ce domaine et à dresser un état de l'art des méthodes des sciences de l'information les plus performantes pour les résoudre ainsi que des axes de recherche à développer, notamment en extraction d'information, en modélisation d'image, fusion de données, fouille de données, apprentissage.

### 5. **Action Interaction avec l'humain : qualité et perception**

*Animateur(s)* : Aladine Chetouani (PRISME), Chaker Larabi (XLIM), Edoardo Provenzi (IMB), Giuseppe Valenzise (L2S).

*Activités menées* : L'objectif de cette action était de mettre en communication les chercheurs qui travaillent, d'un côté, sur la modélisation des propriétés de la vision humaine et, de l'autre, ceux intéressés par les applications de ces propriétés dans le domaine du traitement des images et de la vision par ordinateur. L'intérêt de cette mise en relation était double. Les applications bénéficient souvent des connaissances sur le fonctionnement du système visuel humain et, réciproquement, des simulations et des expériences avec des images numériques sont souvent indispensables pour inférer des propriétés visuelles. Un exemple de ce type d'interaction est donné par le workshop EUVIP (European Workshop on Visual Information Processing), dans lequel les chercheurs en neurosciences, informatique, psychologie cognitive et mathématiques appliquées au traitement d'images présentent leurs travaux et entament des collaborations. Une liste non-exhaustive de champs de recherche concernés par cette action est :

- l'imagerie à gamme dynamique étendue (HDR - High Dynamic Range) ;
- l'étude de la qualité des images et des vidéos ;
- les statistiques des images naturelles ;
- les métriques et la géométrie des espaces des couleurs ;
- le rehaussement du contraste ;
- la restauration d'images et des vidéos ;
- la colorimétrie ;
- la métrologie des attributs perceptuels des surfaces.

Cette thématique demande des compétences pluridisciplinaires, ce qui implique l'exigence d'une interaction avec d'autres GdR. Ces interactions se sont concrétisées par l'organisation d'une journée de travail avec le GdR Vision et une avec le GdR IG-RV. L'évaluation de la qualité des images et des vidéos joue un rôle central dans cette action. Elle se concentre sur l'intégration de l'observateur dans la chaîne de traitements et d'évaluation de la qualité des images et des vidéos. Les domaines d'application visés par cette action sont : la réalité virtuelle ou augmentée, l'imagerie à grande gamme dynamique (High Dynamic Range Imaging ou HDRI) et autres formats immersifs, les dispositifs d'affichage d'images 3D ou lightfield, les processus de protection des

données et des personnes (biométrie, video-protection), l'imagerie bio-médicale (tomographies), l'évaluation de la qualité avec ou sans référence. Les problématiques et enjeux concernent les métriques, les protocoles d'évaluation, les techniques d'évaluation automatique par apprentissage, les mesures de saillance, la qualité d'expérience et intégration de l'observateur dans la chaîne d'évaluation de la qualité. L'importante conférence annuelle Qomex « Qualité de l'expérience visuelle » est entièrement dédiée à la recherche sur la qualité.

## 6. Action *Vision 3D et apprentissage*

*Animateur(s)* : Adrien Bartoli (Institut Pascal), Pierre Gurdjos (IRIT), Vincent Lepetit (Imagine) - Action Transverse avec le Thème T.

*Activités menées* : Cette action s'intéresse à la reconstruction 3D d'un objet ou d'une scène rigide ou déformable (SfM, NRSfM - MVS), au recalage d'images multimodales (RGB, RGB-D, depth), au calcul de pose d'un objet ou d'une scène rigide ou déformable (pose, SfT) à partir de modèles texturés ou non-texturés. Alors que ces problèmes peuvent sembler résolus, ils restent néanmoins ouverts par certains aspects relatifs aux limites des méthodes géométriques actuelles. A titre d'exemples, on peut citer :

- La vision 3D à partir d'images endoscopiques pour la réalité augmentée. Il s'agit d'une application clef de la vision 3D. Les images impliquées nécessitent de faire des progrès fondamentaux en vision 3D : structures déformables, surfaces peu texturées ou texture répétitive, présence de fumée et de fluides et changements de topologie.
- Le recalage rigide d'images et d'un modèle 3D non texturé obtenu par exemple par un scanner 3D, permettant la reconstruction de scènes d'extérieur à grande échelle. Les capteurs laser vont être accessibles à des prix ultra compétitifs et seront dans un futur proche utilisés pour raccourcir le cycle d'acquisition de scènes 3D. L'intégration des données 3D (souvent non texturées) qu'ils fourniront pose de nouveaux problèmes dans le cadre du SfM et du MVS (Multi-View Stereo).

Notons qu'aujourd'hui, les méthodes d'apprentissage profond peuvent également être développées en vision 3D et font l'objet de nombreux travaux. Les algorithmes sont capables de prédire d'importantes quantités de cartes de profondeur et de normales à partir d'une seule image. Il est à présent intéressant d'utiliser ces données pour généraliser les approches sur des données temporelles. De la même manière, l'étude du concept du self-learning, où l'apprentissage est effectué grâce à une tâche secondaire différente de la tâche primaire de reconstruction 3D, peut être fort utile dans le cas où les données d'apprentissage ne sont pas disponibles. Enfin, les algorithmes de SLAM récents se concentrent sur l'association d'un label sémantique sur chaque objet tout en reconstruisant la scène de manière automatique. Ce sujet de recherche récent et prometteur alliant reconstruction 3D et reconnaissance d'objet sera également étudié ici. Ainsi, dans cette action, il s'agit d'étudier les techniques géométriques de vision 3D en tenant compte de la spécificité des données (multi-modales, dynamiques, déformables) et d'utiliser, dans une certaine mesure, les méthodes d'apprentissage en vision 3D de manière conjointe à la géométrie.

## 7. Action *Visage, gestes, actions et comportement*

*Animateur(s)* : Catherine Achard (ISIR), Christophe Ducottet (LHC), Olivier Alata (LHC) - Action transverse avec le Thème T.

*Activités menées* : Cette action concerne l'extraction du mouvement humain (visage, mains, corps, gestes) à partir de séquences vidéo, et son analyse à plus haut niveau (tâches, comportement), notamment pour des applications interactives ou de surveillance. Une attention particulière sera portée aux données hétérogènes (couleur, thermique, 3D, etc.) et/ou acquises dans des situations non contraintes. Elle s'intéresse notamment à la prédiction de posture 2D ou 3D de la main ou du corps avec notamment des approches utilisant l'apprentissage profond, à la modélisation statistique de gestes, à la modélisation du visage (forme, apparence, émotion), et à la reconnaissance d'activités et de comportements.

### 8. Action Apprentissage profond pour l'indexation multimédia

*Animateur(s)* : Jenny Benois-Pineau (LABRI), Alexandre Benoit (LISTIC), Hervé Le Borgne (CEA Saclay), Hervé Bredin (LIMSI), Liming Chen (LIRIS).

*Activités menées* : La structuration des contenus multimédia, notamment ceux impliquant une modalité visuelle, suscite un intérêt de la communauté scientifique mais aussi des acteurs industriels et institutionnels pour leurs besoins propres. Il émerge un besoin d'organiser des objets non seulement plus complexes ou de manière plus fine mais aussi plus composites par le nombre de modalités mises en jeu. Le traitement et l'indexation de chaque modalité ont fait des progrès importants. Ainsi la recherche et la conception des descripteurs du contenu adaptés a cédé la place au renforcement des méthodes d'apprentissage, spécifiquement avec la popularisation des réseaux d'apprentissage profond. La combinaison des techniques propres à chaque domaine reste cependant un défi. Le cœur de l'action « Méthodes et Apprentissage en Indexation Multimédia » porte sur la fusion et la combinaison des traitements de diverses modalités avec la modalité visuelle. Elle s'intéresse aux liens en termes de traitement et d'indexation par apprentissage statistique et plus particulièrement par apprentissage profond. Les défis propres à cette problématique concernent notamment l'hétérogénéité des approches en fonction des modalités, les différences de performances obtenues selon les médias. Dans le contexte d'apprentissage profond, les modes de fusion optimale restent à étudier afin d'obtenir des scores suffisamment élevés pour l'utilisation des outils dans des problèmes réels avec une quantité de données d'apprentissage souvent faible et des annotations bruitées. L'action Apprentissage profond pour l'indexation multimédia a pris suite de l'action Indexation et recherche d'information multimédia du mandat 2014-2018. Pendant ces dernières années, de fortes évolutions du domaine ont eu lieu en ce qui concerne les outils méthodologiques, les données, les domaines d'application.

L'apprentissage profond est au cœur des méthodologies, les approches multi-média, -modalité se sont généralisées dans des domaines d'application comme l'imagerie médicale, les données de santé, l'imagerie hyperpsectrale. En cette époque de foisonnement des méthodologies issues de l'apprentissage profond, l'action a organisé des journées avec le Thème T. Depuis 2018, on a organisé 4 journées et 2 édition des ouvrages collectifs : Benois-Pineau Jenny, Zemari Akka, Editors ; Multi-faceted Deep Learning : Models and Data, Springer à paraître 21.07.2021, 315 pages Plusieurs membres du Thème B ont contribué avec des chapitres. Des remerciements sont adressés au GdR ISIS dans ce livre.

#### B) Actions du thème (06/2021 →)

Durant la seconde partie du mandat, les activités du Thème B ont été articulées autour des neuf actions définies ci-après. Il est à noter que les 4 dernières actions considérées

relèvent aussi du Thème T et de l'apprentissage. Toutes ces actions ont fait l'objet d'au moins une journée d'animation par an.

### 1. Action Co-conception

*Animateur(s)* : Matthieu Boffety (MCF, Laboratoire Charles Fabry, Institut d'Optique Graduate School), Julien Fade (MCF, Institut FOTON, Université Rennes 1), Corinne Fournier (MCF, Laboratoire Hubert Curien, Université de St Etienne), Pauline Trouvé (IR, ONERA).

*Activités menées* : Cette action est une reconduction de celle menée durant la première partie du mandat (p. 38).

### 2. Action Télédétection et Intelligence Artificielle

*Animateur(s)* : Stéphane May (CNES), Thomas Oberlin (ISAE-SUPAERO), Yajing Yan (LISTIC), Ammar Mian (LISTIC).

*Activités menées* : Cette action a pour but de rassembler des chercheurs en apprentissage automatique, vision ou traitement des images, et d'autres plus applicatifs qui travaillent dans la production de la données ou dans les différents champs utilisateurs de la télédétection (end users). Le but est tout autant d'aider au transfert de techniques vers les applications en observation de la Terre, que, à l'inverse, souligner les spécificités du domaine pour créer de nouveaux besoins méthodologiques. Pour ce faire, nous prévoyons l'organisation de plusieurs journées en partenariat avec des organismes d'animation scientifique du domaine d'application, comme le COMET TSI du CNES et les sociétés savantes (GRSS, SFTP).

Les problèmes visés concernent d'abord l'exploitation des données : classification, détection de changements, mesure de déplacement ou plus généralement régression. Les verrous actuels sont liés aux spécificités du domaine de l'observation de la Terre : grandes couvertures spatiales et temporelles, hétérogénéité des données acquises dans des modalités très diverses, données incomplètes. Un point souvent critique concerne la faible quantité de labels disponibles, voire leur absence, qui nécessite la mise en place de stratégies d'apprentissage non- ou semi-supervisé, exploitant potentiellement la multi-modalité (modèles génératifs, disentanglement).

Un second thème concerne les problèmes de traitement des images satellitaires, qui sont fortement impactés par les récentes avancées en IA, notamment les réseaux de neurones profonds. On peut citer notamment la super-résolution ou la fusion d'images, mais aussi la compression, la déconvolution ou le débruitage. Dans tous ces problèmes, les réseaux de neurones fournissent des performances à l'état de l'art, mais pas toujours compatibles avec les contraintes du secteur, que ce soit en termes d'explicabilité, de complexité algorithmique ou d'embarquabilité.

### 3. Action Vision guidée par les capteurs émergents

*Animateur(s)* : Pascal Vasseur (MIS, Université de Picardie Jules Verne), Guillaume Caron (JRL, Tokyo), Franck Ruffier (ISM, Aix Marseille Université).

*Activités menées* : Cette action est une reconduction de celle menée durant la première partie du mandat (p. 39).

### 4. Action Fusion de données multimodales

*Animateur(s)* : Mauro Dalla Mura (Gipsa-Lab, Grenoble), Didier Coquin (LISTIC, Nancy), Su Ruan (LITIS, Rouen).

*Activités menées* : Notre perception du monde provient de sources multimodales - nous voyons des objets, entendons des sons, percevons des textures, etc. La compréhension du monde qui nous entoure doit être en mesure d'interpréter l'ensemble de ces signaux multimodaux. C'est un domaine pluridisciplinaire, d'importance croissante et au potentiel extraordinaire. La présence de données multimodales (tels que celles acquises par différents types de capteurs) se retrouve systématiquement dans plusieurs domaines scientifiques tels que le biomédical, la télédétection et le multimédia pour n'en citer que quelques-uns. La nature des données multimodales est diversifiée : images acquises à différentes résolutions spatiales et spectrales, imagerie médicale multimodale, imagerie multispectrale et hyperspectrale (VNIR : visible and near-infrared et SWIR : short wave infra-red), image de profondeur et image optique, acquisitions issues de capteurs passifs et actifs. Ces données provenant de plusieurs sources sont souvent corrélées et fournissent des informations complémentaires, voire redondantes, reflétant ainsi des mécanismes qui ne sont pas visibles lorsque l'on travaille avec ces modalités séparément. L'analyse d'observations multimodales vise à exploiter les complémentarités des différents capteurs pour générer des données issues d'une fusion en améliorant leur caractéristiques initiales ou en extrayant des informations qui n'étaient pas accessibles par une seule modalité. De tels systèmes contribuent ainsi à produire des décisions plus robustes. Les formes de fusion : précoce, intermédiaire, tardive ont été largement explorées entre autre avec les outils d'apprentissage. Aujourd'hui un nouvel essor de ces techniques est donné par l'apprentissage profond. Malgré un développement très actif, plusieurs verrous sont encore ouverts comme par exemple :

- comment coupler des approches basées modèle et celles basées sur l'apprentissage pour une fusion plus efficace,
- comment intégrer efficacement des connaissances préalables (par exemple issus de lois physiques, ou des informations a priori sur les systèmes d'acquisitions ou les variables/informations à extraire) ; ou encore comment gérer des observations qui sont diverses en termes de précision, qualité et fiabilité.
- comment gérer la redondance des informations, leur complémentarité, ou le manque d'information ?

Cette action s'intéresse aussi bien aux aspects méthodologiques de la fusion qui sont communs aux différents domaines applicatifs, qu'à leur développement dans des applications thématiques.

##### **5. Action Interaction avec l'humain : qualité et perception**

*Animateur(s)* : Aladine Chetouani (PRISME, Polytech Orléans), Edoardo Provenzi (IMB, Université Bordeaux) .

*Activités menées* : Cette action est une reconduction de celle menée durant la première partie du mandat (p. 40).

##### **6. Action IA pour l'analyse de données massives en imagerie du vivant**

*Animateur(s)* : Carole Lartizien (CREATIS, Lyon), Caroline Petitjean (LITIS, Rouen), Mireille Garreau (LTSI Rennes), Nicolas Thome (LIP6, Paris).

*Activités menées* : Action transversale entre les Thèmes B et T

In recent years, artificial intelligence, especially deep machine learning has received a lot of attention to explore and structure multidimensional and multimodality medical imaging data for a wide variety of tasks ranging from low to high level image

processing and analysis such as segmentation, image synthesis, diagnosis and prognosis models characterizing pathological patterns in the data or predicting the course and outcome of diseases, respectively, as well as therapy monitoring. The objective of this action is to gather researchers in computer vision, statistical learning and medical image analysis around this rapidly evolving research domain. This action will be jointly endorsed by theme B “Image and Vision” and transversal theme T “Machine learning for signal and image analysis”. It grounds on previous action "Analysis, processing and decision for massive and multimodal data in life sciences" from theme B but will focus on machine and deep learning methods while opening the spectrum of data to images, graphs as well as associated semantic information. We will both organize one-day workshops on specific methodological questions, as well as on topics related to medical databases. This action will be articulated around one-day workshops including invited presentation of french and foreign researchers of the community, as well as selected presentations of young researchers work in progress. A non-exhaustive list of propositions to be discussed :

- Learning and privacy : an idea would be to include an invited seminar on RGPD aspects (good practices for access to masses of data), ethical issues of IA and more technical presentations on aspects related to 'privacy attacks and protection' 'federated learning' 'unlearning' etc.
- Learning on heterogeneous data in the sense of 'image, graphs, text etc'.
- Interpretability / Explainability (following the 1/2 day workshop organized by theme T for computer vision).
- Learning with low or weak annotation : weakly, self supervised, curriculum learning etc.
- Specific workshops on clinical application : neurology, cardiology, etc... (to have a panel of French actors on these different types of applications).

### **7. Action *Géométrie et apprentissage pour la Vision 3D***

*Animateur(s)* : Adrien Bartoli (Institut Pascal, Université Clermont Auvergne), Yvain Quéau (Greyc, Caen ), Vincent Lepetit (Imagine, ENPC).

*Activités menées* : Cette action est une reconduction d'une action menée durant la première partie du mandat (41), dont le titre a été légèrement modifiées pour mettre l'accent sur les aspects géométriques de la vision 3D.

### **8. Action *Visage, gestes, actions et comportement***

*Animateur(s)* : Catherine Achard (MCF, ISIR, Université Pierre et Marie Curie), Christophe Ducottet (PU, Laboratoire Hubert Curien, Université de Saint-Etienne), Olivier Alata (PU, Laboratoire Hubert Curien, Université de Saint-Etienne).

*Activités menées* : Cette action est une reconduction de celle menée durant la première partie du mandat (p. 42).

### **9. Action *Apprentissage profond explicable en image et multimédia***

*Animateur(s)* : Hervé Le Borgne (Vision and Content Engineering Lab, EA Saclay), Alexandre Benoit (LISTIC, Annecy), Jenny Benois-Pineau (LABRI, Bordeaux), Nicolas Thome (LIP6, Paris).

*Activités menées* : Action transversale entre les Thèmes B et T

Les outils d'apprentissage profond sont devenus prépondérants en Image et Vision. Par ailleurs le domaine “multimédia” a évolué : ses techniques s'appliquent dans le cadre

plus large, en mélangeant les média classiques : image, son, vidéo, texte, avec des données exogènes à l'image. L'augmentation des performances des réseaux profonds doit passer par l'intégration des connaissances du domaine - comme les modèles physiques, par la sélection des caractéristiques et des patterns les plus pertinents dans les données brutes. Ceci est en étroite relation avec le besoin d'explicabilité des décisions des outils IA pour l'image et différentes modalités. Dans cette action nous allons nous intéresser à l'intégration des connaissances, à l'extraction de l'importance des caractéristiques des modèles IA profonds dans des problèmes de reconnaissance et de génération des données image et des données exogènes à l'image.

- La première thématique traite des modèles d'attention, des Transformers et de l'explicabilité des outils IA en Image et multimédia. Les modèles d'attention dans des réseaux profonds ont été proposés initialement pour le texte. Ensuite dans des CNNs des mécanismes d'attention globale (par le "canal" des caractéristiques) et locaux (par l'importance des caractéristiques localement dans des canaux) ont été proposés. Ce sont des mécanismes internes des réseaux profonds, tandis que l'intégration des modèles psycho-visuels (comme th. 3, des modèles physiques dans le processus d'apprentissage) reste peu étudiée, spécifiquement quand il s'agit des questions d'explicabilité des décisions de réseaux profonds en analyse de données image, vidéo et des signaux. Par ailleurs, ces idées d'attention inhérente dans des réseaux ont donné lieu à toute une panoplie de méthodes appelée "transformers".
- La seconde thématique concerne le contrôle des modèles génératifs. S'il est acquis que les modèles génératifs profonds sont capables de produire des images photo-réalistes de grande qualité, de nombreux travaux s'intéressent depuis peu à contrôler le plus précisément possible les caractéristiques du contenu produit. Cela revient généralement à identifier des sous-variétés de leurs espaces latents correspondant aux dites caractéristiques et à y échantillonner les codes latents produisant les images de meilleure qualité. Un tel contrôle fournit donc une capacité d'explicabilité et d'interprétation des modèles considérés (th. 1). Cela rejoint la problématique connexe de l'apprentissage (plus ou moins) supervisé de représentations désemmêlées (disentangled). En particulier, certaines des caractéristiques d'intérêt que l'on cherche à contrôler peuvent correspondre à des paramètres explicites de modèles physiques (th. 3).
- La troisième thématique porte sur la prise en compte de modèles physiques en apprentissage automatique profond. Des modèles physiques performants peuvent avoir un coût de calcul trop élevé et être approximés par des modèles de l'IA profond plus rapides. Dans d'autres situations, des modèles physiques peuvent guider l'apprentissage de modèles profonds et permettre une optimisation à partir d'un nombre d'échantillons plus réduit. On peut également envisager l'usage conjoint de la modélisation imparfaite d'un phénomène physique avec un modèle profond dans le but de corriger le modèle initial. Sur un plan complémentaire, les modèles physiques peuvent permettre de mieux structurer les modèles profonds et de contribuer à l'explicabilité des prédictions (th. 1), notamment en introduisant des représentations désemmêlées (th. 2). De nombreux domaines peuvent ainsi intégrer ces approches, par exemple : la mécanique en imagerie médicale et sismique, la physique des particules en physique et astrophysique. Partager une vision élargie permettra d'avancer sur les méthodologies d'usage conjoint de modèles physiques et les modèles profonds. Également, cela facilitera la construction de projets multidisciplinaires et transversaux.

### 2.2.4 Activités sur la période écoulée

#### 1. Journées thématiques :

##### 1. *Géométrie et représentation de la couleur*

*Organisateur(s)* : David Alleysson (LPNC), Michel Berthier (MIA), Philippe Carré (XLIM), Edoardo Provenzi (IMB).

*Date* : 21 novembre 2018.

*Description* : Le sommet de l'étude mathématiquement rigoureux de la perception des couleurs dans le siècle passé a été obtenu par Schrödinger en 1920. Les travaux de la CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) des années 30 ont dirigé l'analyse de la perception des couleurs vers une direction moins formelle. En 1974, Resnikoff a repris les résultats de Schrödinger et il les a étendus en considérant l'homogénéité de l'espace des couleurs perçues. Les travaux présentés dans cette journée ont permis de comprendre l'importance du travail de Resnikoff et de divulguer les propriétés d'un modèle quantique de la vision colorée qui découle du travail de Resnikoff. Olivier Faugeras, enthousiaste de la journée, a organisé une session spéciale pour Journal of Mathematical Neuroscience dédiée à la géométrie de la couleur dans laquelle trois travaux présentés dans la journée ont été publiés.

##### 2. *Modélisation du piéton et de la foule en mouvement*

*Organisateur(s)* : Paola Goatin (INRIA Sophia-Antipolis), Julien Pettre (INRIA Rennes).

*Date* : 23 novembre 2018.

*Description* : La foule se définit comme le rassemblement de nombreuses personnes en même lieu. La nature sociale de l'homme, ainsi que son mode de vie, lui fait prendre fréquemment part à la foule, comme par exemple lors de ses déplacements, ses loisirs culturels et sportifs, ou sa participation à des événements collectifs. La modélisation de la foule consiste à expliquer le déplacement de chacun dans ce contexte afin de simuler le mouvement collectif. Les applications sont nombreuses : urbanisme, conception des lieux destinés à accueillir le public, planification et gestion du trafic piéton. Le calcul du mouvement collectif peut également servir des applications à l'animation graphique et le trucage de films. Le modèle peut enfin servir à tester des hypothèses sur le comportement humain. Dans cette journée d'animation du GdR ISIS, l'objectif était de réunir les nombreux acteurs et disciplines qui s'intéressent à la modélisation et à la simulation de la foule.

##### 3. *Images et data : méthodes d'analyse et de modélisation pour l'agriculture numérique*

*Organisateur(s)* : Adel Hafiane (PRISME), Christelle Gée (INRA), Raphaël Canals (PRISME), Paul-Henry Cournède (MICS).

*Date* : 14 mars 2019.

*Description* : Un des grands défis d'aujourd'hui est de renforcer la productivité agricole tout en réduisant fortement l'utilisation des intrants. Les avancées récentes dans les technologies des robots, drones, etc., ont permis d'ouvrir des pistes prometteuses pour l'agriculture de précision en ce qui concerne l'analyse de données numériques (images, signaux, etc.) et leur interprétation. Cette révolution du numérique suscite un intérêt grandissant dans différents domaines de l'agriculture, particulièrement la gestion des intrants chimiques (i.e., stratégie de

désherbage, de diagnostic des maladies, du pilotage de la fertilisation, etc.) ou le développement d'outils d'aide à la décision. Dans ce contexte, les méthodes d'analyse des images et modélisation constituent un thème fort pour l'agriculture de précision. Pour ne citer que quelques exemples, la détection et la reconnaissance par imagerie aérienne des maladies ou des espèces végétales envahissantes permettent de planifier des actions ciblées et réduire ainsi l'utilisation d'intrants ; les modèles mathématiques d'évolutions des maladies ou de ces espèces permettront d'agir d'une manière préventive ; l'identification des adventices avec un robot de désherbage permet de réaliser une action plus précise. Cependant, l'analyse des images et des données dans l'agriculture fait face à plusieurs challenges tels que l'occultation entre les espèces végétales, le recalage d'images de différentes modalités prises à différentes échelles spatiales, le suivi spatio-temporel de parcelles, la labélisation des données d'apprentissage, la précision des modèles de prédiction, etc. Le but de cette journée était de réunir des acteurs académiques et industriels pour aborder les besoins, les challenges et les récents développements de méthodes de traitement d'images multimodales, du traitement du signal, d'intelligence artificielle, d'apprentissage automatique, de modélisation des données, etc. dans le domaine de l'agriculture.

#### 4. *Capteurs visuels émergents*

*Organisateur(s)* : Guillaume Caron (MIS), Franck Ruffier (ISM), Pascal Vasseur (LITIS).

*Date* : 6 juin 2019.

*Description* : De nombreuses entreprises développent et utilisent de plus en plus de nouveaux types de caméras comme les caméras à temps de vol, les caméras plénoptiques, les caméras omnidirectionnelles, les caméras événementielles et autres capteurs visuels. Ces nouvelles caméras et les nouveaux usages qu'elles laissent entrevoir sont le fruit de progrès d'intégrations techniques et technologiques récents. Ces caméras permettent d'obtenir des informations de natures différentes comme la profondeur, le mouvement, la couleur ou encore de longueurs d'ondes différentes (IR, FIR, SWIR, etc.). Du point de vue du traitement de l'information, de nombreuses pistes de recherche sont également à explorer pour l'extraction de primitives, la caractérisation de ces primitives, la mise en correspondance, etc. Ainsi, il est pertinent d'étudier si les traitements classiques sont applicables à ces modalités et s'ils sont optimaux dans tous les cas. Une question intéressante concerne les traitements précoces qu'il est possible, voire souhaitable, d'effectuer au plus proche du capteur. La collaboration entre capteurs interroge sur l'usage de l'information d'une modalité pour optimiser le traitement d'une autre. L'étude des gains et pertes en termes de robustesse, précision, incertitude, temps de calcul avec ces modalités par rapport aux méthodes de vision usuelles ainsi les conditions optimales d'utilisation sont d'un intérêt fondamental. L'objectif de cette journée était de réunir les acteurs de la perception visuelle bio-inspirée avec un focus sur les caméras événementielles, y compris à l'international. Désormais, de plus en plus de laboratoires utilisent les caméras événementielles grâce à la démocratisation notamment de la caméra DVS qui ouvre un nombre important d'applications qu'il reste à envisager. Le regain très récent de publications scientifiques autour des perceptions bio-inspirées montre l'activité de ce domaine de recherche.

#### 5. *Extraction d'attributs et apprentissage pour l'analyse des images télédétection*

*Organisateur(s)* : Abdourrahmane M. Atto (LISTIC), Lionel Bombrun (IMS), Sté-

phane May (CNES), Silvia Valero (CESBIO), Christian Germain (IMS).

*Date* : 8 octobre 2020.

*Description* : Les nouvelles générations de capteur d'imagerie en télédétection permettent d'offrir des images à haute (très haute) résolution spatiale/spectrale avec des fréquences de revisite jamais atteintes auparavant. La disponibilité de grands volumes de données d'images satellitaires et l'émergence de nouvelles méthodes d'apprentissage (deep learning) soulèvent des défis majeurs pour l'interprétation des données de télédétection et d'observation de la Terre.

L'objectif de cette réunion était de faire un point sur les derniers travaux de recherche associés à des méthodes avancées d'apprentissage de données de télédétection. Elle a porté sur les thèmes suivants :

- L'apprentissage automatique pour l'analyse des données télédétection.
- Les avancées en reconnaissance d'objets/de scènes par intelligence artificielle.
- Les méthodes d'apprentissage pour l'analyse de séries temporelles d'images satellitaires.
- La détection d'anomalies et la détection de changements par télédétection.

#### 6. *Capteurs visuels émergents : vision plénoptique*

*Organisateur(s)* : Guillaume Caron (MIS), Franck Ruffier (ISM), Pascal Vasseur (LITIS).

*Date* : 12 novembre 2020.

*Description* : Les caméras plénoptiques voient leur concept initial énoncé par Lippmann en 1908. Bien plus récemment, les grilles de caméras des années 1990 et l'apparition de caméras à matrice de micro-lentilles grand public et industrielles au début des années 2000, ont rendu ce concept disponible sur le marché. En parallèle, de nombreux autres prototypes, plus confidentiels, ont été réalisés. Des travaux ont été menés sur la modélisation et l'étalonnage de ces caméras non-conventionnelles ainsi que l'exploitation des informations photométriques redondantes à faible baseline qu'elles offrent. Au-delà des désormais très classiques remises au point a posteriori et images tout-focus, des travaux prédisent et estiment des cartes de profondeurs denses et précises, éliminent des occultations partielles et, plus récemment, s'attaquent aux flux plénoptiques. Les applications vont de la caractérisation optique de matériaux à la robotique en passant par l'analyse de mouvement 3D scene flow. L'objectif de cette journée était de réunir les acteurs de la perception visuelle plénoptique afin de faire le point sur ces recherches et de dégager des pistes de collaboration vers des travaux futurs.

#### 7. *Intelligence artificielle et apprentissage machine pour l'agriculture*

*Organisateur(s)* : Adel Hafiane (PRISME), Christelle Gée (INRA), Raphaël Canals (PRISME).

*Date* : 25 novembre 2020.

*Description* : Le secteur agricole doit faire face à de nombreux défis et à des changements structurels accentués par la démographie, le changement climatique, l'impact environnemental, les modes de consommation, la compétitivité, etc. Pour relever ces défis, le domaine agricole doit s'adapter et innover en s'appuyant sur les nouveaux moyens technologiques à disposition. Les technologies du numérique (la télédétection, les capteurs, l'internet des objets, le traitement du signal et des images, l'intelligence artificielle, la robotique, l'automatique, etc.),

se présentent comme un des leviers pour relever ces défis. Dans ce contexte, nous constatons, d'une part, un besoin croissant pour le traitement et l'analyse automatique des données issues de différents types de capteurs : signal, image, etc. D'autre part, les nouvelles méthodes, en particulier celles qui reposent sur des approches d'intelligence artificielle/apprentissage machine, associées aux progrès des calculateurs révolutionnent les domaines du numérique. L'objectif de cette journée était de présenter des contributions de chercheurs et industriels ayant entrepris des travaux innovants sur tous les aspects de l'intelligence artificielle de manière générale et l'apprentissage machine en particulier pour l'analyse et le traitement de données dans le contexte de l'agriculture.

#### **8. La géométrie de la vision et ses applications à l'imagerie**

*Organisateur(s)* : Edoardo Provenzi (IMB).

*Date* : 12 mai 2021.

*Description* : L'étude de la vision humaine trichromatique aux niveaux phénoménologique et neurophysiologique a montré l'exigence d'utiliser des techniques géométriques avancées : métriques hyperboliques, Riemanniennes et Finsleriennes, fibrés, gyro-structures, géométrie sous-Riemannienne, etc. Cette thématique pluridisciplinaire est essentielle à la réelle compréhension de la perception visuelle et, par conséquent, elle est fondamentale pour les applications de l'imagerie qui prévoient l'interaction avec le système visuel humain : représentation, compression et codification des images et des vidéos en couleur, rehaussement du contraste, balance de blanc automatique, définition rigoureuse des attributs colorimétriques, ingénierie de l'illumination, photographie computationnelle, etc. Cette journée a montré les avancées récentes dans le domaine de la géométrie de la vision humaine et de ses applications, avec une attention particulière aux modèles corticaux et au modèle quanta-relativiste de perception de la couleur de Berthier et Provenzi.

#### **9. Apprentissage automatique multimodal et fusion d'informations – 1<sup>ère</sup> journée**

*Organisateur(s)* : Su Ruan (LITIS) et Jenny Benois-Pineau (LABRI).

*Date* : 27 mai 2021.

*Description* : Nos expériences du monde sont multimodales, nous voyons des objets, entendons des sons, ressentons des textures, etc. La compréhension du monde qui nous entoure doit être en mesure d'interpréter ensemble de ces signaux multimodaux. C'est un domaine pluridisciplinaire, d'importance croissante et au potentiel extraordinaire. La nature des données multimodales est diversifiée : l'image hyper-spectrale, imagerie médicale multimodale, signaux des capteurs et image, image infra-rouge et dans le spectre visible, profondeur et image optique. Les formes de fusion : précoce, intermédiaire, tardive ont été largement explorées avec les outils d'apprentissage. Aujourd'hui un nouvel essor à ces techniques est donné par l'apprentissage profond. Cette journée a visé à montrer les progrès récents dans le domaine de la fusion des informations multimodales, notamment avec l'apprentissage automatique multimodal qui permet de créer des modèles capables de traiter et de relier des informations provenant de plusieurs modalités. Ces sujets ont été traités par deux conférences invitées et cinq exposés courts.

#### **10. Vers un apprentissage pragmatique dans un contexte de données visuelles labellisées limitées**

*Organisateur(s)* : Anissa Mokraoui (L2TI), Mustapha labbah (LIPN), Hanane Azzag (LIPN).

*Date* : 26 novembre 2021.

*Description* : Les réseaux de neurones convolutifs profonds ont offert de nombreux résultats impressionnants par exemple sur des tâches de classification d'images telles que la reconnaissance d'objets ou la classification de scènes. Cependant, pour qu'un réseau de neurones convolutifs profonds puisse avec succès apprendre à reconnaître des catégories visuelles, il est nécessaire de collecter et d'étiqueter manuellement des milliers d'exemples d'entraînement par catégorie cible et d'appliquer sur ceux-ci des algorithmes d'optimisation (en général itératifs) extrêmement coûteux en termes de ressources de calcul (centaines voire des milliers d'heures de GPU). De plus, dans le cas où une extension du modèle à d'autres catégories serait envisagée, il est nécessaire de collecter suffisamment de nouvelles données d'entraînement pour les nouvelles catégories et de recommencer la procédure d'apprentissage. Ces lourdes exigences ont poussé certains chercheurs à investiguer des pistes de recherche moins gourmandes en termes de données d'entraînement. L'idée étant de s'inspirer de la puissance du système visuel humain qui apprend de nouveaux concepts sans effort à partir de seulement quelques exemples et de les reconnaître de manière fiable. Reproduire le même mode de fonctionnement dans les systèmes de vision artificielle par apprentissage est un des objectifs des recherches actuelles pour de nombreuses applications notamment celle de la vision du monde réel. Cette journée avait pour objectif de proposer un état des lieux des avancées en vision artificielle par apprentissage automatique avec très peu de données labellisées sur les thèmes suivants : détection, reconnaissance, classification, segmentation.

**11. Apprentissage automatique multimodal et fusion d'informations – 2<sup>e</sup> journée**

*Organisateur(s)* : Didier Coquin (LISTIC), Mauro Dalla Mura (GIPSA-Lab), Su Ruan (LITIS).

*Date* : 19 janvier 2022.

*Description* : Les approches de fusion d'informations sont de plus en plus utilisées dans les applications industrielles et médicales dans lesquelles il existe un réel besoin de prendre en compte plusieurs types d'informations simultanément, même celles d'un expert. Les systèmes de fusion deviennent complexes car ils impliquent toutes les étapes de la chaîne de traitement de l'information (de l'extraction à la décision). Ils ont de nombreux paramètres et impliquent un temps de calcul important. Ils ne sont pas non plus faciles à utiliser et à ajuster par les utilisateurs finaux. L'objectif de cette journée était de réunir des chercheurs afin de présenter et de discuter des développements récents dans la conception de systèmes de fusion d'informations.

**12. Apprentissage automatique multimodal et fusion d'informations – 3<sup>e</sup> journée**

*Organisateur(s)* : Mauro Dalla Mura (GIPSA-lab), Didier Coquin (LISTIC), Su Ruan (LITIS).

*Date* : 15 décembre 2022.

*Description* : Suite aux journées « Apprentissage automatique multimodal et fusion d'informations » du 27/05/2021 et 19/01/2022, nous avons organisé la troisième édition sur cette thématique. Les approches de fusion d'informations sont de plus en plus utilisées dans les applications industrielles et médicales dans lesquelles il existe un réel besoin de prendre en compte plusieurs types d'informations simultanément, même celles d'un expert. Les systèmes de fusion deviennent

complexes car ils impliquent toutes les étapes de la chaîne de traitement de l'information (de l'extraction à la décision). Ils ont de nombreux paramètres et impliquent un temps de calcul important. Ils ne sont pas non plus faciles à utiliser et à ajuster par les utilisateurs finaux. L'objectif de cette journée était de réunir des chercheurs afin de présenter et de discuter des développements récents dans la conception de systèmes de fusion d'informations.

### 13. *Approches faiblement supervisées en télédétection*

*Organisateur(s)* : Thomas Oberlin (ISAE-SUPAERO), Yajing Yan (LISTIC), Ammar Mian (LISTIC), Stéphane May (CNES).

*Date* : 31 janvier 2023.

*Description* : Alors que certains scénarios d'apprentissage en observation de la Terre disposent de données labellisées en grand nombre, d'autres en revanche ne disposent que d'un faible nombre de données annotées, voire d'aucune annotation. De nombreuses recherches ont été menées ces dernières années pour s'adapter à ces contextes plus réalistes. On peut citer par exemple les techniques d'apprentissage semi-supervisé, qui utilisent une étape de labellisation semi-automatique en même temps que l'entraînement. D'autres approches, connues sous le nom d'adaptation de domaine ou d'apprentissage par transfert, proposent d'adapter des modèles appris préalablement sur d'autres jeux de données. Enfin, on peut citer également les approches purement non supervisées, apprises sur des données mais sans label, et pouvant être utilisées pour une représentation latente efficace, un désentrelacement ou une détection d'anomalie ou de changement. Le but de cette journée était de présenter certains principes importants de l'apprentissage faiblement supervisé, ainsi que quelques mises en oeuvre récentes en télédétection. Des présentations méthodologiques et d'autres plus applicatives ont permis d'élargir le spectre des applications, mais aussi, nous l'espérons, de motiver de nouveaux travaux qui prennent en compte les contraintes de l'observation de la Terre par la télédétection.

## 2. Journées inter-thèmes :

### 1. *Apport de l'information sémantique pour la vision par ordinateur*

*Organisateur(s)* : Hervé Le Borgne (CEA List), Nicolas Thome (CNAM), Liming Chen (CREATIS), Hervé Bredin (LIMSI), Alexandre Benoit (LISTIC), Jenny Benois-Pineau (LABRI).

*Date* : 6 avril 2018.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

### 2. *Extraction d'attributs et apprentissage pour l'analyse des images de télédétection*

*Organisateur(s)* : Abdourrahmane Atto (LISTIC), Loïc Denis (LHC), Nicolas Thome (CNAM), Stéphane May (CNES).

*Date* : 18 octobre 2018.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

### 3. *Images et data : méthodes d'analyse et modélisation pour l'agriculture numérique*

*Organisateur(s)* : Adel Hafiane (PRISME), Christelle Gée (INRA), Raphaël Canals (PRISME), Paul-Henry Cournède (MICS).

*Date* : 14 mars 2019.

*Description* : Réunion co-organisée avec les **Thèmes A et T**

#### 4. *Apprentissage faiblement supervisé ou non supervisé pour l'analyse d'images et de vidéo*

*Organisateur(s)* : Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Nicolas Thome (CNAM), Su Ruan (LITIS), Christian Wolf (LIRIS).

*Date* : 10 mai 2019.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

#### 5. *Visage, gestes, actions et comportement*

*Organisateur(s)* : Catherine Achard (ISIR), Christophe Ducottet (LHC), Olivier Alata (LHC).

*Date* : 14 novembre 2019.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

L'objectif de cette journée était de présenter des travaux concernant l'extraction du mouvement humain (visage, mains, corps, gestes) à partir de séquences vidéo, et son analyse à plus haut niveau (tâches, comportement), notamment pour des applications interactives ou de surveillance (video-surveillance, health monitoring, etc.). Les travaux présentés ont été d'ordre méthodologique (incluant les méthodes par apprentissage) et/ou applicatifs, et ont concerné les thèmes suivants : reconnaissance d'émotions (visage, audio, geste, etc.), reconnaissance de gestes interactifs, reconnaissance d'actions et d'activités, estimation de la posture articulée (corps entier, mains, etc.), étude de la synchronie des signaux non verbaux (mouvement de tête, tours de parole, geste, posture, etc.), modélisation et détection de l'engagement dans les interactions, modélisation et génération de comportements (avatar).

#### 6. *Tendances en évaluation de la qualité pour la compression et la sécurisation des contenus émergents*

*Organisateur(s)* : Aladine Chetouani (PRISME), Chaker Larabi (XLIM), Giuseppe Valenzise (L2S).

*Date* : 5 mai 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème D**

De nombreux travaux de recherche sont dédiés au développement de mesures de qualité des données multimédia (image, stéréo, vidéo, maillage 3D, etc). Différentes approches ont été proposées dans la littérature avec une exploitation de plus en plus forte de méthodes basées sur l'apprentissage (SVM, ANN, Deep Learning, etc.). Ces méthodes trouvent naturellement différents champs applicatifs. A titre d'exemple, on peut citer leur utilisation pour la reconnaissance de personne où l'objectif est de mesurer la fiabilité des données biométriques ou bien encore l'imagerie médicale pour s'assurer des acquisitions réalisées.

Au cours de cette journée, de nouvelles méthodes d'estimation de la qualité et leur exploitation dans les différentes applications ont été discutées. Une attention particulière a été portée aux applications industrielles ou académiques de type sécurité (tatouage, cryptographie, etc.) et/ou compression faisant intervenir l'évaluation de la qualité, sans pour autant exclure les autres domaines.

#### 7. *Apprentissage faiblement supervisé ou non supervisé pour l'analyse d'images et de vidéo*

*Organisateur(s)* : Christian Wolf (LIRIS), Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Su Ruan (LITIS) .

*Date* : 10 mai 2019.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

L'apprentissage supervisé est au cœur des techniques actuelles de computer vision et d'analyse d'images et de vidéos. Une des limitations des méthodes d'apprentissage supervisé est la nécessité de disposer de grandes bases de données étiquetées. Cet étiquetage peut être coûteux, voire impossible. Les approches d'apprentissage faiblement supervisé permettent de contourner le problème, en utilisant à la fois des données étiquetées ou non-étiquetées, ou des données partiellement étiquetées. L'objectif de la journée a été de faire le point sur les techniques d'apprentissage non-, semi- ou faiblement supervisé, de transfert de connaissance, de multiple instance learning, pour l'analyse d'images et de vidéos, mais aussi pour l'annotation automatique ou semi-automatique de grandes bases d'images, où de l'apprentissage incrémental est en jeu. Cette journée a été organisée conjointement avec le Thème T et l'action « Analyse, traitement et décision pour les données massives et multimodales en sciences du vivant » du Thème B. Elle a traité des contributions théoriques dans le domaine de l'apprentissage partiellement ou non-supervisé ainsi que des applications dans le domaine de la vision par ordinateur et de l'analyse d'images ou de séquences d'images médicales.

### 8. *Détection et segmentation d'objets*

*Organisateur(s)* : Hervé Le Borgne (CEA), Nicolas Thome (CNAM), Liming Chen (LIRIS), Hervé Bredin (LIMSI), Alexandre Benoit (LISTIC), Jenny Benois-Pineau (LABRI) .

*Date* : 4 juin 2019.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

La vision par ordinateur a pour but de doter les machines d'une capacité de vision similaire à celle des êtres humains. Aussi, dans ses tâches parmi les plus fondamentales, figurent des problèmes comme la classification, la détection d'objets, leur segmentation et suivi spatio-temporel dans les images et séquences vidéo. Leur résolution a des applications indénombrables, allant de la robotique, conduite autonome, jusqu'aux interactions homme-machine. Ces dernières années, le paradigme du deep learning a permis des progrès gigantesques sur ces problèmes. Néanmoins, de nombreux challenges sont encore à surmonter, notamment des difficultés liées aux raretés de données annotées au niveau d'objets utilisables pour l'apprentissage. Cette journée a fait un état des lieux des travaux en cours sur ces problèmes fondamentaux et abordé les thèmes suivants :

- Classification d'images et séquences vidéo, notamment des images non conventionnelles ;
- Détection d'objets dans les images et vidéos
- Segmentation d'instances d'objet
- Segmentation sémantique
- Transfer learning pour la classification, la détection d'objets et segmentation sémantique
- Nouvelles architectures de l'apprentissage profond pour la classification, la détection d'objets et segmentation sémantique
- Utilisation de la simulation pour la classification, la détection d'objets et segmentation sémantique
- Applications de la classification, la détection d'objets et segmentation sémantique

### 9. *Visage, gestes, actions et comportement*

*Organisateur(s)* : Catherine Achard (ISIR), Christophe Ducottet (LHC), Olivier

Alata (LHC).

Date : 14 novembre 2019.

Description : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

**10. Panorama des initiatives pour l'aide au diagnostic de la Covid-19 par l'imagerie médicale**

Organisateur(s) : Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Nicolas Thome (CNAM), Su Ruan (LITIS) .

Date : 16 avril 2020.

Description : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

Notre communauté scientifique s'interroge sur la manière de contribuer efficacement à la lutte contre la pandémie de Covid-19. Nous sommes sollicités à différents niveaux, par des collègues, nos tutelles et au travers d'appels d'offres d'organismes financeurs locaux, nationaux et internationaux. Certains d'entre nous ont entrepris des actions individuelles et aimeraient pouvoir amplifier leur action, d'autres souhaiteraient contribuer dans le cadre d'une collaboration et avoir une meilleure visibilité des actions ou projets en cours ainsi que des appels d'offres nationaux (CNRS, INSERM, etc.) et internationaux. Les membres du GdR ISIS impliqués dans les Thèmes B et T réunissent des compétences fortes en analyse d'images et/ou de données cliniques associées qui pourraient permettre de développer des modèles de diagnostics mais surtout prédictifs de la trajectoire des patients afin d'adapter au mieux leur prise en charge (Prédiction d'admission en soins intensifs, etc.) La communauté internationale se mobilise massivement sur ce thème. Les premiers travaux d'équipes chinoises et nord-américaines sur la place de la radiologie pulmonaire ou du scanner dans le diagnostic viennent d'être publiés. Pour ces travaux, l'accès aux données est crucial. Dans le souci de préserver les patients, cet accès est freiné par la législation sur les données personnelles. Cependant, certaines bases de données anonymisées commencent à être répertoriées et mises à la disposition de la communauté. L'objectif de cette réunion était de dresser un état de l'art des projets initiés ou en cours d'élaboration, et des bases de données existantes au niveau national et international, de faciliter la mise en réseau des collègues de la communauté ISIS et Apprentissage pour accélérer la mise en œuvre de projets nationaux.

**11. Analyse d'images médicales pour la prise en charge des patients atteints par la Covid-19 (2<sup>e</sup> journée sur la Covid-19)**

Organisateur(s) : Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Nicolas Thome (CNAM), Su Ruan (LITIS) .

Date : 5 mai 2020.

Description : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

Suite au succès de la première réunion en ligne « Panorama des initiatives pour l'aide au diagnostic du Covid-19 par l'imagerie médicale », le 16 avril 2020, une 2<sup>ème</sup> édition de celle-ci a été organisée sur le Covid-19. L'imagerie médicale comme les rayons X et la tomodensitométrie (TDM) joue un rôle essentiel dans la lutte mondiale contre le Covid-19. Les technologies d'intelligence artificielle (IA) émergentes renforcent la puissance des outils de l'analyse des images pour aider les médecins. L'objectif de cette réunion était de faire un tour d'horizon de l'application de l'IA en imagerie médicale pour lutter contre le Covid-19. Le Pr Dinggang SHEN (UNC, USA), renommé dans le domaine de l'imagerie médicale, a présenté les récents travaux sur l'application de l'IA dans le diagnostic et la

prédiction de la progression du Covid-19 à partir de l'imagerie médicale.

**12. Vision 3D et apprentissage**

*Organisateur(s)* : Adrien Bartoli (Institut Pascal), Cédric Demonceaux (ImViA), Vincent Lepetit (Imagine) .

*Date* : 26 mai 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

**13. Apprentissage auto-supervisé et non-supervisé de représentations**

*Organisateur(s)* : Nicolas Thome (CNAM), Christian Wolf (LIRIS).

*Date* : 9 juin 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

**14. Extraction d'attributs et apprentissage pour l'analyse des images de télédétection**

*Organisateur(s)* : Sophie Giffard-Roisin (ISerre), Jordi Inglada (Cesbio), Charlotte Pelletier (IRISA).

*Date* : 10 octobre 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

**15. Intelligence artificielle et apprentissage machine pour l'agriculture**

*Organisateur(s)* : Adel Hafiane (PRISME), Christelle Gée (INRA), Raphaël Canals (PRISME).

*Date* : 25 novembre 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

**16. Recent advances in machine learning for computer aided diagnosis and prognosis based on medical imaging**

*Organisateur(s)* : Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Nicolas Thome (CNAM), Su Ruan (LITIS) .

*Date* : 1<sup>er</sup> décembre 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

In recent years, artificial intelligence, especially machine learning has received considerable attention to explore and structure multidimensional and multimodality medical imaging data, especially for the design of diagnosis models, aiming at detecting, localizing and characterizing pathological patterns in the data. Some academic works also recently explored the potential of artificial intelligence for predicting the course and outcome of diseases. This one-day workshop gathered researchers in deep machine learning, computer vision and/or medical image analysis as well companies and AI-based startups in the medical image field. It started by reviewing state-of-the art achievements in the domain of computer aided diagnosis (including patient screening, detection, segmentation..) and prognosis models based on medical imaging for different clinical applications. Then, it covered some challenges that need to be addressed to foster the development of these diagnosis and prognosis models. This included methodological questions such as uncertainty and interpretability of the deep learning based models, as well as strategies regarding the evaluation framework of models performance (challenges, standardisation of the performance metrics, etc.) and the access to structured medical image database.

**17. Visage, gestes, actions et comportement**

*Organisateur(s)* : Catherine Achard (ISIR), Christophe Ducottet (LHC), Olivier

Alata (LHC).

*Date* : 12 janvier 2021.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

L'objectif de cette journée était de présenter des travaux concernant l'extraction du mouvement humain (visage, mains, corps, gestes) à partir de séquences vidéo, et son analyse à plus haut niveau (tâches, comportement), notamment pour des applications interactives ou de surveillance (video-surveillance, health monitoring, etc.). Les travaux présentés ont été d'ordre méthodologique (incluant les méthodes par apprentissage) et/ou applicatifs, et ont concerné les thèmes suivants : reconnaissance d'émotions (visage, audio, geste, etc.), reconnaissance de gestes interactifs, reconnaissance d'actions et d'activités, estimation de la posture articulée (corps entier, mains, etc.), étude de la synchronie des signaux non verbaux (mouvement de tête, tours de parole, geste, posture, etc.), modélisation et détection de l'engagement dans les interactions, modélisation et génération de comportements (avatar).

#### 18. *Diagnostic et pronostic pour la Covid-19*

*Organisateur(s)* : Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LISTIC), Nicolas Thome (CNAM) .

*Date* : 25 janvier 2021.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

L'objectif de cette réunion a été de faire le bilan des avancées pour la mise au point de méthodes de diagnostic et de pronostic afin de faire face à la pandémie de la Covid-19. Les membres du GdR ISIS impliqués dans les thèmes B et T réunissent des compétences fortes en analyse d'images et/ou de données cliniques associées pour développer des modèles de diagnostic mais surtout prédictifs de la trajectoire des patients afin d'adapter au mieux leur prise en charge (Prédiction d'admission en soins intensifs, etc.) Le GdR ISIS a coordonné les initiatives de la communauté nationale pour faire face à la Covid-19 autour d'un groupe de travail structuré autour de 4 actions.<sup>7</sup> Cette journée a fait suite à deux réunions qui se sont déroulées en avril et mai 2020 sur le sujet.

#### 19. *Explicabilité et interprétabilité des méthodes d'Intelligence Artificielle pour la classification et compréhension des scènes visuelles*

*Organisateur(s)* : Nicolas Thome (CNAM), Jenny Benois-Pineau (LABRI), (LISTIC), Su Ruan (LITIS).

*Date* : 7 avril 2021.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

Le sujet de l'explicabilité et de l'interprétabilité des décisions des outils d'apprentissage profond a un fort impact sociétal. Les thèmes proposés ont été : l'explication des caractéristiques générées par des couches de convolution des réseaux profonds convolutionnels, les mécanismes d'attention dans les réseaux neuronaux profonds et leur explication ; pour les données temporelles, l'explication des caractéristiques et des moments les plus importants pour la prédiction et des intervalles de temps où la contribution de chaque donnée est importante ; comment l'explication peut aider à rendre les architectures d'apprentissage profond plus parcimonieuses et plus légères ; lors de l'utilisation de données multimodales, comment les prédictions dans les flux de données sont corrélées et s'expliquent entre elles ; la génération automatique d'explications / justifications des décisions

7. <http://www.gdr-isis.fr/news/7135/121/Action-Covid-19-du-GdR-ISIS.html>

des algorithmes et des systèmes; typologie des méthodes d'explication : boîtes noires et boîtes blanches; évaluation des explications générées par l'apprentissage en profondeur et d'autres systèmes d'IA. Ces sujets ont été développés dans 1 conférence invitée et 7 exposés courts.

**20. Réseaux de neurones pour les problèmes inverses en imagerie satellite**

*Organisateur(s)* : Andrés Almansa (MAP5), Thomas Oberlin (ISAE), Pierre Weiss (IMT).

*Date* : 10 septembre 2021.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

Les réseaux de neurones sont devenus incontournables pour la vision artificielle et l'extraction d'information dans les images. Depuis plusieurs années, ils sont également en train de révolutionner des tâches de traitement d'images plus bas-niveau, comme le débruitage ou la super-résolution. Cette journée a été consacrée à l'utilisation des réseaux de neurones pour résoudre des problèmes inverses en imagerie. Le but était de faire un tour d'horizon des récentes avancées méthodologiques, et de présenter des applications pour l'imagerie satellite. Le programme a abordé les thématiques suivantes : approches supervisées, basées modèle (unrolling/unfolding), approches de régularisation découplée (plug-and-play, deep generative prior), méthodes non supervisées (deep image prior), et auto-supervisées.

**21. Deep learning with weak or few labels in medical image analysis**

*Organisateur(s)* : Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Nicolas Thome (CNAM), Mireille Garreau (LTSI).

*Date* : 1<sup>er</sup> février 2022.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

In recent years, artificial intelligence, especially deep learning, has received a lot of attention to explore and structure multidimensional and multimodality medical imaging data for a wide variety of tasks ranging from low to high level image processing and analysis such as segmentation, image synthesis, diagnosis and prognosis models characterizing pathological patterns in the data or predicting the course and outcome of diseases, respectively, as well as therapy monitoring. The amount of high-quality annotated data is critical for the training of deep learning networks; however in the medical field, annotations are known to be costly to acquire. Hence, many approaches have been set up to address the lack of labels, the small quantity of labels, noisy labels, based on training strategies, novel architectures or data generation etc. This one-day workshop gathered researchers in deep machine learning, computer vision and/or medical image analysis as well as companies and AI-based startups in the medical image field, interested on how to mitigate the need for large amounts of annotated data in deep learning, for various medical image analysis tasks such as image segmentation, registration, detection, image super-resolution, and image synthesis.

**22. Signal and image processing in neuroscience**

*Organisateur(s)* : Régine Le Bouquin Jeannès (LTSI), Radu Randa (CRAN).

*Date* : 12 mai 2022.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème A**

The modeling and analysis of brain activity involves very large and diverse scientific areas, from mathematics to psychology, passing through biology and engineering. This workshop focused on recent advances in signal and image processing

having applications in neuroscience. Different research directions were explored such as estimating the brain sources activities using signals and images acquired at different time and space scales and different modalities, or inferring cerebral connectivity from these signals, elaborating and analyzing the dynamic graphs modeling the brain networks. Neuroscientific applications were also presented, including medical diagnosis assistance for different pathologies (epilepsy, Alzheimer's disease, etc.) and the understanding of fundamental cognitive tasks.

**23. Generative models : control and (mis)usage**

*Organisateur(s)* : Hervé Le Borgne (CEA), Alexandre Benoit (LISTIC), Nicolas Audebert (CNAM).

*Date* : 31 mai 2022.

*Description* : Réunion co-organisée avec les **Thèmes A et T**

**24. Visage, gestes, actions et comportement**

*Organisateur(s)* : Catherine Achard (ISIR), Alice Othmani (LiSSi), Olivier Alata (LHC), Christophe Ducottet (LHC).

*Date* : 14 juin 2022.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

L'objectif de cette journée était de présenter des travaux concernant l'extraction du mouvement humain (visage, mains, corps, gestes) à partir de séquences vidéo, et son analyse à plus haut niveau (tâches, comportement), notamment pour des applications interactives ou de surveillance (video-surveillance, health monitoring, etc.). Une session spécifique a été dédiée à l'analyse des émotions. La journée a été ponctuée de deux conférences invitées : Cloé Clavel ("Natural Language Processing and User's Social Behaviour Analysis in Conversational AI Systems"), Ivan Laptev ("Towards embodied multi-modal visual understanding").

**25. Signal, image et intelligence artificielle pour l'agriculture numérique – 3<sup>e</sup> journée**

*Organisateur(s)* : Adel Hafiane (PRISME), Christelle Gée (Agroécologie), Raphaël Canals (PRISME).

*Date* : 24 février 2023.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

**26. IA et réseaux de neurones profonds, ouvrir la boîte noire : du modèle explicable à la synthèse et présentation d'explications en signal et image**

*Organisateur(s)* : Alexandre Benoit (LISTIC), Nicolas Audebert (CNAM), Jenny Benois-Pineau (LABRI), Nicolas Thome (CNAM), Hervé Le Borgne (CEA) et al.

*Date* : 13 mars 2023.

*Description* : Réunion co-organisée avec les **GdR IGRV, GdR IA, Club EEA et Thème T**

**3. Journées inter-GdR :**

**1. Vision omnidirectionnelle**

*Organisateur(s)* : Guillaume Caron (MIS), Pascal Vasseur (LITIS), Pascal Morin (ISIR).

*Date* : 10 Octobre 2018.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **GdR ROBOTIQUE**

L'objectif de cette journée a été de se retourner vers le quart de siècle de recherches en vision omnidirectionnelle, en rassemblant les acteurs du domaine, y

compris à l'international. La vision omnidirectionnelle a, tout d'abord, été l'apanage d'acteurs académiques autour de la vision catadioptrique panoramique, de la vision poly-dioptrique panoramique ou sphérique. En effet, il a d'abord fallu concevoir les caméras permettant de réaliser cette vision omnidirectionnelle, modéliser ces caméras et redéfinir les traitements d'image classiques et en proposer de nouveaux. La vision omnidirectionnelle a, dès 1993, eu une histoire étroitement liée à la robotique, mobile en particulier, mais sans s'y restreindre, grâce à la perception visuelle panoramique instantanée qui montre toute sa puissance quand la caméra est mise en mouvement par un robot, de surcroît dans un environnement dynamique. Désormais, de plus en plus de caméras à champ de vue panoramique et sphérique sont sur le marché à des coûts très raisonnables, montrant la démocratisation de ce type de caméra et ouvrant un nombre important d'applications qu'il reste à envisager. Le regain très récent de publications scientifiques autour des caméras sphériques montre l'activité de ce domaine de recherche. L'ensemble des thèmes associés à la vision omnidirectionnelle, en particulier dans le contexte robotique, a été abordé à travers un panel d'orateurs invités, proposant une vue d'ensemble d'un des thèmes listés plus haut. La journée a donné lieu à 4 présentations invitées et 4 contributions orales.

## 2. Journées Imagerie Optique Non Conventiionnelle – 14<sup>e</sup> édition

*Organisateur(s)* : Corinne Fournier (LHC), Julien Fade (Institut Foton), Matthieu Boffety (LCF).

*Date* : 18-19 mars 2019.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **GdR Ondes**

L'imagerie non conventionnelle, contrairement à l'imagerie conventionnelle, permet d'accéder à des grandeurs physiques non directement accessibles. Ces grandeurs sont reconstruites par traitements numériques à partir d'images/signaux acquis grâce à des systèmes optiques dédiés. Les modalités d'imagerie non conventionnelle typiques sont la polarimétrie, l'interférométrie, l'imagerie hyperspectrale, etc.

L'amélioration des capteurs, la miniaturisation, l'augmentation des capacités de calcul, le développement de nouveaux composants optiques permettent de rendre ces systèmes d'imagerie plus quantitatifs, plus compacts, et/ou plus bas-coût. Ce type d'imagerie nécessite une forte interaction entre la conception optique, le traitement du signal et des images, et le développement de nouvelles technologies de capteurs. Ces systèmes sont utilisés dans de nombreux domaines allant du biomédical à l'industrie automobile. À l'interface de ces thématiques, ces journées visent à réunir les acteurs nationaux (chercheurs, ingénieurs, académiques ou industriels) de ces différents domaines, afin d'échanger sur les plus récents développements de systèmes ou de traitements pour l'imagerie non-conventionnelle et d'évaluer leurs applications potentielles.

Elles ont donné lieu à 2 présentations invitées, 23 contributions orales de 20 minutes au cours de huit sessions thématiques, 10 contributions sous forme de posters et a réuni quatre-vingt participants. Six présentations incluaient des contributeurs internationaux. Une part notable des contributions impliquait des entreprises et des organismes de recherche (ONERA, CEA, CNES, Thales, Quantel, Imagine Optics, T-waves). La représentativité féminine a été respectée (1 oratrice invitée (50%), 6 présentatrices (25 %)).

## 3. Apprentissage et robotique

*Organisateur(s)* : Christian Wolf (LIRIS), David Filliat (ENSTA), Cédric Demonceaux (ImViA).

*Date* : 5 Avril 2019.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **GdR ROBOTIQUE et Thème T**

Cette journée avait pour objectif d'offrir l'opportunité d'échanges sous forme d'exposés et de discussions entre des chercheurs de différentes communautés (robotique, apprentissage statistique, traitement de signal et des images etc.) travaillant sur l'apprentissage pour les différents aspects de la robotique (perception, contrôle, navigation, boucles action / perception, etc.). L'intérêt principal de la journée était d'amorcer des discussions et des collaborations entre chercheurs en IA travaillant sur des approches très différentes et parfois opposées les unes aux autres. La journée avait lieu à Télécom Paris. 160 personnes se sont inscrites, atteignant la capacité maximale de la salle. Les organisateurs de la journée avaient invité deux orateurs : Jean-Baptiste Mouret, DR INRIA à Nancy, et Prof. Vincent Lepetit, professeur à l'Université de Bordeaux. Le programme a été complété par 7 interventions orales et 6 interventions sous forme de posters. Le programme a couvert une grande variété de contributions à l'intersection entre apprentissage et robotique : apprentissage d'agents réels ou virtuels à partir d'interactions, apprentissage de contrôle de bras robotique (grasping), perception pour la robotique, apprentissage de la navigation, estimation de forces à partir d'images, etc.

#### 4. *Vision biologique et artificielle dans le traitement des images et l'apprentissage*

*Organisateur(s)* : Edoardo Provenzi (IMB) pour le GdR ISIS ; Anna Montagnini, Laurent Perrinet et Manuel Vidal pour le GdR Vision.

*Date* : 10 Octobre 2019.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **GdR VISION**

La modélisation des caractéristiques biologiques, neuro-physiologiques, perceptuelles et cognitives est devenue de plus en plus importante pour inspirer le développement de nouveaux algorithmes en traitement d'images et vision par ordinateur. D'un autre côté, certains outils mathématiques et informatiques typiques de l'analyse des images sont couramment utilisés pour étudier les propriétés intrinsèques de la vision humaine. Cette journée a permis de mettre en relation les chercheurs qui travaillent sur les différents aspects de la vision humaine et ceux qui s'intéressent à ses applications. Un accent particulier a été mis sur le lien entre le cerveau et l'apprentissage profond, sur les similitudes et différences entre la vision artificielle et celle biologique et sur le predictive coding qui est très présent dans certains modèles récents de vision artificielle, et, à la fois, qui a une place importante en neurosciences cognitives.

#### 5. *Co-conception : capteurs hybrides et algorithmes pour des systèmes innovants*

*Organisateur(s)* : Andrés Almansa (MAP5), Matthieu Boffety (LCF), Yohann Tondero (IPSA), Pauline Trouvé-Peloux (ONERA).

*Date* : 24 octobre 2019.

*Description* : Réunion co-organisée avec les **GdRs Ondes et MIA**

La thématique de cette journée était les nouvelles approches de conception de systèmes d'acquisition pour lesquelles le dispositif d'imagerie, de détection ou de mesure est fortement associé aux traitements numériques. Cette thématique est pluridisciplinaire et regroupe différents domaines tels que la photographie

numérique, la microscopie, l'astronomie ou l'imagerie radar. De nouveaux dispositifs d'acquisition sont développés pour dépasser les performances des systèmes traditionnels, en termes de qualité de signal, d'encombrement, de consommation d'énergie ou pour leur ajouter de nouvelles fonctionnalités. Le principe est d'utiliser un dispositif d'acquisition qui favorise l'efficacité des traitements numériques, quitte à dégrader la qualité visuelle apparente du signal brut en sortie du détecteur. Ces approches conduisent au développement de nouveaux systèmes « non conventionnels » ou « hybrides » pour lesquels l'instrument et les traitements numériques sont indissociables. L'enjeu principal de la conception de ces nouveaux systèmes est d'optimiser simultanément les paramètres de l'instrument et des traitements. On parle alors de conception conjointe ou de co-conception.

Le but de ces journées était de favoriser les échanges entre tous les acteurs (industriels, académiques) de toutes les disciplines intéressées par ces nouvelles approches. Le programme a été divisé en 4 sessions autour des thématiques suivantes : approche co-conception instrument/traitement, imagerie satellitaire, microscopie, et modalités innovantes pour l'imagerie biomédicale. Ces sessions ont regroupé 14 interventions orales et un peu plus de 50 participants. Les contributions provenaient du monde académique, mais il est à noter que de nombreux industriels étaient présents dans l'auditoire (Thales Optronique, Thales Air System, Airbus, Valeo).

#### 6. *Journées Imagerie Optique Non Conventionnelle – 15<sup>e</sup> édition*

*Organisateur(s)* : Corinne Fournier (LHC), Julien Fade (Institut Foton), Matthieu Boffety(LCF).

*Date* : 11-12 mars 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **GdR Ondes**

À l'interface de l'optique et du traitement du signal/image, ces rencontres visent à réunir les acteurs nationaux (chercheurs, ingénieurs, académiques ou industriels) de ces différents domaines, afin d'échanger sur les plus récents développements de systèmes ou de traitements pour l'imagerie non-conventionnelle et d'évaluer leurs applications potentielles.

Cette année, une matinée de session spéciale sur le thème de "l'imagerie d'objets non résolus" a été organisée. En effet, l'imagerie d'objets non résolus recouvre un large panel de techniques expérimentales exploitées en biologie, chimie moléculaire (PALM-STORM), médecine (ULM) ou en mécanique des fluides (PIV). La phénoménologie commune des images (superpositions de motifs élémentaires d'objets indiscernables) explique les similarités méthodologiques des traitements mis en oeuvre (variantes de l'algorithme CLEAN, approches parcimonieuses, etc.) dans ces différents domaines applicatifs.

L'objet de cette session spéciale était de réunir les acteurs de contributions méthodologiques (conception de systèmes d'imagerie, méthodes de reconstruction) pour échanger sur les problématiques et avancées d'intérêt commun. Elle a commencé par une conférence invitée de Daniel Sage (EPFL, Lausanne, Suisse) intitulée "Computational imaging : the quest of super-resolution in 3D fluorescence microscopy". Elle s'est poursuivie par des communications issues des contributions reçues pour cette session spéciale.

#### 7. *Photographie computationnelle*

*Organisateur(s)* : Edoardo Provenzi (IMB) pour le GdR ISIS ; Céline Loscos, Rémy Cozot pour le GdR IG-RV.

*Date* : 4 juin 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **GdR IG-RV**

3 présentations de 40 minutes par Neus Sabater, Giuseppe Valenzise et Nicolas Bonneel sur des sujets très actuels : « field », qualité subjective et objective de l'expérience et répliquabilité en informatique graphique. Neus Sabater a montré comment la limitation angulaire des light field peut être améliorée grâce à des techniques d'apprentissage profond. Giuseppe Valenzise a mis l'accent sur l'évaluation de la qualité pour les images à haute gamme dynamique. Nicolas Bonneel a discuté une étude de répliquabilité des papiers publiés à Siggraph, elle-même publiée à Siggraph 2020, avec des expériences sur 151 codes et binaires issus de 374 articles Siggraph 2014, 2016 et 2018.

#### 8. **Apprentissage et robotique**

*Organisateur(s)* : Cédric Demonceaux (ImViA), David Filliat (ENSTA), Christian Wolf (LIRIS).

*Date* : 22 Juin 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **GdR ROBOTIQUE et Thème T**

Le but de cette réunion était d'offrir l'opportunité d'échanges sous forme d'exposés de différentes communautés (robotique, apprentissage statistique, traitement de signal et des images etc.) travaillant sur l'apprentissage pour les différents aspects de la robotique (perception, contrôle, navigation, boucles action / perception, etc.). Les organisateurs de la journée avaient invité deux orateurs : Josef Sivic, DR INRIA, et Prof. Justus Piater, professeur à l'Universität Innsbruck. Le programme comptait aussi 9 interventions sous forme de posters.

#### 9. **Journées Imagerie Optique Non Conventiionnelle – 16<sup>e</sup> édition**

*Organisateur(s)* : Corinne Fournier (LHC), Nicolas Verrier (IRIMAS), Matthieu Boffety (LCF).

*Date* : 31 mars - 1<sup>er</sup> avril 2021.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **GdR Ondes**

Les « Journées Imagerie Optique Non-Conventionnelle » (JIONC) réunissent depuis plus de 15 ans les acteurs nationaux (chercheurs, ingénieurs, académiques ou industriels) afin d'échanger sur les plus récents développements de systèmes ou de traitements pour l'imagerie non-conventionnelle et d'évaluer leurs applications potentielles.

Cette édition a été organisée dans un contexte particulier marqué par la crise sanitaire liée à la Covid-19. Néanmoins, les organisateurs et le comité de programme ont tout mis en œuvre pour que ces journées gardent l'esprit originel d'échange et de pluridisciplinarité des JIONC. La réunion s'est déroulée sur deux jours, entièrement en distanciel, via l'outil Webex. Elle n'a donné lieu qu'à une seule présentation invitée par Virginie Chamard (Institut Fresnel) sur la ptychographie rayons X pour l'imagerie 3D des biomatériaux. La communauté a largement répondu présent puisque l'exposé invité fut suivi par 29 présentations orales de 20 minutes réparties en 8 sessions thématiques et 7 contributions sous forme de posters. La représentativité féminine a été respectée avec 8 présentatrices dont une invitée. Six contributions incluaient des contributeurs internationaux. Une part des contributions impliquait des entreprises et des organismes de recherche publics et privés (ONERA, CEA, SAFRAN, Airbus Defence and Space, Damae medical, Carbon Bee AgTech).

**10. Co-conception : capteurs hybrides et algorithmes pour des systèmes innovants**

*Organisateur(s)* : Andrés Almansa (CNRS, MAP5), Matthieu Boffety (LCF), Marie-Anne Burcklen (Institut Fresnel), Yohann Tendero (IPSA), Pauline Trouvé-Peloux (ONERA).

*Date* : 18 mai 2021.

*Description* : Réunion co-organisée avec les **GdRs Ondes et MIA**

La conception de systèmes d'acquisition d'images a connu un renouveau grâce aux approches « co-conçues » pour lesquelles le dispositif d'imagerie, de détection ou de mesure est étroitement associé aux algorithmes employés pour traiter les données.

Dans de nombreux domaines, tels que la photographie numérique, la microscopie, la télédétection, l'astronomie ou l'imagerie radar, de nouveaux dispositifs d'acquisition sont développés pour dépasser les performances des systèmes traditionnels, en termes de qualité image, d'encombrement, de poids, de consommation d'énergie ou pour ajouter de nouvelles fonctionnalités aux caméras et instruments d'acquisition d'images et de vidéos. La conception de ces nouveaux instruments repose souvent sur une approche pluridisciplinaire pour modéliser et optimiser simultanément les paramètres de l'instrument et les traitements numériques en tenant compte des contraintes de l'application visée. La conception conjointe conduit à développer de nouveaux instruments dits non-conventionnels ou hybrides, où l'instrument et les traitements sont indissociables.

L'objectif de cette rencontre était de favoriser les échanges entre les acteurs industriels et académiques de toutes les disciplines intéressées par ces nouvelles approches. Il y eut deux orateurs invités : Gordon Wetzstein (Stanford University), Rafael Falcon (DXOMark).

**11. Apprentissage et robotique**

*Organisateur(s)* : Cédric Demonceaux (ImViA), David Filliat (ENSTA), Christian Wolf (LIRIS).

*Date* : 29 juin 2021.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **GdR ROBOTIQUE et Thème T**

Il s'agissait de la troisième réunion commune entre le GDR ISIS et le GDR ROBOTIQUE sur le thème "Apprentissage et Robotique". Le but de la réunion était d'offrir l'opportunité d'échanges sous forme d'exposés de différentes communautés (robotique, apprentissage statistique, traitement de signal et des images, etc) travaillant sur l'apprentissage pour les différents aspects de la robotique (perception, contrôle, navigation, boucles action / perception, etc.).

**12. Explication des modèles des réseaux profonds en problèmes de classification, d'amélioration et d'interprétation des images et des signaux/données**

*Organisateur(s)* : Nicolas Thome (CNAM), Jenny Benois-Pineau (LABRI), Alexandre Benoit (LISTIC), Romain Vuillemot (LIRIS), Romain Bourqui (LABRI).

*Date* : 11 octobre 2021.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **GdR IGRV et Thème B**

**13. Journées Imagerie Optique Non Conventionnelle – 17<sup>e</sup> édition**

*Organisateur(s)* : Corinne Fournier (LHC), Nicolas Verrier (IRIMAS), Matthieu Boffety (LCF).

*Date* : 17-18 mars 2022.

*Description* : Réunion co-organisée avec les **GdR Ondes et Imabio**

Pour cette édition, nous avons eu le plaisir d'accueillir deux présentations invitées données par Christine Fernandez-Maloigne (XLIM) et Caroline Kulcsar (LCF). Nous avons proposé aussi, en plus des thématiques habituelles, une session spéciale sur le thème des "Problèmes ouverts en imagerie pour la biologie", à la frontière des GdR Imabio et ISIS.

#### 14. *Capteurs visuels émergents pour la robotique*

*Organisateur(s)* : Brahim Tamadazte (ISIR), Guillaume Caron (MIS), Nathanaël Jarassé (ISIR), Pascal Vasseur (MIS), Franck Ruffier (ISM).

*Date* : 10 novembre 2022.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **GdR ROBOTIQUE**

Les GdR ISIS et Robotique se sont associés pour l'organisation d'une journée de travail autour des capteurs visuels émergents et leurs applications, notamment en robotique. Nous constatons sur les trois dernières décennies, l'émergence de capteurs visuels de plus en plus variés. A titre d'exemples, les caméras à temps de vol, les caméras événementielles, les caméras plénoptiques, les capteurs visio-tactiles, etc., auxquels s'ajoutent de nombreux capteurs d'imagerie médicale de plus en plus performants. Ces capteurs permettent d'obtenir des informations de nature et de physique différentes comme la couleur, la profondeur (ou les deux associés), le mouvement, etc. En conséquence, de nombreuses activités de recherche ont émergé et leur point commun est l'utilisation des informations visuelles issues de ces capteurs, pour caractériser l'environnement dans ses états statique et dynamique, la commande de véhicules ou de robots, ou encore en médecine pour la surveillance, le diagnostic et l'intervention. L'objectif de cette journée était de réunir les deux communautés autour d'un panel d'invités exposant leurs travaux au sujet de capteurs visuels innovants à fort potentiel d'applications : la tomographie à cohérence optique, la microscopie électronique à balayage, les capteurs visio-tactiles, les caméras de profondeurs, les caméras sphériques, les capteurs plénoptiques, l'imagerie polarimétrique, etc.

#### 15. *Journées Imagerie Optique Non Conventionnelle – 18<sup>e</sup> édition*

*Organisateur(s)* : Corinne Fournier (LHC), Nicolas Verrier (IRIMAS), Alice Fontbonne (ONERA).

*Date* : 30 mars-1<sup>er</sup> avril 2023.

*Description* : Réunion co-organisée avec les **GdR Ondes et Imabio**

L'imagerie non conventionnelle, contrairement à l'imagerie conventionnelle, permet d'accéder à des grandeurs physiques (opacité, indice optique, propriété de polarisation d'une onde, composition chimique d'un objet, etc.) non directement accessibles. Ces grandeurs sont reconstruites par traitements numériques à partir d'images/signaux acquis grâce à des systèmes optiques dédiés. Les modalités d'imagerie non conventionnelle typiques sont : la polarimétrie, l'interférométrie, l'imagerie hyperspectrale. L'amélioration des capteurs, la miniaturisation, l'augmentation des capacités de calcul, le développement de nouveaux composants optiques permettent de rendre ces systèmes d'imagerie plus quantitatifs, plus compacts, et/ou plus bas-coût. Ce type d'imagerie nécessite une forte interaction entre la conception optique, le traitement du signal et des images, et le développement de nouvelles technologies de capteurs pour pouvoir développer de nouveaux dispositifs permettant d'accéder à des grandeurs physiques variées comme le déphasage, le changement de polarisation, la dispersion des échantillons. Cette richesse d'information permet d'améliorer la détection, la caractérisation quanti-

tative ainsi que la classification des objets imagés. Ces systèmes sont utilisés dans de nombreux domaines allant du biomédical à l'industrie automobile.

Les Journées Imagerie Optique Non-Conventionnelle (JIONC) visent depuis plus de 15 ans à réunir les acteurs nationaux (chercheurs, ingénieurs, académiques ou industriels) de ces différents domaines, afin d'échanger sur les plus récents développements de systèmes ou de traitements pour l'imagerie non-conventionnelle et d'évaluer leurs applications potentielles. Deux sessions spéciales ont été proposées : "Problèmes ouverts en imagerie pour la biologie" et "Imagerie Spatiale".

## 2.3 Thème C : Adéquation Algorithme Architecture pour le TdSI

### Directeurs scientifiques adjoints :

- Christophe Jégo (→ 06/2021)  
PU61, IMS (UMR CNRS 5218), INP de Bordeaux, Université de Bordeaux
- Jean-François Nezan  
PU61, IETR (UMR CNRS 6164), INSA de Rennes
- Virgine Fresse (06/2021 →)  
MCF61, LHC (UMR CNRS 5516), Télécom St-Étienne
- Matthieu Gautier (01/2023 →)  
MCF61, IRISA (UMR CNRS 6074), Université de Rennes

### 2.3.1 Présentation générale

Le Thème C joue un rôle transversal vis-à-vis des autres thèmes du GdR ISIS, dont sont issus les algorithmes à implanter, mais également vis-à-vis d'autres GdRs qui traitent des supports d'exécution tel que le GdR SOC2. Ce rôle est primordial puisqu'il consiste à rapprocher l'application de son support d'exécution. Ce positionnement permet d'ouvrir de nouvelles explorations architecturales, aussi bien au niveau algorithmique qui bien souvent est restreint par des capacités de calcul limitées, qu'au niveau architectural où des propriétés applicatives sont exploitables. Le cœur d'activité des membres du Thème C est l'Adéquation-Algorithme-Architecture (AAA) qui consiste à étudier simultanément les aspects algorithmiques et architecturaux en prenant en compte leurs interactions dans le sens algorithme vers architecture, et vice-versa. Ce positionnement original n'existe pas dans les GdRs connexes avec une telle diversité de domaines applicatifs. Cela constitue donc la fonction du Thème C au sein du paysage scientifique français.

Le positionnement du Thème C au sein du GdR ISIS permet à ses membres une forte interaction avec les membres des autres thèmes (A, B, D et T). Cette interaction vise à identifier, pour les concepteurs d'architectures ou les programmeurs de processeurs, les nouvelles applications et les défis associés. Elle permet également aux algorithmiciens de suivre l'évolution des technologies et des nouveaux paradigmes architecturaux. Cette veille technologique est indispensable afin de lever des verrous algorithmiques qui seraient essentiellement liés à une trop faible puissance de calcul.

Le Thème C a également pour objectif de proposer des méthodologies d'évaluation de la qualité des implémentations développées, aussi bien au niveau des performances (consommation, débit, latence, etc.) que des contraintes de conception (exécution temps réel, disponibilité des ressources, etc.). Ces méthodologies doivent permettre de mesurer le plus finement possible l'adéquation de l'architecture à l'algorithme et réciproquement.

L'évolution des architectures d'exécution s'organise autour de deux grandes catégories de systèmes. Une première, bien connue, est constituée de systèmes possédant une grande puissance de calcul sans prise en compte d'autres contraintes. Une seconde qui se renforce jour après jour est la constitution d'une informatique dématérialisée où l'organe central n'est plus l'ordinateur traditionnel mais un ensemble de systèmes nomades coopérants entre eux pour réaliser les traitements liés à une application. Dans ce second cas, les contraintes d'exécution sont multiples et ne se résument pas à la seule considération du nombre d'opérations effectuées par seconde.

Les algorithmes de traitement du signal, ceux des communications numériques et les méthodes de traitement vidéo doivent être associés à l'une ou l'autre de ces catégories selon l'application et son domaine d'utilisation. Dans ce contexte, les nouvelles architectures de type GPU (Graphics Processing Unit) ou MPSoC (*MultiProcessor System on Chip*) sont naturellement de bonnes candidates. L'adéquation entre ces architectures massivement parallèles et des algorithmes souvent séquentiels est loin d'être triviale. Il est dans ce cadre nécessaire, d'une part d'étudier la synergie existante entre l'algorithme à exécuter et le support d'exécution, et d'autre part d'étudier les méthodes permettant une extraction efficace du parallélisme présent dans ces algorithmes.

L'utilisation des architectures parallèles (FPGA, GPU, MPSoC) pour l'implémentation des algorithmes de traitement du signal et des images est en pleine mutation. De nouvelles méthodes de programmation parallèles sont proposées (OpenMP, OpenCL, OpenVX, etc.) par les fournisseurs de composants. D'un point de vue méthodologique, les développeurs se heurtent à l'évaluation de ces méthodes et sont dans l'impossibilité de pouvoir les tester toutes et sur toutes les plate-formes disponibles sur le marché. D'autre part, ces méthodes de programmation ne sont pas supportées sur toutes les cibles et les codes ne sont pas portables d'une cible matérielle à une autre. Le Thème C doit donc permettre aux développeurs de partager leurs expériences sur ces nouvelles méthodes de programmation parallèles. La définition de modèles de programmation « hardware indépendant » reste un objectif d'actualité. L'exploration architecturale à partir de ces modèles doit permettre de faciliter le choix d'une cible matérielle pour une application donnée. De plus, la génération de code optimisé pour une cible devra permettre de passer des modèles de programmation « hardware indépendant » vers les nouvelles méthodes de programmation parallèles disponibles.

### 2.3.2 Axes fondamentaux

Les domaines de recherche couverts par le Thème C portent sur les questions d'Adéquation Algorithme Architecture pour les algorithmes de traitement du signal et de l'image, de communications numériques et de traitements vidéos. Dans la structuration actuelle du Thème C, ces questions sont abordées au travers de trois axes qui en définissent le périmètre scientifique.

#### 1. Architectures et applications

Fan Yang (ImViA), Daniel Ménard (IETR), Matthieu Gautier (IRISA)

Cette axe a pour vocation de proposer des journées communes avec les autres thèmes du GdR ISIS afin de coupler les domaines algorithmes et architectures. L'objectif est d'explorer, d'une part les architectures dédiées, et d'autre part les processeurs multi-cœurs et many-cœurs pour des algorithmes de traitement du signal et des images. Les architectures dédiées à une seule application n'utilisent pas de jeu d'instructions. La spécificité qui les caractérise leur confère des performances maximales (surface, consommation, débit, latence) et un niveau de flexibilité très faible. Les processeurs généralistes présentent au contraire un degré de flexibilité maximale mais un débit moindre. Le temps de développement d'une application sur processeur avec jeu d'instructions est réduit car il correspond à l'écriture d'un programme dans un langage de plus ou moins haut niveau qui est compilé avant d'être exécuté sur l'architecture. Dans tous les cas, l'exploration se doit d'être menée en prenant en compte conjointement les contraintes algorithmiques et architecturales.

## 2. Nouveaux modèles de programmation et méthodologies pour le TdSI

Virginie Fresse (LHC), Loic Lagadec (LabSTICC), Olivier Muller (TIMA)

La problématique des algorithmes, de l'arithmétique et des architectures robustes est traitée dans cette action afin de couvrir les besoins croissants de sûreté de fonctionnement et de fiabilité des systèmes électroniques. Le développement de méthodes et d'outils pour le choix et l'utilisation de nouvelles plate-formes matérielles doit prendre en compte les nouveaux modèles de programmation parallèles disponibles. Ces nouveaux modèles doivent être évalués et comparés pour être en mesure d'en proposer de nouveaux plus performants.

## 3. Capteurs et caméras

Gilles Sicard (CEA LETI), François Berry (Institut Pascal), Matthieu Thevenin (CEA LIST)

Cette axe s'intéresse aux capteurs 3D, qui permettent les traitements intégrés au sein du capteur, et aux architectures massivement parallèles afin d'aboutir à des solutions hautes performances à partir des informations provenant des pixels. Le problème de la faible consommation est également central au sein de cette action et est abordé régulièrement. Les notions de *smart sensors*, *smart caméra*, *visual sensor network* (traitement distribué) est également traitées avec la volonté d'intégrer des algorithmes intelligents de traitement du signal (décision, classification, etc.) au plus près du capteur.

### 2.3.3 Activités sur la période écoulée

#### 1. Journées thématiques :

##### 1. Méthodes et outils de développement pour des applications de traitement du signal et d'apprentissage

*Organisateur(s)* : Karol Desnos, Jean-François Nezan (IETR).

*Date* : 18 novembre 2020.

*Description* : The capabilities of computing platforms, be they embedded or in the cloud, continues to rise despite the often-prophesied end of Moore's law. Unfortunately, to fully benefit from the computational power offered by these platforms, tedious implementation work is often needed from the developer. This implementation task also requires a development expertise on the targeted platform, which may be an uncommon skill in many research domains where computers are used as a tool, with only limited knowledge of their inner mechanisms. As such, harnessing the complexity of modern computing platform can be a major roadblock to the development of new research ideas in compute-intensive domains, such as computer vision and stream processing applications. The main purpose of computer-aided design tools and methodologies is to ease the life of developers. To this purpose, methods and tools adopt diverse strategies, such as rising the level of abstraction of the application specification to hide low-level implementation details from the developer. Another common service provided by these tools is the automation of part of the design-space exploration, which can be done at design-time, but also as a runtime optimization service for suitable applications and architectures. The objective of the thematic day was to host presentations of tools and design methodologies for easing the development of Signal Processing

and Machine Learning applications from diverse domains, and targeting diverse computing platforms.

**2. Cluster d'architectures à base de SoC pour les calculs hautes performances – 1<sup>ère</sup> journée**

*Organisateur(s)* : Virginie Fresse (LHC), Fan Yang, ElBey Bourennane (ImViA).

*Date* : 11 décembre 2020.

*Description* : Cloud, Fog et Edge computing sont des terminologies de plus en plus répandues à l'ère de l'internet des objets (IoT Internet of Things), aussi bien pour IoT grand public qu'industriel (IIoT). Elles constituent des couches de l'architectures où chacune d'entre elle possède des caractéristiques et des usages propres. L'augmentation des données à traiter croît de manière exponentielle et les systèmes de captation et de traitement ainsi que les infrastructures qui les hébergent doivent s'adapter à ces flux de données en évolution massives. L'augmentation des applications industrielles et des usages nécessitent également de proposer de nouvelles architectures et systèmes intégrant des composants spécifiques (type FPGA, SoC, MPSoC, etc.), et de nouvelles infrastructures pour la gestion et l'exploitation efficace de ces ressources. L'intelligence artificielle (IA) a amené à révolutionner les applications industrielles et la gestion des infrastructures, la conception de nouvelles architectures de calcul toujours plus performantes. L'objectif de cette journée était de faire un état des lieux des travaux réalisés dans les architectures et infrastructures de Cloud, Fog et Edge Computing mettant en œuvre des systèmes de traitement embarqués dédiés. L'adéquation des applications en IA avec ces nouvelles technologies et paradigmes ont été également abordées, ainsi que des applications.

**3. Cluster d'architectures à base de SoC pour les calculs hautes performances – 2<sup>e</sup> journée**

*Organisateur(s)* : Virginie Fresse (LHC), Fan Yang, ElBey Bourennane (ImViA).

*Date* : 20 janvier 2021.

*Description* : Voir ci-dessus (journée en deux parties)

**4. Accélération des calculs pour l'instrumentation et le traitement de données en astronomie**

*Organisateur(s)* : Nicolas Gac (L2S), Damien Gradatour (OBSPM).

*Date* : 10 novembre 2021.

*Description* : Cette journée avait pour but de recenser les challenges et travaux en cours pour l'accélération des calculs pour l'astronomie que ce soit pour la génération des données par l'instrument ou pour le traitement des données produites. Cette accélération sur des serveurs de calculs à un ou plusieurs noeuds associés à des cartes accélératrices de type GPU, FPGA ou MPPA (Kalray) nécessite des expertises à la fois applicatives (radioastronomie, astrophysique, optique adaptative, etc.), méthodologique (problème inverse, séparation de sources, etc.) et architecturale (calcul parallèle, programmation, outils de prototypage, etc.). Après une présentation des challenges pour le calcul en temps réel pour l'optique adaptative et du radiotélescope SKA, plusieurs travaux ont été exposés. Cette journée s'est conclue par une table ronde.

**5. Implémentations, outils et applications émergentes pour la radio logicielle**

*Organisateur(s)* : Adrien Cassagne(LIP6), Matthieu Gautier (IRISA), Robin Gerzagué (IRISA), Camille Leroux (IMS).

*Date* : 7 avril 2022.

*Description* : L'émergence des radios logicielles a permis d'évaluer plus rapidement les systèmes de transmission mais aussi d'adresser plus facilement de nouveaux marchés. Pour continuer d'être pertinente, cette technologie doit suivre l'évolution des couches physiques proposées dans les standards actuels et futurs (DVB, 5G, 6G, IoT, etc.) qui incluent notamment de nouveaux schémas de codage, de nouvelles techniques de modulation ou bien encore des méthodes d'apprentissage. La radio logicielle doit d'autre part s'adapter à l'évolution des nouvelles architectures de calcul ainsi qu'aux langages associés. Cette journée avait pour objectif de mettre en avant l'exploration de nouvelles architectures logicielles/matérielles adaptées aux techniques de traitement avancées en Télécom, de faire un état des lieux des besoins en méthodes/outils et plateformes d'évaluation et d'initier un effort communautaire afin de disposer d'outils communs/partagés.

## 2. Journées inter-thèmes :

### 1. *Intelligence artificielle et apprentissage sur systèmes embarqués*

*Organisateur(s)* : Fan Yang (ImViA), Jean-François Nezan (IETR), Christian Wolf (LIRIS).

*Date* : 25 juin 2018.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

Le domaine de l'intelligence artificielle est un domaine de recherche au milieu de toutes les attentions ces dernières années. Les réseaux de neurones convolutifs (CNN) ont montré leurs performances en reconnaissance de forme en particulier et en Traitement du Signal et des Images (TdSI) plus généralement. L'utilisation de ces techniques dans des applications réelles est au cœur de nombreuses expérimentations académiques et industrielles. Les recherches dans le domaine de l'apprentissage profond sont nombreuses et orientées le plus souvent vers la phase d'apprentissage du réseau : dimensionnement du réseau, choix de la base d'apprentissage, annotations, etc. Les calculs nécessaires en intelligence artificielle pour obtenir de bons résultats sont proportionnels à la taille des données traitées. La solution actuelle est d'utiliser des clusters de calcul distant (Cloud Computing) sur de très larges bases de données. L'utilisation de systèmes embarqués dans ce domaine a plusieurs intérêts. Le premier est de diminuer la consommation énergétique dans les clusters de calcul distants. La seconde est de pouvoir réaliser de nouvelles applications en exécutant une partie des calculs au plus près des capteurs (Edge Computing / Fog Computing).

Cette journée avait pour objectif de faire le point sur les travaux en cours et d'échanger sur les perspectives dans ce domaine.

### 2. *Radioastronomie dans la perspective de SKA*

*Organisateur(s)* : André Ferrari (Lagrange), Jean-François Nezan (IETR), Remy Boyer (CRISAL).

*Date* : 27 Novembre 2018.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème A**

Grâce aux développements technologiques et informatiques des dernières années, la radioastronomie va vivre un nouvel âge d'or à travers la construction du plus grand télescope au monde : le Square Kilometre Array (SKA), un réseau d'antennes avec une surface collectrice totale d'un kilomètre carré. Ce radiotélescope,

qui permettra des avancées scientifiques majeures, représente aussi un défi technologique considérable compte tenu de l'énorme masse de données qu'il va générer mais aussi de la précision des données qu'il devra produire. Cette journée avait pour objectif de faire le point sur les travaux en cours et d'échanger sur les perspectives dans ce domaine. Les thématiques visées concernent l'ensemble de la chaîne de traitement d'un point de vue algorithmique : formation de voies, atténuation des interférences, calibration, reconstruction, transitoires, etc. mais également architecture du système de calcul : HPC, GPU, Manycore embarqué, FPGA, etc.

### 3. *Formes d'onde efficaces en énergie / Energy efficient waveforms*

*Organisateur(s)* : Karine Amis, Frédéric Guilloud (Lab-STICC), Charly Poulliat (IRIT), Yves Louët (IETR), Christophe Jégo (IMS).

*Date* : 11 juin 2019.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème D**

De plus en plus d'applications utilisent des émetteurs autonomes en énergie, alimentés par des batteries qui ne sont pas nécessairement rechargeables. Il s'agit par exemple des communications spatiales ou plus récemment des communications sans fils des réseaux d'accès des objets communicants (IoT). Pour réduire la consommation, augmenter l'autonomie de fonctionnement des émetteurs ou bien encore pour réduire leur coût, ces communications utilisent des formes d'onde efficaces en énergie, que l'on retrouve également en télémétrie aéronautique.

Ces modulations sont souvent non-linéaires et par conséquent riches de problématiques en traitement du signal (émission et/ou réception), communications numériques, mais également en implémentation. Les activités récentes au sein de divers laboratoires et de certains industriels montrent un net regain d'intérêt pour ces problématiques, soit pour améliorer le bilan énergétique des transmetteurs, soit pour réduire le coût de fabrication des émetteurs sans perte de performance. L'objectif de cette journée a été de présenter le potentiel des formes d'ondes efficaces en énergie (qu'elles soient non linéaires ou pas) pour les applications émergentes de type IoT, d'introduire les problématiques soulevées par leur utilisation dans de tels systèmes de communication et de décrire des solutions techniques récentes.

### 4. *Enabling Technologies for sub-TeraHertz and TeraHertz communications*

*Organisateur(s)* : Jean-Baptiste Doré (CEA Leti), Carlos Faouzi Bader (IETR), Yoann Corre (SIRADEL), Emmanuel Faussurier (ANFR).

*Date* : 18 septembre 2019.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème D**

Sub-TeraHertz (sub-THz) and Terahertz (THz) technologies, which are often referred as beyond-5G communication, are today attracting a great interest from both academia and industry. The transmission of information in the spectrum above 90GHz, up to 300GHz allows the use of huge bandwidths, from ones to tens of GHz. As the millimeter-wave communication systems will become mature with the emergence of 5G technologies, the focus of the research activities is naturally moving to the sub-THz range. The continuous increase in wireless capacity and thus makes the bandwidth requirements always more ambitious. In particular, ultra large bandwidths can be used for terabit-per-second (Tb/s) short-range wireless communications, or ultra-high capacity backhaul or kiosk applications. Today, the sub-THz/THz techniques are far from the maturity achieved in micro-

wave, millimeter-wave, and photonics. The key issue is that such systems cannot be implemented with existing technology especially when it comes to integrated devices. First concern is the design of high-performance reasonable-cost integrated circuits that include powerful sub-THz/THz sources, high-gain antennas and sensitive sub-THz detectors. In addition to those hardware considerations, the characterization and modelling of the PHY-layer components, including the propagation channel (line-of-sight, obstructed line-of-sight, and multi-paths propagation models), RF performance/constraints and antennas as well as network topologies are of primary importance to assess and optimize the investigated sub-THz/THz communication systems. The goal of this day was to share the recent progress made in the emerging sub-THz/THz communication domain, relying on innovative transmission and detection techniques.

#### 5. **Nouvelle norme de compression vidéo : Versatile Video Coding**

*Organisateur(s)* : Wassim Hamidouche, Daniel Menard (IETR).

*Date* : 20 octobre 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème D**

Les comités de standardisation ISO/MPEG et ITU/VCEG ont conjointement mis en place un groupe de travail Joint Video Experts Team (JVET) pour le développement d'une nouvelle norme de compression vidéo appelée VVC pour Versatile Video Coding. La norme VVC qui a été finalisée en Juillet 2020 permet une réduction de la bande passante de 50% par rapport à la norme précédente HEVC pour une qualité visuelle équivalente. Néanmoins, ce gain en débit-distorsion est obtenu au détriment d'une augmentation considérable de la complexité d'encodage comparé à HEVC. L'objectif de cette journée était de présenter des travaux de recherche développés autour de cette nouvelle norme. Ces travaux ont concerné non seulement les outils de codage proposés dans le cadre des activités de standardisation mais aussi des techniques de réduction de la complexité d'encodage VVC, les solutions logicielles et matérielles de codage et de décodage temps réel ainsi que des algorithmes non normatifs permettant d'améliorer la qualité d'une vidéo VVC.

#### 6. **Traitement du signal et applications quantiques**

*Organisateur(s)* : Mathieu Thevenin (CEA), Xavier Geoffret (ATOS), Gaetan Rubez (ATOS), Yannick Deville (IRAP).

*Date* : 22 juin 2021.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème A**

La seconde révolution quantique a permis le contrôle d'objets quantiques individuels et a fait exploser ce domaine de recherche ces deux dernières décennies. Aujourd'hui, la maîtrise des technologies dites quantiques est devenue un enjeu de compétition internationale. Près d'un an après l'annonce du plan quantique par le gouvernement destiné à favoriser leurs développements, de nombreux acteurs aussi bien publics que privés se sont emparés du sujet : cryptographie, calcul quantique, détection à base de capteurs dits quantiques, électronique cryogénique etc. Toutefois, l'accès à l'information quantique nécessite une maîtrise des outils de traitement du signal traditionnels (analyse en temps, fréquence, phase, corrélation, etc.) mais aussi spécifiques (amplification cryogénique sans bruit ajouté, intrication, etc.). Cette journée thématique avait pour objet de réunir les différents contributeurs du GDR et de faire le point sur les outils et développements utilisés ou potentiellement utilisables.

### 7. *Efficient hardware for deep neural network processing*

*Organisateur(s)* : Matthieu Arzel (Lab-STICC), Anthony Kolar (CentraleSupélec), Mathieu Léonardon (Lab-STICC), Erwan Libessart (CentraleSupélec).

*Date* : 22 septembre 2022.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème T**

Deep Neural Networks (DNNs) are used in a broad range of applications in AI such as computer vision, natural language processing, robotics. These DNNs reach and outperform state-of-the-art methods at the cost of a dramatic increase of the computational complexity and memory footprint. Solutions are therefore explored in order to improve implementation metrics such as throughput, latency, energy efficiency. Along with work on efficient DNN architectures, which would achieve close-to-optimal performance with a reduced number of parameters and computation cost, the design of efficient hardware architectures is crucial to deploy DNNs, whether on powerful servers or on edge devices. The objective of this workshop was to explore hardware architectures and hardware co-design methods for Efficient DNN processing. Efficiency is here understood as designs that targets either low-complexity, high throughput, low latency or low energy consumption.

### 3. Journées inter-GdR :

#### 1. *Near Image Sensor Computing*

*Organisateur(s)* : François Berry (Institut Pascal), Gilles Sicard (CEA LETI), Daniel Chillet (IRISA), Kevin Martin (UBS), Dominique Dallet (IMS).

*Date* : 9 novembre 2018.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **GdR SOC2**

Cette journée avait pour but de réunir des acteurs travaillant sur les systèmes de vision embarqués au sens large. L'objectif a été d'échanger à propos des dernières recherches sur les systèmes (smart camera) et capteurs d'images intelligents (rétine) ainsi que de réfléchir aux futurs axes de recherches. Dans le domaine des capteurs d'image CMOS, de nouveaux dispositifs ont vu le jour qui intègrent directement dans le plan focal (ou près du plan focal) des algorithmes complexes de traitement et d'analyse de l'image, comme par exemple l'extraction de caractéristiques pour la reconnaissance de formes. De plus, des technologies émergentes, telles que l'intégration 3D, les memristors, etc., permettent d'envisager de nouveaux opérateurs ou de nouvelles architectures. Depuis quelques années, on assiste en effet à une coopération de plus en plus étroite entre le capteur d'images et les unités de traitement embarquées au plus proche du capteur. De tels systèmes de vision, sont aujourd'hui capables d'acquérir et d'analyser le flot d'images en temps réel afin de produire du contenu sémantique de la scène observée. De plus, en considérant les possibilités d'interconnexion de tels systèmes au sein de réseaux d'objets communicants, on note l'émergence de nouvelles activités de recherche (coopération de capteurs, traitements distribués, communication intelligente, cloud-computing, etc.). De nombreuses équipes de nos communautés ont obtenus des résultats remarquables ces deux dernières années. Aussi, nous sollicitons des contributeurs, à la fois sur les aspects matériels (circuits, architectures, systèmes, etc.), les aspects algorithmiques ou méthodologiques (AAA, simulation, modélisation, etc.) pour présenter travaux et perspectives.

## 2. Calcul scientifique accéléré sur FPGA

*Organisateur(s)* : Mickaël Dardaillon (IETR), Nicolas Gac (L2S), Matthieu Haelele (UPPA), Shan Mignot (Lagrange), Charles Prouveur (CEA), Antsa Randria (LAB), Bogdan Vulpescu (IN2P3).

*Date* : 7 juillet 2022.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **groupe CALCUL du CNRS**

Cette journée avait pour but de recenser les challenges et travaux en cours sur le thème de l'accélération des calculs scientifiques sur FPGA. La plus grande maturité des outils de synthèse de haut niveau offerts par les industriels Intel-Altera et AMD-Xilinx rend plus accessible la puissance de calcul des FPGA. Pour les électroniciens, le temps de développement réduit de ces outils permet ainsi un prototypage plus rapide de leurs designs. Pour les informaticiens du domaine HPC (High Performance Computing), le FPGA devient une architecture d'accélération alternative aux GPUs accessible avec un flot de développement devenu purement logiciel côté utilisateur.

## 2.4 Thème D - Télécommunications : compression, protection, transmission

### Directeurs scientifiques adjoints :

- Chaker Larabi  
PU61, XLIM (UMR CNRS 7252), Université de Poitiers
- William Puech (→ 06/2021)  
PU27, LIRMM (UMR CNRS 5506), Université de Montpellier
- Patrick Bas (06/2021 →)  
DR CNRS 07, CRIStAL (UMR CNRS 9189), Villeneuve d'Ascq
- Ghaya Rekaya-Ben Othman  
PU, département Communications et Électronique, Télécom ParisTech
- Maxime Guillaud  
Huawei Technologies, Paris
- Charly Poulliat (01/2023 →)  
PU61, IRIT (UMR CNRS 5505), Université Toulouse

### 2.4.1 Présentation générale

Le Thème D est un espace de rencontre pour la communauté travaillant sur les couches basses des télécommunications (théories de l'information et de la communication, traitement du signal, codage des données, réseaux radio), sur les problèmes de compression de source (image, vidéo, 3D, ) et sur la protection des données visuelles par insertion de données cachées (tatouage, stéganographie, *data hiding*) ou par détection de manipulation ou par chiffrement spécifique à ce type de données.

Le projet scientifique du Thème D est organisé selon deux axes. Pour chacun des axes, nous avons différencié d'une part les grandes thématiques actuelles de notre communauté, et d'autre part celles qui sont émergentes et sur lesquelles la recherche française entend s'investir dans les prochaines années. Cette répartition n'a aucune prétention d'exhaustivité, et d'autres thématiques intéressantes peuvent bien entendu faire l'objet d'actions et de journées du Thème D.

**Axe 1 - Compression et protection des données :** Le bouleversement technologique lié à l'usage massif des données visuelles donne à cet axe un rôle très important pour la communauté ISIS. Ainsi, nous assistons à l'émergence de données visuelles de plus en plus riche en résolution, en définition de couleur, en modalités, etc. dans des cadres d'application de plus en plus diversifiés. La quantité pléthorique de données générée requiert naturellement des stratégies de compression adaptées, efficaces et efficientes. Par ailleurs, l'intelligence artificielle a ouvert une nouvelle voie d'exploration en s'appuyant sur des outils d'apprentissage puissants permettant d'atteindre des résultats très intéressants en termes de compromis débit-distorsion et garantir une qualité d'usage. L'avènement des systèmes autonomes dont les véhicules, qui reposent en partie sur les données visuelles pour la prise de décision, a créé une nouvelle piste appelée compression pour machine où la notion de qualité est remplacée par la notion d'utilisabilité. Alimenté par les problématiques évoquées précédemment, cet axe vise à fédérer les chercheurs, académiques et industriels, et d'assurer une animation scientifique autour de ces défis. En plus des questions de base que sont la réduction de redondance, la quantification et le codage, plusieurs thématiques de recherche sont abordées dans cet axe dont : la compression/codage

d'images, de vidéos, de lightfields, d'hologrammes, d'objets 3D et 3D+t (volumiques et surfaciques), le multi-échelle, le codage multi-sources, le codage de sources distribué, le codage de données composites, La compression pour machine, la compression de données non conventionnelles, la protection basée contenu, l'insertion de données cachées, la compression « intelligente » (basée contenu, ROI, etc.), l'usage de l'intelligence artificielle en compression et en protection des données, les stratégies de réduction de la complexité de codage, le bio-inspiré, les optimisations perceptuelles à différents points de la chaîne, les nouvelles modalités d'acquisition ou de représentation des données visuelles (ultra HD, 360°, plénoptique, lightfield) et les approches conjointes.

**Axe 2 :** Cet axe riche et dynamique se nourrit des applications émergentes dans le domaine des télécommunications et du développement des domaines connexes. Au cours des dernières années, on a pu assister à l'essor de nouvelles thématiques telles que le codage en réseau (network coding), le Massive MIMO, la sécurité pour la couche physique, le stockage distribué, etc. Ces évolutions s'accompagnent du renouvellement et de l'utilisation de méthodes et outils mathématiques. A titre d'exemple d'appropriation positive de résultats théoriques, pour le développement d'applications pratiques, on peut citer l'utilisation des matrices aléatoires dans l'étude des systèmes Massive MIMO au cours de la dernière décennie. Ce dynamisme est également porté par une recherche en forte interaction avec le monde industriel, notamment les membres du Club des Partenaires. La généralisation de l'emploi des réseaux pour des applications de plus en plus critiques et centrales dans la vie quotidienne tels que les automatismes industriels, l'aide à la conduite et les véhicules autonomes, les applications domotiques, de surveillance et d'alerte, ainsi que le développement de nouvelles formes d'activités de divertissement (réalité virtuelle, jeux en réseau, vidéo de très haute définition) imposent de considérer de nouvelles contraintes de fiabilité, de latence et de confidentialité dans la conception des réseaux. Le déploiement d'applications reposant sur les techniques d'apprentissage automatique et d'intelligence artificielle nécessitent également des modifications significatives de l'architecture des réseaux, dans la mesure où ceux-ci ne se contentent plus de transmettre l'information, mais participent à son traitement (par exemple la distribution des calculs dans le cadre d'un apprentissage fédéré). En outre, les considérations environnementales toujours plus pressantes imposent une augmentation drastique de l'efficacité énergétique de ces réseaux, alors que la densité d'objets connectés augmente. Les thématiques de l'Axe 2 incluent la théorie de l'information, le traitement du signal, la conception de formes d'onde le codage de canal, l'estimation, la synchronisation, la détection, le calcul et l'optimisation distribués, avec pour objectif de répondre efficacement à ces nouvelles contraintes.

### 2.4.2 Axes fondamentaux

Les problématiques de recherche couvertes dans ce Thème portent sur la compression et la protection des données visuelles d'une part et sur les problématiques des couches basses des télécommunications et des aspects de codage de canal associés, d'autre part. Dans sa structuration actuelle, le thème D aborde ces questions selon deux axes qui en définissent le périmètre scientifique.

#### Axe 1 : Compression et protection

##### 1. Nouvelles tendances en compression des signaux visuels

Cette Action s'est intéressée aux approches de codage bio-inspirées, aux nouveaux schémas de compression, à l'optimisation qualitative et la prise en compte de la qua-

lité d'expérience, la stéréovision, le 3D, la réalité virtuelle et augmentée, les images omnidirectionnelle. Les points forts de cette action ont été les suivants :

- Approches de compression en rupture ;
- Multi-vues, imagerie 360, holographie numérique, etc.
- Approches bio-inspirées, JPEG Pleno, JPEG XR/XT/XL/\*\*, Post-HEVC, etc.
- Applications : video-surveillance, médical, multimédia, etc.

Six journées ont été organisées dans le cadre de cette action sur la période :

**Compression et qualité des contenus 360, Light Field et Point Cloud (3D)**

*Organisateur(s)* : Wassim Hamidouche (IETR), Christine Guillemot (INRIA), Vincent Ricordel (LS2N), Chaker Larabi (XLIM), Marc Antonini (I3S)

*Date* : 19 mars 2019

**État des lieux de la compression image et vidéo : standards JPEG et MPEG**

*Organisateur(s)* : Chaker Larabi (XLIM) et Didier Nicholson (EKTACOM)

*Date* : 16 juillet 2020

**Nouvelle norme de compression vidéo : Versatile Video Coding**

*Organisateur(s)* : Wassim Hamidouche (IETR), Daniel Menard (IETR)

*Date* : 20 octobre 2020

**Learning based coding for digital image and video information**

*Organisateur(s)* : Wassim Hamidouche (IETR), Thomas Maugey (INRIA), Aline Roumy (INRIA)

*Date* : 15 juin 2021

**Compression et sécurisation pour les applications immersives**

*Organisateur(s)* : Chaker Larabi (XLIM), William Puech (LIRMM)

*Date* : 1<sup>er</sup> juillet 2021

**État des lieux de la compression des données multimédia**

*Organisateur(s)* : Chaker Larabi (XLIM), Didier Nicholson (EKTACOM), Félix Henry (ORANGE LABS), Marius Preda (Telecom SudParis)

*Date* : 23 juin 2022

2. **Sécurité et données multimédia** (en lien avec le GdR Sécurité Informatique)

Cette Action, animée par William Puech et Caroline Fontaine de 2019 à 2020 puis par William Puech et Philippe Carré à partir de 2021, dans la continuité de l'Action Protection multimédia a eu pour objectif de continuer à regrouper et d'animer la communauté autour de la sécurité des images, des vidéos et des objets 3D. Des journées ont été organisées autour de la criminalistique, la stéganalyse, la biométrie, l'authentification et la protection en partenariat avec le thème B, la protection basée contenu (robustesse aux attaques désynchronisantes, utilisation de points d'intérêts, composantes couleurs, psycho-visuel, en partenariat avec l'Action compression et perception) ainsi que l'évaluation de la qualité pour le tatouage (HR) et pour le brouillage (LR) avec développement de métriques de confidentialité. Les points forts de cette action ont été les suivants :

- Insertion de données cachées, stéganographie et stéganalyse
- Multimedia forensics (détection de manipulations, identification de capteurs)
- Traçage de traître et robust hash (fingerprintings actif et passif)

- Biométrie et sécurité des traits biométriques
- Vidéo surveillance
- Traitement des images dans le domaine chiffré
- Apprentissage sous contrainte d'adversaire
- Connections avec la sécurité de la couche physique

Cinq journées ont été organisées dans le cadre de cette action sur la période :

**Biométrie : de la reconnaissance des individus à la protection des données personnelles**

*Organisateur(s)* : Cathel Zitzmann (LM2S) et Christophe Charrier (GREYC)

*Date* : 13 juin 2019

**Menaces de sécurité sur l'apprentissage profond**

*Organisateur(s)* : Teddy Furon (IRISA), Caroline Fontaine (LSV)

*Date* : 14 janvier 2021

**Deepfake video generation and detection**

*Organisateur(s)* : Wassim Hamidouche (IETR), Amine Kacete (b<>com Rennes), Abdenour Hadid (LAMIH)

*Date* : 23 juin 2022

**Analyse forensique de données multimédia**

*Organisateur(s)* : Pauline Puteau (CRISAL), V. Itier (CRISAL), Iuliia Tkachenko (LIRIS)

*Date* : 16 mai 2023

**Journée "Sécurité des données multimédia" commune avec le GdR Sécurité Informatique,**

*Organisateur(s)* : William Puech (LIRM) et Philippe Carré (LIMOS)

*Date* : 26 juin 2023

**Axe 2 : Information et communication : de la théorie à l'ingénierie**

**1. Apprentissage pour la couche physique** (en lien avec le Thème T)

L'apprentissage s'avère aujourd'hui être un outil puissant à même de jouer un rôle majeur dans le domaine des communications. La couche physique est en mesure d'en bénéficier pour résoudre certains problèmes d'optimisation, en particulier lorsque l'approche classique utilisant des modèles paramétriques est défailante, comme c'est le cas pour les canaux de propagation électromagnétique. L'apprentissage peut être utilisé dans l'optimisation de paramètres d'un bloc de la chaîne de transmission tel que le décodage. Il peut aussi être mis en œuvre pour reconsidérer la chaîne de transmission, au travers d'une optimisation globale de bout en bout, incluant tous les blocs (codage, modulation, décodage, etc.), comme l'ont montré les développements théoriques récents utilisant des auto-encodeurs.

**2. Sécurité de couche physique**

Les problèmes de confidentialité et de sécurité sont critiques lors d'échanges d'information au travers de tout système de communications. En complément des systèmes de cryptographie classiques, des schémas de codage sécurisés pour la couche physique ont été introduits récemment. Ils permettent ainsi de renforcer la sécurité globale des systèmes. Jusqu'à présent, le lien entre la sécurité en couche physique

et la cryptographie n'a pas été mis en avant. Il est toutefois à remarquer qu'un outil mathématique unit déjà ces deux systèmes de sécurité, à savoir « les réseaux euclidiens » (*lattice*). Le codage utilisant les lattices est déjà mis en œuvre dans plusieurs applications comme les systèmes MIMO, le codage réseau, les schémas de cryptographie LWE et GGH. Il paraît donc opportun de mettre plus en avant le lien entre ces deux domaines.

### 3. Théorie des graphes dans les réseaux de télécommunications (en lien avec le Thème A)

Les réseaux de télécommunications se prêtent naturellement à une représentation sous forme de graphe, dans lesquels les sommets correspondent aux composants physiques (terminaux mobiles, antennes relais, nœud de routage et de calcul) ou logiques (services virtualisés). Les arêtes capturent les caractéristiques physiques et/ou logiques de l'ensemble du réseau (terminal en contact avec une antenne-relais, existence d'un lien de communication entre deux nœuds du réseau, présence d'interférence entre deux terminaux, etc.). Dans ce domaine, l'essor actuel de la théorie des graphes (fournissant des outils d'inférence de la topologie, d'échantillonnage, de filtrage, de transformée de Fourier définie sur le graphe — voir le thème A) permet d'envisager des possibilités nouvelles en termes de contrôle des performances et de la santé des réseaux de télécommunications, et d'optimisation de leur fonctionnement (allocation de ressources spectrales, association optimale entre mobiles et antennes relais, planification de déploiement, etc.).

### 4. Virtualisation et traitements distribués pour les réseaux d'accès radio

L'augmentation de la puissance de calcul, et l'utilisation de composants matériels flexibles et réutilisables, ouvrent des perspectives nouvelles dans le domaine de l'architecture des réseaux de télécommunications. Par ailleurs, l'émergence d'un nouveau type d'applications distribuée en relation avec l'apprentissage automatique (apprentissage fédéré et multi-tâches), traitant des volumes de données importants et qui devront être exécutées de manière fiable en utilisant une multitude de liens radio sans fils, suggère que l'architecture des réseaux va devoir s'adapter pour prendre en compte les contraintes propres à ce nouveau type de trafic. Dans ce contexte, la virtualisation des fonctions telles que le traitement du signal en bande de base, le routage, et certaines fonctions relatives aux applications en ligne (transcodage audio et vidéo, voire génération d'environnements virtuels dans les applications de réalité augmentée) permet une grande flexibilité : l'exécution des algorithmes qui fournissent ces fonctionnalités virtuelles peut être déplacée dynamiquement d'un centre de calcul à l'autre dans le réseau en fonction de leur charge ; elle peut être implémentée de manière centralisée (le *cloud RAN*, énergétiquement efficace), ou bien traitée au plus près de l'utilisateur (*edge computing*) si la latence est une contrainte forte pour l'application en question. Le terme *Fog RAN* désigne quant à lui la gestion dynamique des ressources de communication, de stockage et de calcul nécessaire constituant le réseau de télécommunications et ses services, depuis les couches basses jusqu'aux applications offertes à l'utilisateur. Dans cette perspective, le réseau ne transporte plus seulement les données, mais participe à leur traitement, en collant au plus près aux contraintes des applications. Il s'agit donc d'une thématique extrêmement riche en problématiques relatives à l'optimisation et au calcul distribués et en temps réel.

### 5. Latence, Age of Information et accès multiple massif

Les nouveaux champs d'application attendus dans les réseaux 5G et 6G mettent l'accent sur les aspects de fiabilité et de latence des communications. Cette dernière en particulier est critique, notamment pour les applications de réalité virtuelle avec retour haptique. Cette contrainte de latence est relativement nouvelle dans un domaine où une grande partie des technologies actuelles sont bâties sur la théorie développée par Shannon, dont une des contributions majeures était l'idée de transmettre de larges volumes de données en utilisant des codes asymptotiquement longs, incompatibles avec une faible latence. Le développement d'algorithmes pour le traitement du signal en bande de base incorporant des contraintes de latence adaptatives au type de trafic, sera par conséquent un défi majeur du développement de la 5G. Ce sujet est à rapprocher de la notion récemment popularisée d'*Age of Information* (âge des données), qui consiste à tenir compte du fait que la valeur de certaines données expire dans le temps ; en particulier, certains paramètres de la couche physique des systèmes de communications ont une valeur ne dépassant pas l'ordre de la dizaine de millisecondes. Dans ce contexte, il peut être préférable d'obtenir rapidement un résultat approximatif, plutôt qu'un résultat exact qui serait disponible trop tard ; de la même manière, un traitement local peut être préférable à une fusion avec des données distantes, qui fournirait un résultat plus précis mais nécessiterait un coût en communication supplémentaire. Le développement de formes d'ondes spécifiques au problème de l'accès aléatoire massif (permettant le décodage robuste et simultané d'un grand nombre de transmetteurs sporadiques et non coordonnés) est un autre aspect considéré.

#### 6. Codage et formes d'ondes en communications optiques

Les communications optiques ont connu une révolution ces dernières années grâce au développement de transpondeurs optoélectroniques cohérents. Cette révolution était nécessaire pour suivre l'énorme augmentation des débits demandés dans les réseaux de base. Pour continuer de répondre à cette demande de débit sans cesse croissante, les communications sur fibres optiques ont besoin de fournir de nouvelles solutions afin d'éviter la congestion dans l'ensemble du réseau. Les principales solutions seraient d'une part l'utilisation de plus de canaux parallèles à travers des fibres multi-mode et multi-core. Pour cela de nouveaux schémas de codage et de décodage, de modulation, de formes d'ondes, d'égalisation seront nécessaires ; d'autre part, en atténuant voire supprimant les effets non linéaires notamment par l'utilisation de la transformée de Fourier non linéaire avec des récepteurs à retour de décision. Outre les développements liés à la couche physique, les architectures des réseaux optiques connaissent aussi une évolution importante pour avoir des réseaux énergiquement efficaces. On peut citer notamment les études sur l'approvisionnement adaptatif des ressources, la réduction des marges systèmes et la détection rapide des défaillances et pannes. L'application des techniques d'apprentissage est en plein essor aussi bien pour la compensation des imperfections des émetteurs-récepteurs, des effets non-linéaires, mais aussi de la surveillance des performances des réseaux.

#### 7. Les surfaces intelligentes

Les surfaces dites intelligentes sont des composants dont la permittivité électromagnétique est ajustable localement, afin d'obtenir un effet directif sur les signaux réfléchis. Du point de vue de l'architecture du réseau, elles permettent d'agir sur la propagation électromagnétique, et non plus de la subir. La réalisation pratique, ainsi que le contrôle et l'intégration de tels objets dans les réseaux radio, au-delà

du paradigme classique "émetteur / récepteur", sont l'objet d'une intense activité scientifique, que nous nous proposons d'accompagner activement.

### 8. Communications sémantiques

La prise en considération de l'aspect sémantique des données transmises par les réseaux de communications constitue une des évolutions majeures envisagées dans ce domaine. Concrètement, cela consiste à s'interroger sur la représentation optimale des données en fonction du *sens* du message à transmettre. Par exemple, selon le contexte, une phrase délivrée sous forme de texte, ou alternativement par un appel vidéo, peut avoir une valeur sémantique quasiment identique, bien que la taille de leurs représentation numériques respectives diffèrent par plusieurs ordres de grandeur. Une prise en compte correcte et rigoureuse de cet aspect nécessite toutefois une définition claire de la valeur sémantique d'un message, qui aura vocation à être intégrée dans des algorithmes de compression.

#### 2.4.3 Perspectives du Thème D

Actuellement, 80% des données numériques transmises et archivées sont des données multimédia (photos, paroles, musiques, films et scènes 3D). Même si les bandes passantes des réseaux continuent d'augmenter, il reste obligatoire de passer par une étape de compression. D'une part, les résolutions et les fréquences des contenus ne cessent d'augmenter. D'autre part, les exigences des utilisateurs en bout de chaîne sont de plus en plus importantes par leur souhait d'accéder à des données en très haute qualité et en temps réel. En même temps, il est nécessaire de sécuriser ces données à la source par chiffrement spécifique, insertion de données cachées et vérification d'intégrité.

Les premiers efforts de normalisation de la prochaine génération de réseaux mobiles, la "6G" dont le déploiement est prévu à l'horizon de 10 ans, pointent vers un changement majeur dans le rôle des réseaux. Outre la transmission à l'identique des données, il est anticipé que de nombreux traitements qui relevaient jusque là du domaine des applications seront pris en charge par le réseau (fusion de données, ré-échantillonnage, apprentissage fédéré, etc.). Ce changement de paradigme aura pour conséquence des changements majeurs dans l'architecture réseau, et nécessiteront de nouveaux développements algorithmiques.

Le Thème D du GdR ISIS accompagne les ruptures à venir dans ces domaines. Des thèmes futurs sont à envisager autour de nouvelles tendances en compression et en sécurisation de grandes masses de données visuelles 2D, 3D, 4D à haute résolution pour des applications interactives, variées et ambitieuses.

Les avancées récentes en compression ont permis de s'adapter aux contenus de plus en plus gourmands en terme de résolution et de profondeur de représentation, mais également à des contenus spécifiques comme les nuages de points, les lightfields denses, les hologrammes, les images 6DoF, et même les données génomiques. Le point commun entre toutes réside dans la recherche de compromis débit/distorsions. L'intelligence artificielle a apporté son lot de contributions dans l'optimisation de la chaîne de compression permettant ainsi d'atteindre des résultats prometteurs.

Malgré les avancées actuelles, il reste des verrous importants en terme de compression. Cela concerne le codage à faible complexité, le codage de contenus visuels pour machine comme dans le cas des véhicules autonomes, le codage hybride permettant de compresser tout en analysant le contenu pour intégrer des algorithmes de sécurisation ou d'amélioration comme l'inpainting, la super-résolution, etc. Enfin, l'exploitation des

réseaux de neurones convolutionnels dans la compression ouvre la voie à beaucoup de questions scientifiques et technologiques comme la compression apprise de bout en bout, l'interprétabilité et l'explicabilité des modèles appris pour la compression, le triptyque complexité, éco-efficacité énergétique et empreinte mémoire de la compression basée IA, les mesures de distance et les critères d'optimisation, les modèles génératifs, la prédiction des ressources réseau et l'adaptation du contenu pour le streaming, Le codage réseau et contenu co-optimisé, etc.

Les avancées récentes en protection concernent l'utilisation des réseaux de neurones profonds en stéganalyse et en forensics, la stéganographie (GAN), les méthodes adversaires, les méthodes par génération de contenus, les liens entre l'apprentissage et la fuite d'information, l'analyse de contenus "real-life", la prise en compte de la diversité dans les modes de publications et le traitement de contenus chiffrés pour la privacy, la classification, le tatouage, la compression et la traçabilité.

Les principaux verrous en termes de protection concernent l'avenir des méthodes génératives en stéganographie et forensics, la maîtrise des taux de fausses alarmes en détection (stéganalyse, forensics) face au passage à l'échelle, la mise en pratique de traitements pour des contenus chiffrés (privacy + classification / tatouage / compression / traçabilité), les systèmes biométriques multimodaux, la vidéosurveillance intelligente ainsi que la ré-identification de personnes.

Au cours des prochaines années, l'Axe 1 du Thème D pourra évoluer vers les thématiques de recherche suivantes :

- Nouvelles tendances en compression des signaux visuels
- Intelligence artificielle pour la compression et la sécurisation des données visuelles
- Compression et stockage non conventionnels
- Compression pour machines
- Réseaux de neurones profonds en stéganalyse et en forensics,
- Stéganographie (GAN), méthodes adversaires, méthodes par génération de contenus, liens entre l'apprentissage et fuite d'information,
- Analyse de contenus "real-life",
- Traitement de contenus chiffrés pour la privacy, la classification, le tatouage, la compression et la traçabilité.

En ce qui concerne l'Axe 2, l'accent pourra être mis sur les sujets suivants :

- Application des techniques d'apprentissage automatique aux basses couches (thème transverse)
- Sécurité et la privauté dans la couche physique, les fuites d'information
- Architecture réseau et l'implémentation efficace d'algorithmes distribués avec des liens sans fils, la virtualisation
- Conception de formes d'ondes pour l'accès multiple massif, la maîtrise de la fiabilité et de la latence
- Surfaces intelligentes, nouvelles technologies d'antennes et nouvelles bandes de fréquences

- Aspects sémantiques des communications, la conscience du contexte
- Aspects énergétiques et environnementaux
- Communications, radar et localisation
- Information et communication quantiques

L'objectif sera de fédérer les chercheurs de la communauté ISIS autour de ces thématiques et de créer un forum d'échange entre académiques et industriels. Pour ce faire, un travail important devra être mené afin de re-cartographier le paysage français sur la compression et la protection de données. L'idée est de recenser toutes les équipes académiques ou industrielles travaillant dans les thématiques proches ou connexes du Thème D et de les réunir pour faire un état des lieux. Ce travail minutieux permettra d'identifier les thématiques nouvelles et les nouvelles équipes travaillant sur ces sujets, mais également de sensibiliser et de stimuler autour de certaines thématiques de cet axe. Des journées sur les approches en rupture pourront voir le jour, notamment avec l'implication des partenaires industriels. Les thématiques susmentionnées seront abordées dans le cadre d'actions animées par des collègues de la communauté. Ces dernières favoriseront l'organisation de journées scientifiques dans le thème, inter-thèmes et inter-GdR. Par ailleurs, l'organisation de journées thématiques en dehors du fonctionnement des actions pourra être encouragée afin de répondre à des sujets émergents ne figurant pas dans les actions existantes.

#### 2.4.4 Activités sur la période 2019-2023

##### 1. Journées thématiques de l'Axe 1 :

###### 1. *Compression et qualité des contenus 360, Light Field et Point Cloud (3D)*

*Organisateur(s)* : Wassim Hamidouche (IETR), Christine Guillemot (INRIA), Vincent Ricordel (LS2N), Chaker Larabi (XLIM), Marc Antonini (I3S).

*Date* : 19 mars 2019.

*Description* : Les technologies immersives sont en plein essors notamment par le biais de la réalité virtuelle (RV), augmentée (RA) et mixte (RM). Afin d'alimenter ces technologies, les contenus peuvent être capturés par différents moyens en exploitant un ensemble de caméras mais également des caméras sphériques ou plénoptiques. Cela permet donc de produire des images/vidéos en 360°, de nuages de points (Point Cloud, PC) et de champs de lumière (Light Field, LF). L'avènement de ces contenus a permis la création de nouveaux services, notamment les communications immersives 3D en temps réel, la visualisation de contenus VR avec parallaxe interactive, la télévision en point de vue libre 3D, la navigation autonome et bien d'autres applications.

Par la même occasion, ces nouveaux formats apportent de nouveaux défis à différents niveaux de la chaîne allant de l'acquisition à la restitution des contenus tout en passant par les étapes de codage, de transmission. Chaque étape apporte son lot de questions en plus de celle en lien avec la qualité de l'expérience de l'utilisateur et des risques sanitaires pouvant en découler.

Cette journée avait pour objectif de réunir les académiques et les industriels autour des sujets évoqués plus haut. Le but était de créer un lieu d'échange et de présentation des travaux récents sur ces sujets d'actualité.

## 2. **Biométrie : de la reconnaissance des individus à la protection des données personnelles**

*Organisateur(s)* : Cathel Zitzmann (LM2S) et Christophe Charrier (GREYC).

*Date* : 13 juin 2019.

*Description* : La biométrie est l'étude de méthodes automatisées d'identification et de reconnaissance de l'être humain fondées sur une ou plusieurs caractéristiques physiologiques et/ou comportementales. Parmi les traits caractéristiques physiologiques, on peut citer les empreintes digitales, le visage, la rétine, l'iris, la géométrie des mains et la voix, tandis que les exemples comportementaux incluent la signature, la démarche, les modèles dactylographiques (incluant la façon de taper un texte sur un clavier), la manière dont un individu interagit avec son smartphone, etc.

La dernière décennie a été marquée par une augmentation rapide de la recherche biométrique ainsi que le déploiement par de grands acteurs commerciaux de solutions biométriques dans la société civile induisant une adaptation de la législation au niveau européen, avec la mise en place de la RGPD. En effet, étant donné que les données biométriques d'un individu sont personnelles et sensibles, des questions liées à la sécurité biométrique et à la vie privée ont été soulevées.

Parmi les problématiques émergentes figurent notamment :

- Le spoofing, où un adversaire présente une falsification d'un trait biométrique au système avec l'intention de se faire passer pour une autre personne ;
- La modification de base de données, où les modèles stockés dans une base de données sont modifiés afin de nuire à l'intégrité du système ;
- La compromission de modèle, lorsque les données biométriques stockées sont consultées ou volées et exploitées pour des moyens illégitimes.

Le but de cette journée était de réunir des acteurs académiques et industriels pour aborder les besoins, les challenges et les récents développements de méthodes liées à la reconnaissance et l'identification biométrique mono et multi-modale, la protection des données et le respect de la vie privée.

## 3. **État des lieux de la compression image et vidéo : standards JPEG et MPEG**

*Organisateur(s)* : Chaker Larabi (XLIM) et Didier Nicholson (EKTACOM).

*Date* : 16 juillet 2020.

*Description* : Avec les avancées technologiques récentes, l'introduction de nouveaux formats d'images et la disponibilité, à la fois pour le grand public et les professionnels, de matériel permettant de manipuler des résolutions de plus en plus élevées, la compression d'images et vidéos demeure un sujet de recherche et de développement majeur. Elle a évolué ces dernières années en prenant en compte de nouveaux champs et applications afin de répondre à de nouveaux besoins. Il apparaît opportun de lancer une série de réunions permettant, aux novices comme aux experts, aux chercheurs juniors comme aux seniors, de discuter ces avancées et de mettre en commun les connaissances établies à ce jour. Cette réunion, la première d'une série dédiée à cette problématique, a consisté en un état des lieux des standards des comités JPEG et MPEG en traitant les points suivants :

- Les avancées en termes de compression images fixes avec les travaux récents ou en cours au sein du comité JPEG.
- Versatile Video Coding et le futur de la compression vidéo (utilisation de réseaux de neurones) (nouveau standard MPEG-I VVC/H.266 depuis le 1 juillet 2020)

- Les nouvelles représentations de données et outils de compression pour de la vidéo réellement immersive.

#### 4. **Nouvelle norme de compression vidéo : Versatile Video Coding**

*Organisateur(s)* : Wassim Hamidouche (IETR), Daniel Menard (IETR).

*Date* : 20 octobre 2020.

*Description* : Les comités de standardisation ISO/MPEG et ITU/VCEG ont conjointement mis en place un groupe de travail Joint Video Experts Team (JVET) pour le développement d'une nouvelle norme de compression vidéo appelée VVC pour Versatile Video Coding. La norme VVC qui a été finalisée en Juillet 2020 permet une réduction de la bande passante de 50% par rapport à la norme précédente HEVC pour une qualité visuelle équivalente. Néanmoins, ce gain en débit-distorsion est obtenu au détriment d'une augmentation considérable de la complexité d'encodage comparé à HEVC.

L'objectif de cette journée était de présenter des travaux de recherche développés autour de cette nouvelle norme. Ces travaux concernent non seulement les outils de codage proposés dans le cadre des activités de standardisation mais aussi des techniques de réduction de la complexité d'encodage VVC, les solutions logicielles et matérielles de codage et de décodage temps réel ainsi que des algorithmes non normatifs permettant d'améliorer la qualité d'une vidéo VVC.

#### 5. **Menaces de sécurité sur l'apprentissage profond**

*Organisateur(s)* : Teddy Furon (IRISA), Caroline Fontaine (LSV).

*Date* : 14 janvier 2021.

*Description* : L'année 2012 marque l'avènement de l'intelligence artificielle dans la communauté *vision par ordinateur* avec le réseau de neurones profond AlexNet, gagnant de la compétition ImageNet. A peine deux ans plus tard, Szegedi et al. découvrent des vulnérabilités : l'ajout d'une perturbation bien choisie sur l'image d'entrée leurre le réseau de neurones. C'est la naissance des exemples adverses (adversarial examples). La perturbation étant souvent de petite amplitude, un humain ne la perçoit pas. Les exemples adverses remettent ainsi en cause la dénomination intelligence artificielle attribuée trop tôt à ce genre d'algorithmes. Comment les qualifier d'intelligents alors qu'ils se trompent aussi lourdement ?

Depuis, le nombre d'articles portant sur ce sujet ne cesse de croître, formant une littérature très riche proposant des attaques (en boîte blanche, noire ou grise) sur des données diverses (image, son, parole, texte, série temporelle) et des défenses plus ou moins validées. Le jeu du gendarme et du voleur semble sans fin.

Les menaces se sont aussi diversifiées et frappent maintenant aussi la phase d'apprentissage. Les anglais parlent de poisoning, de back-door, et de trojaning. En perturbant les données d'entraînement, l'attaquant modifie le comportement du réseau à l'insu du défenseur. Les menaces concernent aussi l'effet mémoire implicite du réseau. Ce dernier garde une trace des données d'entraînement, si bien qu'un attaquant peut profiter de ces fuites d'information. Cela met en danger des jeux de données sensibles et pose question sur leur confidentialité.

La journée a mêlé exposés invités et exposés courts proposant des mises en pratique d'attaques/défenses sur tout type de données ou des études plus théoriques.

#### 6. **Learning based coding for digital image and video information**

*Organisateur(s)* : Wassim Hamidouche (IETR), Thomas Maugey (INRIA), Aline

Roumy (INRIA).

*Date* : 15 juin 2021.

*Description* : In recent years, with the vulgarization of image and video acquisition devices, we have observed unprecedented growth in visual data, especially with the increase of the dimensionality, e.g., UHD, 8K, 360-degree, point cloud and light field. Consequently, efficient compression is essential to store or transmit this huge amount of data. Despite the considerable performance achieved by the state-of-the-art image/video coding standards, the existing signal-processing oriented compression methods, such as hybrid coding approach, showed their limitations and it is becoming increasingly difficult to meet the growing demands of data. Consequently, the adoption of new approaches such as deep neural networks (DNNs) based methods represents a great potential to address this challenge and can provide very promising results. The topics developed during this workshop included :

- End-to-end image/video coding framework based on DNN
- Graph Learning Networks for image and video coding
- Learn to quantize
- Novel encoder/decoder DNN architectures for image/video compression
- Semantic-fidelity oriented image/video compression
- Super-resolution for image/video compression
- Adversarial learning
- Perpetual loss function
- Video compression via frame interpolation (image synthesis)
- Quality assessment of DNN-based image/video compression

#### 7. **Compression et sécurisation pour les applications immersives**

*Organisateur(s)* : Chaker Larabi (XLIM), William Puech (LIRMM).

*Date* : 1<sup>er</sup> juillet 2021.

*Description* : Les technologies immersives apportent de nouvelles façons d'utiliser les contenus visuels dans nos applications de la vie quotidienne. Ils jouent un rôle important dans l'amélioration des expériences d'apprentissage, en favorisant la participation, la collaboration, la créativité et l'engagement. Les applications sont diverses incluant la 3D stéréoscopique, la réalité virtuelle (VR), la réalité augmentée (AR), la réalité mixte (MR), etc. Les nouveaux types de contenus comme les nuages de points, les champs de lumière (lightfields), les images 360-deg, contribuent significativement dans l'expansion de ce domaine et à fournir une expérience de plus en plus confortable à l'utilisateur.

Cependant, comme dans toute chaîne d'imagerie, ces nouveaux contenus et ces nouvelles applications font émerger de nouveaux besoins notamment en termes de compression et de sécurisation des contenus. La généralisation de l'utilisation de l'apprentissage profond a également contribué à intensifier les travaux de recherche dans ces domaines.

Cette journée a visé à créer un espace de partage scientifiques sur les avancées récentes de ce domaine entre les chercheurs seniors, juniors et les industriels. Elle a été scindée en deux parties : la première orientée sécurisation en lien avec le GdR Sécurité Informatique et la seconde sur les problématiques de compression.

#### 8. **Deepfake video generation and detection**

*Organisateur(s)* : Wassim Hamidouche (IETR), Amine Kacete (b<>com Rennes),

Abdenour Hadid (LAMIH).

*Date* : 23 juin 2022.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **GdR SECURITE**

The word deepfake comes from "deep learning" and "fake". Roughly, it refers to a video, an image or an audio recording in which the protagonist's identity or lyrics have been modified to mimic the protagonist's identity or lyrics from a source video, or even completely generated from scratch. Recent advances in deep learning, including variational auto-encoders and generative adversarial networks (GAN), have enabled the generation of high-quality fake videos and audio. This situation raises many security issues in society, especially when celebrities and politicians are targeted, and their fake videos are widely shared on social networks. Many deepfake detection solutions relying on both handcrafted and deep learning techniques have been proposed in the literature. For instance, some deepfake detection methods rely on visual artifacts, physiological inconsistencies of features space where fake and real videos are well characterized. The race between deepfake generation and detection is still in play to develop more efficient generation and detection solutions. The aim of this workshop was to bring together industry researchers as well as academics working on deepfake generation and detection from different communities including machine learning, computer vision, image processing, multimedia security and biometric.

#### 9. *État des lieux de la compression des données multimédia*

*Organisateur(s)* : Chaker Larabi (XLIM), Didier Nicholson (EKTACOM), Félix Henry (ORANGE LABS), Marius Preda (Telecom SudParis), Lu Zhang (IETR).

*Date* : 23 juin 2022.

*Description* : Au cours des deux dernières décennies, les contenus multimédias sont devenus la forme de communication dominante de la société numérique. Cela a conduit à une croissance fulgurante qui représente plus de 80 % du trafic mondial de données. La compression reste un moyen incontournable pour transmettre le moins de bits possible tout en représentant les données d'entrée à un certain niveau de fidélité/qualité. Par ailleurs, les données multimédias sont consommées à l'aide d'appareils hétérogènes allant des téléviseurs aux smartphones ou même dans des communications machine à machine. Plusieurs domaines ont connu une progression significative comme la visioconférence en temps réel dans les environnements de travail et d'éducation, les applications immersives pour le divertissement et dans l'industrie du futur, et bien d'autres encore. Ces applications imposent des contraintes supplémentaires à la conception du codeur telles qu'un débit contrôlable dynamiquement, une faible empreinte de calcul et de mémoire, une faible latence et une satisfaction de l'utilisateur final, s'il existe.

Pour répondre aux besoins des applications émergentes dans le respect des contraintes applicatives, les académiques et les industriels déploient des efforts considérables. Les comités de normalisation tels que MPEG ou JPEG ont vu leur activité se diversifier notamment avec l'adoption de l'intelligence artificielle.

Cette journée du GdR-ISIS, première d'une série dédiée à la compression des données multimédias, avait pour but de faire l'état des lieux de la compression au sens large. L'objectif était de présenter les derniers développements en matière de compression et d'identifier les défis auxquels fait face cette thématique.

## 2. Journées thématiques de l'Axe 2 :

### 1. *Formes d'onde efficaces en énergie*

*Organisateur(s)* : Karine Amis (LabSTICC), Frédéric Guilloud (Lab-STICC), Charly Poulliat (IRIT), Yves Louët (IETR) et Christophe Jégo (IMS).

*Date* : 11 juin 2019.

*Description* : De plus en plus d'applications utilisent des émetteurs autonomes en énergie, alimentés par des batteries qui ne sont pas nécessairement rechargeables. Il s'agit par exemple des communications spatiales ou plus récemment des communications sans fils des réseaux d'accès des objets communicants (IoT). Pour réduire la consommation, augmenter l'autonomie de fonctionnement des émetteurs ou bien encore pour réduire leur coût, ces communications utilisent des formes d'onde efficaces en énergie, que l'on retrouve également en télémétrie aéronautique. Ces modulations sont souvent non-linéaires et par conséquent riches de problématiques en traitement du signal (émission et/ou réception), communications numériques, mais également en implémentation. Les activités récentes au sein de divers laboratoires et de certains industriels montrent un net regain d'intérêt pour ces problématiques, soit pour améliorer le bilan énergétique des transmetteurs, soit pour réduire le coût de fabrication des émetteurs sans perte de performance. L'objectif de cette journée est de présenter le potentiel des formes d'ondes efficaces en énergie (qu'elles soient non linéaires ou pas) pour les applications émergentes de type IoT, d'introduire les problématiques soulevées par leur utilisation dans de tels systèmes de communication et de décrire des solutions techniques récentes. La journée a été composée de 3 séminaires invités, Giulio Colavolpe de l'Université de Parme a présenté "Reception of LoRa Signals from LEO Satellites"; Alain D. Thomas de Safran Aerosystems a présenté "Flight test and Launchers telemetry : from PCM/FM and on-board recording to real-time new CPM schemes" et Adrien Le Naour de Thales Communication a présenté "Optimization of channel codes (Convolutional Codes, Turbo Codes and LDPC) for CPM and precoded CPM"; ainsi que de 5 autres exposés.

### 2. *Enabling technologies for sub-TeraHertz and TeraHertz communications*

*Organisateur(s)* : Jean-Baptiste Doré (CEA Leti), Carlos Faouzi Bader (ISEP), Yoann Corre (SIRADEL), Emmanuel Faussurier (ANFR).

*Date* : 18 septembre 2019.

*Description* : Les technologies sub-TeraHertz (sub-THz) et Terahertz (THz), souvent appelées communications au-delà de la 5G, suscitent aujourd'hui un grand intérêt de la part du monde universitaire et industriel. La transmission d'informations dans le spectre situé au-dessus de 90 GHz et jusqu'à 300 GHz permet d'utiliser d'énormes largeurs de bande, de quelques dizaines de GHz. L'augmentation continue de la capacité sans fil et donc des exigences en matière de bande passante est toujours plus ambitieuse. En particulier, les bandes passantes ultra larges peuvent être utilisées pour les communications sans fil à courte portée de l'ordre du téraoctet par seconde (Tb/s), ou pour les applications de backhaul ou de kiosque à très haute capacité. Aujourd'hui, les techniques sub-THz/THz sont loin de la maturité atteinte dans les domaines des micro-ondes, des ondes millimétriques et de la photonique. Le principal problème est que ces systèmes ne peuvent pas être mis en œuvre avec la technologie existante, en particulier lorsqu'il s'agit de dispositifs intégrés. La première préoccupation est la conception de circuits intégrés performants à un coût raisonnable. En plus de ces considérations matérielles, la caractérisation et la modélisation des composants de la couche PHY, y compris le canal de propagation (modèles de propagation en ligne de visée, en

ligne de visée obstruée et à trajets multiples), les performances/contraintes RF et les antennes ainsi que les topologies de réseau sont de première importance pour évaluer et optimiser les systèmes de communication sub-THz/THz étudiés. L'objectif de cette journée GdR ISIS est de partager les progrès récents réalisés dans le domaine émergent des communications sub-THz/THz, en s'appuyant sur des techniques de transmission et de détection innovantes. Les interventions ont couvert de nombreux aspects de la communication sub-THz et THz, le codage des canaux, l'antenne de la couche physique, la propagation des canaux et les bancs d'essai. Une trentaine de participants issus de l'industrie, d'agences de régulation, d'instituts de recherche et d'universités ont échangé leurs visions et discuté de l'avenir des systèmes de communication sub-THz et THz.

### **3. Codage, modulation et traitement du signal pour les communications optiques**

*Organisateur(s)* : Ingmar Land (Huawei), Maxime Guillaud (Huawei), Ghaya Rekaya-Ben Othman (Telecom Paris), Jean-Claude Belfiore (Telecom Paris).

*Date* : 19 septembre 2019.

*Description* : L'objectif de cette journée était de faire un tour d'horizon des problématiques actuelles dans les systèmes de communications optiques, et de présenter les avancées récentes dans ce domaine, à destination des chercheurs et des étudiants actifs dans les domaines des communications, de la théorie de l'information, du codage et du traitement du signal. L'optimisation et la conception de code canal, de modulation, d'algorithme de décodage ainsi que d'architecture matérielle est un véritable challenge afin de répondre à l'augmentation du débit sur les réseaux d'infrastructure optiques. Deux orateurs invités experts du domaine ont présenté leurs derniers résultats : Prof. Gerhard Kramer de Technische Universität München, dont l'exposé a porté sur "Fiber channel models and capacity limitations"; Dr. Georg Böcherer de Huawei Paris, dont l'exposé a porté sur "Integration of probabilistic shaping and forward error correction coding". 5 autres exposés scientifiques par des académiques et des industriels ont permis de compléter ce tour d'horizon.

### **4. Coding theory and its applications to data storage, communication and security**

*Organisateur(s)* : Iryna Andriyanova (ETIS), Charly Pouillat (IRIT).

*Date* : 15 novembre 2019.

*Description* : Cette journée consacrée à la théorie des codes correcteurs d'erreurs et leurs applications a eu pour objectif d'une part de présenter les derniers résultats en matière de codage algébrique et code sur les graphes et d'autre part de présenter les applications les plus pertinentes du codage de canal d'aujourd'hui. Deux orateurs invités experts du domaine ont présenté leurs derniers résultats : Prof. Alexandre Graell i Amat de Chalmers University of Technology a présenté "Finite-length scaling of spatially coupled LDPC codes under window decoding over the binary erasure channel"; Prof Gilles Zémor de l'université of Bordeaux, a présenté "Quantum LDPC codes : an introduction and a survey". Le programme de la journée a été complété par 6 exposés scientifiques donnés par des académiques et des industriels, junior et senior.

### **5. Enabling ultra-reliability, low latency and massive connectivity**

*Organisateur(s)* : Arsenia Chorti (ETIS), Inbar Fijalkow (ETIS), Mylène Pischella (CNAM).

*Date* : 18 juin 2020.

*Description* : Les applications de communications ultra-fiables à faible latence (Ultra-reliable low-latency communications-URLLC) et de communications massives de type machine (mMTC) sont apparues comme des éléments clés de différenciation pour les réseaux 5G, par rapport aux générations précédentes de communications mobiles, où l'accent était mis sur les communications à large bande. URLLC se concentre sur les cas d'utilisation d'applications à haute fiabilité et à faible latence, tandis que mMTC se concentre sur les communications de type machine avec des exigences strictes en matière d'économie d'énergie et de capacité de communication limitée. Afin de couvrir cette thématique d'actualité, 6 exposés ont été programmés : un orateur invité, Petar Popovski a présenté ses résultats sur "A Prospect in Wireless Research : Embracing Heterogeneous Connectivity" et 5 autres exposés scientifiques par des académiques et des industriels.

#### **6. Machine learning in optical communication systems**

*Organisateur(s)* : Elie Awwad (Telecom Paris), Catherine Lepers (Telecom Sud-Paris).

*Date* : 25 mars 2021.

*Description* : Pendant cette journée, nous avons donné une vue d'ensemble des algorithmes d'apprentissage (Machine Learning - ML) et de leurs applications pour les systèmes et réseaux de communication optique. L'apprentissage automatique repose sur l'idée que des données synthétiques ou réelles peuvent être utilisées pour entraîner des systèmes afin de leur permettre de prendre des décisions ou de faire des prédictions sur de nouvelles données inconnues. La plupart des algorithmes de ML traitent deux tâches : la régression et la classification (ou le regroupement). Bien que la ML ne soit pas un domaine nouveau, les récentes augmentations importantes de la puissance de calcul et l'accès à d'abondantes quantités de données ont contribué à l'avènement de nouvelles méthodes de ML appliquées dans plusieurs domaines. Les chercheurs dans le domaine des communications optiques ne sont pas étrangers aux problèmes de régression et de classification abordés avec la théorie des probabilités et une compréhension de la physique sous-jacente du problème. Cependant, comme les sources d'altération de la transmission deviennent de plus en plus nombreuses et complexes pour les liaisons et les réseaux à haut débit, la caractérisation explicite de ces altérations, leur atténuation et la prédiction de leur impact sur la qualité de la transmission deviennent difficiles à analyser. Par conséquent, les applications des techniques de ML vont de la compensation de la non-linéarité des fibres et des imperfections des émetteurs-récepteurs à la surveillance des performances optiques et aux réseaux définis par logiciel. En effet, outre les développements liés à la couche physique, les architectures et les opérations des réseaux optiques connaissent une évolution importante vers l'approvisionnement adaptatif des ressources et la découverte rapide des défaillances afin de minimiser les pannes du système.

#### **7. Enabling technologies for (sub)-TeraHertz communications**

*Organisateur(s)* : Carlos Faouzi Bader (ISEP), Jean-Baptiste Doré (CEA Leti), Yoann Corre (SIRADEL), Emmanuel Faussurier (ANFR).

*Date* : 20 mai 2021.

*Description* : Sub-Terahertz (sub-THz) and Terahertz (THz) technologies, which are often referred as beyond-5G communication, are today attracting a great interest from both academia and industry. The transmission of information in the spectrum above 90GHz, up to 300GHz allows the use of huge bandwidths, from

ones to tens of GHz. As the millimetre-wave communication systems will become mature with the emergence of 5G technologies, the focus of the research activities is naturally moving to the sub-THz range. The continuous increase in wireless capacity makes the bandwidth requirements always more ambitious. Ultra large bandwidths can be used for terabit-per-second (Tb/s) short-range wireless communications, or ultra-high capacity backhaul or kiosk applications, among others. Nowadays, the sub-THz/THz techniques are far from the maturity achieved in microwave, millimetre-wave, and photonics. The key issue is that such systems cannot be implemented with existing technology especially when it comes to integrated devices. First concern is the design of high-performance reasonable-cost integrated circuits that include powerful sub-THz/THz sources, high-gain antennas, and sensitive sub-THz detectors.

In addition to those hardware considerations, the characterization and modeling of the PHY-layer components, including the propagation channel (line-of-sight, obstructed line-of-sight, and multi-paths propagation models), RF performance/constraints (e.g., phase noise) and antennas as well as network topologies are of primary importance to assess and optimize the investigated sub-THz/THz communication systems. Note that many recent advancements with different technologies is finally closing the so-called THz gap. From one hand, we have the electronic approach, where semiconductor technologies have demonstrated record performance in terms of output power, noise figure, and power-added efficiency at sub-THz frequencies. On the other hand, in a photonic approach, optical down-conversion systems and quantum cascade lasers are rising as potential candidates for high-power high-speed THz-band communication systems.

The goal of this GDR-ISIS event was to share the recent progress made in the emerging sub-THz/THz communication domain, relying on innovative transmission and detection techniques.

#### 8. *Reconfigurable intelligent surfaces for programmable wireless environments*

*Organisateur(s) :* Marco Di Renzo (L2S), Merouane Debbah (Huawei).

*Date :* 25 mai 2021.

*Description :* Future wireless networks will be as pervasive as the air we breathe, not only connecting us but embracing us through a web of systems that support personal and societal well-being. That is, the ubiquity, speed and low latency of such networks will allow currently disparate devices and services to become a distributed intelligent communications, sensing, and computing platform.

Small cells, massive multiple-input-multiple-output (MIMO), millimeter-wave communications are three fundamental technologies that will spearhead the emergence of 5G wireless networks? Their advantages are undeniable. The question is, however, whether these technologies will be sufficient to meet the requirements of future wireless networks that integrate communications, sensing, and computing in a single platform. Wireless networks, in addition, are rapidly evolving towards a software-defined design paradigm, where every part of the network can be configured and controlled via software. In this optimization process, however, the wireless environment itself - the medium or channel - is generally assumed uncontrollable and often an impediment to be reckoned with. For example, signal attenuation limits the network connectivity, multi-path propagation results in fading phenomena, reflections and refractions from objects are a source of uncontrollable interference.

Recently, a new concept called Reconfigurable Intelligent Surfaces (RISs) has emerged wherein every environmental object is coated with man-made intelligent surfaces of configurable electromagnetic materials. These materials contain integrated electronic circuits and software that enable the control of the wireless medium. RISs constitute a new wireless communication research frontier with the goal of realizing metamaterial-coated smart and reconfigurable radio propagation environments through passive and tunable signal transformations. Featured by orders of magnitude lower hardware and energy cost than traditional active antenna-arrays and yet superior performance, RISs are the new driving technology for future wireless networks, especially for enabling them to migrate to higher frequency bands. RISs have the inherent potential of transforming the current wireless network with active nodes solely into a new hybrid network comprising active and passive components co-working in an intelligent way, so as to achieve a sustainable capacity growth with a low and affordable cost and power consumption. Therefore, RISs have the potential to change how wireless networks are currently designed, usher in that hoped-for wireless future, and are regarded as an enabling technology for realizing the emerging concept of metamaterial-assisted smart (programmable) radio environments (SREs). RIS-assisted SREs are a multidisciplinary research endeavor but are not well-understood.

With the above vision, the objective of this conference was to gathering the latest and most promising research advances on the modeling, analysis, design, and implementation of RIS-empowered wireless networks, and to envision new research directions in this emerging field of research.

### 9. *Short packet transmission for wireless communications*

*Organisateur(s)* : Catherine Douillard (IMT), Philippe Mary (IETR), Jean-Marie Gorce (INRIA), Emmanuel Boutillon (Lab-STICC).

*Date* : 5 mai 2020.

*Description* : L'objectif de cette journée était de faire le point sur les avancées récentes dans le domaine de la transmission de paquets courts pour les réseaux sans fils. Différentes thématiques ont été abordées : les limites théoriques, la forme d'onde et les codes correcteurs d'erreurs associés, les problèmes de réception et de gestion des collisions et les problèmes d'allocation de ressources. L'objectif était de réunir académiques et industriels pour échanger autour de cette thématique afin de faire émerger les problèmes encore ouverts et les techniques les plus prometteuses pour la transmission des paquets de faible taille.

## 3. Journées inter-thèmes :

### 1. *Enabling Technologies for sub-TeraHertz and TeraHertz communications*

*Organisateur(s)* : Jean-Baptiste Doré (CEA Leti), Carlos Faouzi Bader (IETR), Yoann Corre (SIRADEL), Emmanuel Faussurier (ANFR).

*Date* : 18 septembre 2019.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème D**

Sub-TeraHertz (sub-THz) and Terahertz (THz) technologies, which are often referred as beyond-5G communication, are today attracting a great interest from both academia and industry. The transmission of information in the spectrum above 90GHz, up to 300GHz allows the use of huge bandwidths, from ones to tens of GHz. As the millimeter-wave communication systems will become mature with the emergence of 5G technologies, the focus of the research activities is na-

turally moving to the sub-THz range. The continuous increase in wireless capacity and thus makes the bandwidth requirements always more ambitious. In particular, ultra large bandwidths can be used for terabit-per-second (Tb/s) short-range wireless communications, or ultra-high capacity backhaul or kiosk applications. Today, the sub-THz/THz techniques are far from the maturity achieved in microwave, millimeter-wave, and photonics. The key issue is that such systems cannot be implemented with existing technology especially when it comes to integrated devices. First concern is the design of high-performance reasonable-cost integrated circuits that include powerful sub-THz/THz sources, high-gain antennas and sensitive sub-THz detectors. In addition to those hardware considerations, the characterization and modelling of the PHY-layer components, including the propagation channel (line-of-sight, obstructed line-of-sight, and multi-paths propagation models), RF performance/constraints and antennas as well as network topologies are of primary importance to assess and optimize the investigated sub-THz/THz communication systems. The goal of this day was to share the recent progress made in the emerging sub-THz/THz communication domain, relying on innovative transmission and detection techniques.

## 2. *Tendances en évaluation de la qualité pour la compression et la sécurisation des contenus émergents*

*Organisateur(s)* : Aladine Chetouani (PRISME), Chaker Larabi (XLIM), Giuseppe Valenzise (L2S).

*Date* : 5 mai 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème B**

De nombreux travaux de recherche sont dédiés au développement de mesures de qualité des données multimédia (image, stéréo, vidéo, maillage 3D, etc). Différentes approches ont été proposées dans la littérature avec une exploitation de plus en plus forte de méthodes basées sur l'apprentissage (SVM, ANN, Deep Learning, etc.). Ces méthodes trouvent naturellement différents champs applicatifs. A titre d'exemple, on peut citer leur utilisation pour la reconnaissance de personne où l'objectif est de mesurer la fiabilité des données biométriques ou bien encore l'imagerie médicale pour s'assurer des acquisitions réalisées.

Au cours de cette journée, les nouvelles méthodes/approches/paradigmes d'estimation de la qualité et leur exploitation dans les différentes applications ont été discutés. Une attention particulière a été portée aux applications industrielles ou académiques de type sécurité (tatouage, cryptographie, etc.) et/ou compression faisant intervenir l'évaluation de la qualité, sans pour autant exclure les autres domaines.

## 2.5 Thème T - Apprentissage pour l'analyse du signal et des images

### Directeurs scientifiques adjoints :

- Christian Wolf (MCF HDR, LIRIS, Lyon)
- Nicolas Thome (PU, CNAM, Paris)

### 2.5.1 Présentation générale du Thème T

L'apprentissage automatique est une force motrice majeure dans les récentes évolutions des Sciences de l'Information. Les avancées effectuées, par exemple en vision par ordinateur ou en reconnaissance vocale, ont eu un impact à la fois sur le monde académique et sur le monde industriel. Les méthodes d'apprentissage profond se sont établies comme référence pour un grand nombre de problèmes en remportant les plus prestigieuses compétitions scientifiques. À ce succès académique et industriel s'ajoute une visibilité croissante pour le grand public, témoignée par les nombreux articles parus dans la presse. Les conférences de vulgarisation se multiplient et, depuis peu, l'ensemble des médias se sont saisis du sujet.

L'apprentissage automatique connaît une forte croissance interne (doublement de la taille des congrès en quelques années) et externe, à la fois dans des disciplines recourant naturellement à des méthodes d'apprentissage (signal, image, vision, texte, intelligence artificielle, etc.), que dans des disciplines contribuant au développement d'outils nécessaires à sa mise en œuvre et à sa compréhension (optimisation, statistique, etc.). Le traitement du signal et de l'image a profondément muté grâce à ce succès, fort de l'avènement du deep learning et, plus généralement, des développements de l'Intelligence Artificielle. Cette réussite repose à la fois sur des avancées en termes de modélisation de l'information et de représentation des connaissances, sur des méthodes d'apprentissage statistiques exploitant des données massives annotées, et enfin sur des calculateurs puissants parfaitement adaptés aux modes de calcul associés (GPU, accélérateurs dédiés).

La discipline du traitement du signal et des images connaît une évolution de paradigme qui s'est progressivement installée au cours de la dernière décennie. Compte tenu du nombre sans cesse croissant de chantiers ouverts qui lui sont dédiés, le GdR ISIS a souhaité en tenir compte et accompagner les évolutions de son métier en consacrant une place entière à l'apprentissage par son nouveau Thème T. Celui-ci est par nature **transverse** au sein de l'organisation du GdR, compte tenu des multiples interactions possibles en apprentissage automatique avec les Thèmes A, B, C et D. Ce Thème a néanmoins vocation à prendre de l'ampleur au sein du GdR ISIS.

### 2.5.2 Axes fondamentaux

#### 1. Formulations d'apprentissage et architectures

Le succès spectaculaire de l'apprentissage profond a été particulièrement marqué pour des tâches d'apprentissage supervisé et de classification. Dans ce contexte, la capacité du deep learning a bénéficié d'une formulation d'apprentissage (discrimination) clairement définie. Pour d'autres problématiques classiques d'apprentissage tel que le contexte non supervisé, la formulation d'un critère d'optimisation clair pour l'apprentissage de représentations reste encore largement ouverte. Des solutions prometteuses récentes « d'auto-supervision » exploitent la nature des données ou du problème pour convertir un problème d'apprentissage non-supervisé en apprentissage supervisé. On peut citer par exemple word2vec pour l'apprentissage de

représentations textuelles ou les très populaires modèles génératifs adversaires (Generative Adversarial Networks, GAN).

Le coût des annotations est également un problème qui motive la mise en place de formulations d'apprentissage alternatives. Ainsi, développer des modèles permettant de pouvoir bénéficier des données massivement disponibles mais moins massivement annotées est un enjeu actuel majeur. Développer des solutions d'apprentissage semi-supervisé ou faiblement supervisé est une piste pour cela, mais la formulation de ces problèmes est aujourd'hui également largement ouverte. L'apprentissage avec labels bruités est également une question centrale dans le contexte actuel du big data.

En ce qui concerne l'apprentissage profond, l'architecture des réseaux convolutifs profonds pose des questions cruciales pour répondre à une problématique particulière : détection et reconnaissance à large échelle, segmentation sémantique et segmentation d'instances, détection et estimation de la posture 3D, etc. Le choix d'une architecture est également étroitement lié à des questions d'optimisation, de sur-apprentissage et d'empreinte mémoire des algorithmes qui conditionnent leur bon comportement et déploiement.

Enfin, la mise en place de solutions d'apprentissage permettant de prédire des sorties "structurées", c'est-à-dire pour lesquelles les variables de sortie sont corrélées, est une question importante pour dépasser les succès récents obtenus pour des problèmes simples de catégorisation. L'utilisation de modèles graphiques pour la résolution des problèmes centraux en vision, comme la segmentation d'images ou l'estimation de pose, a été intensivement étudiée. L'apprentissage structuré pose des questions spécifiques dans le contexte du deep learning moderne, notamment au niveau de la capacité d'inclure l'étape de prédiction (inférence) lors de l'entraînement des modèles afin de pouvoir bénéficier d'une optimisation globale du réseau ("end-to-end learning").

## 2. **Passage à l'échelle et transfert**

Un enjeu important en Machine Learning concerne la capacité à traiter des volumes d'informations diverses à grande échelle, et pour cela, à mettre en place des algorithmes d'optimisation efficaces. Si les méthodes de descente de gradient stochastique ont été la clé du déploiement des algorithmes d'apprentissage pour les réseaux de neurones profonds, l'accélération de la convergence reste un enjeu crucial, et de nombreuses variantes ont été proposées ces dernières années. L'apprentissage distribué est également une solution pour le passage à l'échelle des algorithmes qui s'inscrit naturellement dans le contexte du big data et des objets connectés. Les systèmes potentiellement décentralisés sont une piste intéressante par exemple pour préserver les aspects privés.

Un autre point important pour l'apprentissage sur données plus au moins massives est la possibilité d'exporter les connaissances apprises d'une tâche à l'autre ("transfer learning"). Pour la classification d'images, la base ImageNet a été un élément majeur permettant l'extraction de représentations apprises par des réseaux convolutifs ("Deep features") dont la capacité de transfert s'est avérée spectaculaire pour un très grand nombre de tâches de reconnaissance visuelle. Pour aller plus loin que cette approche de transfert naïve, de nombreux travaux restent à mener pour modéliser la corrélation entre la base cible et source, ou pour chercher explicitement à mettre en place des algorithmes d'adaptation de domaine (par exemple en utilisant des méthodes de transport optimal). Dans ce cadre, la formulation d'apprentissage inclut

souvent différents objectifs ou tâches (apprentissage multi-tâches), ce qui nécessite une réflexion particulière pour le développement des algorithmes.

### 3. Compréhension formelle des réseaux profonds

En dépit de leur performances prédictives spectaculaires, la compréhension des architectures profondes est encore fragile et limitée, notamment aux niveaux suivants :

- Optimisation non convexe : frein historique à l'utilisation des réseaux de neurones profonds, la nature non convexe de la fonction objectif d'apprentissage ne semble pas être un problème majeur pour bon nombre de problèmes concrets. Des travaux récents ont apporté certains éléments de réponse à cette observation empirique, à travers l'étude des minima locaux et des points selles de la fonction objectif. D'une manière générale, la compréhension plus fine de la structure de la fonction d'apprentissage constitue assurément une source d'inspiration importante pour la mise en place de formulations d'apprentissage ou d'architectures bénéficiant de garanties de convergence fortes.
- Incertitude décisionnelle : les réseaux de neurones profonds ne bénéficient pas naturellement d'une mesure de confiance de prédiction. Ceci est une limitation rédhibitoire pour pénétrer certains champs applicatifs critiques comme la conduite autonome, la médecine ou le nucléaire. Le recours aux réseaux de neurones bayésiens, bien que solution naturelle pour modéliser l'incertitude, se trouve cependant rapidement limité par un coût calculatoire prohibitif. Proposer des solutions permettant à la fois de modéliser l'incertitude d'un réseau profond et d'assurer un entraînement raisonnable sur données massives est un enjeu actuel très important. En ce sens, des travaux préliminaires établissent des liens entre la technique de dropout (régularisation moderne de référence) et les méthodes d'inférence variationnelles approchées.
- Stabilité : la stabilité à différentes déformations est une propriété importante dans système d'apprentissage et liée à la capacité de "manifold untangling" des réseaux profonds. Certaines architectures profondes particulières inspirées de la littérature du traitement du signal et des ondelettes (scattering) ont montré leur capacité de stabilité et/ou l'invariance par rapport à certaines transformations particulières (difféomorphismes). A l'inverse, les exemples adversaires illustrent l'incapacité des réseaux à assurer une stabilité par rapport à d'autres familles de déformations. Une analyse de la stabilité vis-à-vis de déformations plus générales et apprises permettra certainement de mieux comprendre le fonctionnement des réseaux de neurones profonds.
- Théorie de la généralisation : étrangement, les réseaux de neurones profonds semblent robustes au sur-apprentissage. Les outils classiques de l'apprentissage statistique comme la PAC semblent insuffisants pour expliquer ces très bonnes performances prédictives. Le développement d'un cadre théorique pour les méthodes d'apprentissage de représentations semble crucial, bien qu'encore à ses balbutiements.

### 4. Traitement de données multi-modales

Le succès de l'apprentissage automatique a fait émerger de nouvelles applications et thématiques traitant de données variées, hétérogènes et multi-modales :

- Vision et langage : comprenant des sujets tels que l'indexation multi-modale et le "Visual Question Answering" (VQA). Au cœur de cette thématique se trouve

la fusion de texte et de signaux visuels, nécessitant des compétences de domaines différents. Les verrous scientifiques vont de l'alignement de ces sources d'information, la prédiction d'une source à partir d'une autre jusqu'au raisonnement.

- Données audio-visuelles : il s'agit sans doute du cas le plus classique intervenant dans de nombreuses applications telles que les interactions humain-machine, la robotique et l'indexation multi-média. Au cœur des défis sur ces questions, se trouvent la fusion des modalités et l'exploitation de leurs complémentarités.
- Géométrie et sémantique : la géométrie est traditionnellement utilisée pour la reconstruction 3D et pour la génération de cartes métriques dans le cadre d'applications telles que la robotique, les véhicules autonomes, la mobilité, etc. L'utilisation d'étiquettes sémantiques a émergé comme une alternative ou comme une source complémentaire à la géométrie. Souvent prédites par des réseaux de neurones profonds, les étiquettes sémantiques permettent de raisonner sur la présence d'objets spécifiques et sur la classe d'objets.

## 5. Apprentissage et connaissances

Les problèmes de raisonnement ont longtemps été traités principalement par des méthodes symboliques basées sur un ensemble de règles, déterminées par des experts ou apprises à partir de données. Le raisonnement sur des données complexes (images, sons, grands corpus de textes) a démontré les limites de ces types d'approches. L'apprentissage statistique semble être une alternative puissante, capable de gérer le bruit et les incertitudes inhérents à ces données.

Les interactions avec le domaine TSI se trouvent autour du raisonnement à partir de signaux de bas niveau (images et sons), où l'interprétation des signaux (le fossé sémantique) est un enjeu important.

### 2.5.3 Activités sur la période écoulée

#### 1. Journées inter-thèmes :

##### 1. *Apport de l'information sémantique pour la vision par ordinateur*

*Organisateur(s)* : Hervé Le Borgne (CEA List), Nicolas Thome (CNAM), Liming Chen (CREATIS), Hervé Bredin (LIMSI), Alexandre Benoit (LISTIC), Jenny Benois-Pineau (LABRI).

*Date* : 6 avril 2018.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème B**

La compréhension des images et des vidéos consiste à mettre en rapport un contenu pixellique et des concepts pouvant être interprétés par des utilisateurs humains à un niveau sémantique. Du fait des améliorations significatives des performances dans le domaine, les problèmes abordés en vision par ordinateur concernent des concepts (sémantiques) de complexité croissante. Cette complexité se traduit notamment par une description des concepts de plus en plus précise, faisant intervenir non plus seulement des annotations (mot unique ou groupe de mots fixe) mais des phrases entières. L'analyse, et la compréhension par un ordinateur, de telles phrases est justement l'objet du "traitement automatique du langage naturel (TAL)". Au delà du rapprochement évoqué ici avec la vision par ordinateur, cette discipline est également concernée par les progrès

du aux approches d'apprentissage profond, bien que dans une mesure moindre que pour la vision. Les mêmes techniques d'apprentissage tendent à être utilisées dans les deux domaines, rendant l'intégration des approches plus homogènes, et permettant ainsi d'ouvrir de nouveaux champs de recherche profitables aux deux domaines.

L'objectif de cette journée du GdR ISIS était de présenter une vue d'ensemble des développements les plus récents croisant la vision par ordinateur et le traitement automatique des langues.

## 2. *Intelligence artificielle et apprentissage sur systèmes embarqués*

*Organisateur(s)* : Fan Yang (ImViA), Jean-François Nezan (IETR), Christian Wolf (LIRIS).

*Date* : 25 juin 2018.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème C**

Le domaine de l'intelligence artificielle est un domaine de recherche au milieu de toutes les attentions ces dernières années. Les réseaux de neurones convolutifs (CNN) ont montré leurs performances en reconnaissance de forme en particulier et en Traitement du Signal et des Images (TdSI) plus généralement. L'utilisation de ces techniques dans des applications réelles est au cœur de nombreuses expérimentations académiques et industrielles. Les recherches dans le domaine de l'apprentissage profond sont nombreuses et orientées le plus souvent vers la phase d'apprentissage du réseau : dimensionnement du réseau, choix de la base d'apprentissage, annotations, etc. Les calculs nécessaires en intelligence artificielle pour obtenir de bons résultats sont proportionnels à la taille des données traitées. La solution actuelle est d'utiliser des clusters de calcul distant (Cloud Computing) sur de très larges bases de données. L'utilisation de systèmes embarqués dans ce domaine a plusieurs intérêts. Le premier est de diminuer la consommation énergétique dans les clusters de calcul distants. La seconde est de pouvoir réaliser de nouvelles applications en exécutant une partie des calculs au plus près des capteurs (Edge Computing / Fog Computing).

Cette journée avait pour objectif de faire le point sur les travaux en cours et d'échanger sur les perspectives dans ce domaine.

## 3. *Extraction d'attributs et apprentissage pour l'analyse des images de télédétection*

*Organisateur(s)* : Abdourrahmane Atto (LISTIC), Loïc Denis (LHC), Nicolas Thome (CNAM), Stéphane May (CNES).

*Date* : 18 octobre 2018.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème B**

Les capteurs modernes d'imagerie en télédétection délivrent beaucoup de données de très grandes dimensions spatiales, temporelles, associées à plusieurs modalités d'acquisitions et impliquant des schémas d'acquisition par constellation d'imageurs. L'analyse des images issues de ces nouvelles générations de capteurs soulève des défis majeurs en matière d'analyse et recherche d'informations spatiales, spectrales, polarimétriques, étalées ou localisées dans le temps, etc.

L'objectif de cette réunion était de faire un point sur les derniers travaux de recherche associés à des techniques avancées d'extraction d'attributs et d'apprentissage dans des contextes tels que l'observation de la terre (satellites, systèmes aéroportés ou drones, etc.) et l'imagerie astrophysique. La réunion a abordé plusieurs problèmes sous le thème de l'apprentissage profond, en particulier :

- segmentation et classification de contenus,
- détection d'anomalies, changements ou caractérisation de phénomènes physiques par télédétection,
- recalage d'images et suivi d'objets à partir de données spatio-temporelles.

#### 4. *Images et data : méthodes d'analyse et modélisation pour l'agriculture numérique*

*Organisateur(s)* : Adel Hafiane (PRISME), Christelle Gée (INRA), Raphaël Canals (PRISME), Paul-Henry Cournède (MICS).

*Date* : 14 mars 2019.

*Description* : Réunion co-organisée avec les **Thèmes A et B**

Un des grands défis d'aujourd'hui est de renforcer la productivité agricole tout en réduisant fortement l'utilisation des intrants. Les avancées récentes dans les technologies des robots, drones, etc., ont permis d'ouvrir des pistes prometteuses pour l'agriculture de précision en ce qui concerne l'analyse de données numériques (images, signaux, etc.) et leur interprétation. Cette révolution du numérique suscite un intérêt grandissant dans différents domaines de l'agriculture, particulièrement la gestion des intrants chimiques (i.e., stratégie de désherbage, de diagnostic des maladies, du pilotage de la fertilisation, etc.) ou le développement d'outils d'aide à la décision. Dans ce contexte, les méthodes d'analyse des images et modélisation constituent un thème fort pour l'agriculture de précision. Pour ne citer que quelques exemples, la détection et la reconnaissance par imagerie aérienne des maladies ou des espèces végétales envahissantes permettent de planifier des actions ciblées et réduire ainsi l'utilisation d'intrants ; les modèles mathématiques d'évolutions des maladies ou de ces espèces permettront d'agir d'une manière préventive ; l'identification des adventices avec un robot de désherbage permet de réaliser une action plus précise. Cependant, l'analyse des images et des données dans l'agriculture fait face à plusieurs challenges tels que l'occultation entre les espèces végétales, le recalage d'images de différentes modalités prises à différentes échelles spatiales, le suivi spatio-temporel de parcelles, la labélisation des données, la précision des modèles de prédiction, etc.

Le but de cette journée était de réunir des acteurs académiques et industriels pour aborder les besoins, les challenges et les récents développements de méthodes de traitement d'images multimodales, du traitement du signal, d'intelligence artificielle, d'apprentissage automatique, de modélisation des données, etc. dans le domaine de l'agriculture.

#### 5. *Apprentissage faiblement supervisé ou non supervisé pour l'analyse d'images et de vidéo*

*Organisateur(s)* : Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Nicolas Thome (CNAM), Su Ruan (LITIS), Christian Wolf (LIRIS).

*Date* : 10 mai 2019.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème B**

L'apprentissage supervisé est au cœur des techniques actuelles de computer vision et d'analyse d'images et de vidéos. Une des limitations des méthodes d'apprentissage supervisé est la nécessité de disposer de grandes bases de données étiquetées. Cet étiquetage peut être coûteux, voire impossible. Les approches d'apprentissage faiblement supervisé permettent de contourner le problème, en utilisant à la fois des données étiquetées ou non-étiquetées, ou des données partiellement étiquetées.

L'objectif de la journée était de faire le point sur les techniques d'apprentissage non-, semi- ou faiblement supervisé, de transfert de connaissance, de multiple instance learning, pour l'analyse d'images et de vidéos, mais aussi pour l'annotation automatique ou semi-automatique de grandes bases d'images, où de l'apprentissage incrémental est en jeu.

#### 6. *Détection et segmentation d'objets*

*Organisateur(s)* : Hervé Le Borgne (CEA List), Nicolas Thome (CNAM), Liming Chen (LIRIS), Hervé Bredin (LIMSI), Alexandre Benoit (LISTIC), Jenny Benois-Pineau (LABRI).

*Date* : 4 juin 2019.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème B**

La vision par ordinateur a pour but de doter les machines d'une capacité de vision similaire à celle des êtres humains. Aussi, dans ses tâches parmi les plus fondamentales, figurent des problèmes comme la classification, la détection d'objets, leur segmentation et suivi spatio-temporel dans les images et séquences vidéo. Leur résolution a des applications indénombrables, allant de la robotique, conduite autonome, jusqu'aux interactions homme-machine. Ces dernières années, le paradigme du deep learning a permis des progrès gigantesques sur ces problèmes. Néanmoins, de nombreux challenges sont encore à surmonter, notamment des difficultés liées aux raretés de données annotées au niveau d'objets utilisables pour l'apprentissage.

Cette journée a proposé de faire un état des lieux sur les travaux en cours sur ces problèmes fondamentaux.

#### 7. *Transport optimal en apprentissage statistique et traitement du signal*

*Organisateur(s)* : Rémi Flamary (Lagrange), Nicolas Courty (IRISA), Alain Rakotomamonjy (LITIS), N. Papadakis (IMB).

*Date* : 9 juillet 2019.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème A**

Le transport optimal (TO) et la distance de Wasserstein qui lui est associée sont devenus au cours des dernières années des outils très utilisés en apprentissage statistique et en traitement du signal. Ils ont été utilisés avec succès en apprentissage supervisé, apprentissage non-supervisé et apprentissage de modèle génératifs (Wasserstein GAN) avec des applications en adaptation de domaine ou apprentissage de dictionnaire. Les distances basées TO ont en effet la capacité d'intégrer la géométrie intrinsèque des données et peuvent encoder cette information lors d'un calcul de similarité. Le développement récent de méthodes de régularisation entropique du plan de transport a amené de nouveaux algorithmes efficaces et la possibilité de s'intégrer dans les algorithmes d'apprentissage à base de programmation différentiable. Cette journée a été l'occasion de faire un état des lieux sur les travaux en cours sur ces problèmes fondamentaux.

#### 8. *Théorie du deep learning*

*Organisateur(s)* : Caroline Chaux (I2M), Valentin Emiya (LIS), François Malgouyres (IMT), Nicolas Thome (CNAM), Konstantin Usevich (CRAN).

*Date* : 17 octobre 2019.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème A**

Les réseaux de neurones profonds ont marqué l'entrée dans une nouvelle ère de l'intelligence artificielle, ponctuée par des succès opérationnels dans des domaines variés de la science des données comme la classification d'images, la re-

connaissance vocale, ou le traitement de la langue naturelle. En dépit de ces succès importants, les garanties théoriques associées à ces modèles décisionnels restent aujourd'hui toujours fragiles. L'objectif de cette journée était de faire un état des lieux sur la compréhension du fonctionnement des réseaux de neurones profonds, à travers un appel à contributions centré autour les thèmes (non exhaustifs) suivants :

- Expressivité des modèles
- Robustesse décisionnelle (incertitude, stabilité, attaques adversaires)
- Optimisation et problèmes non convexes
- Théorie de la généralisation
- Lien entre modèles physiques et architectures de réseaux de neurones

#### 9. *Visage, gestes, actions et comportement*

*Organisateur(s)* : Catherine Achard (ISIR), Olivier Alata (LHC), Christophe Ducottet (LHC) .

*Date* : 14 novembre 2019.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème B**

#### 10. *Panorama des initiatives pour l'aide au diagnostic du Covid-19 par l'imagerie médicale*

*Organisateur(s)* : Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Nicolas Thome (CNAM), Su Ruan (LITIS).

*Date* : 16 avril 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème B**

Notre communauté scientifique s'interroge sur la manière de contribuer efficacement à la lutte contre la pandémie de Covid-19. Nous sommes sollicités à différents niveaux, par des collègues, nos tutelles et au travers d'appels d'offres d'organismes financeurs locaux, nationaux et internationaux. Certains d'entre nous ont entrepris des actions individuelles et aimeraient pouvoir amplifier leur action, d'autres souhaiteraient contribuer dans le cadre d'une collaboration et avoir une meilleure visibilité des actions ou projets en cours ainsi que des appels d'offres nationaux (CNRS, INSERM, etc.) et internationaux.

Les membres du GdR ISIS impliqués dans les Thèmes B et T réunissent des compétences fortes en analyse d'images et/ou de données cliniques associées qui pourraient permettre de développer des modèles de diagnostics mais surtout prédictifs de la trajectoire des patients afin d'adapter au mieux leur prise en charge (Prédiction d'admission en soins intensifs, etc.)

La communauté internationale se mobilise massivement sur ce thème. Les premiers travaux d'équipes chinoises et nord-américaines sur la place de la radiologie pulmonaire ou du scanner dans le diagnostic viennent d'être publiés.

Pour ces travaux, l'accès aux données est crucial. Dans le souci de préserver les patients, cet accès est freiné par la législation sur les données personnelles. Cependant, certaines bases de données anonymisées commencent à être répertoriées et mises à la disposition de la communauté.

L'objectif de cette réunion était de :

- Dresser un état de l'art des projets initiés ou en cours d'élaboration, et des bases de données existantes au niveau national et international.
- Faciliter la mise en réseau des collègues de la communauté Image-Vision et Apprentissage pour accélérer la mise en oeuvre de projets nationaux.

**11. Analyse d'images médicales pour la prise en charge des patients atteints par le Covid-19 (2<sup>e</sup> journée sur la Covid-19)**

*Organisateur(s)* : Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Nicolas Thome (CNAM), Su Ruan (LITIS).

*Date* : 5 mai 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème B**

Suite au succès de la première réunion en ligne « Panorama des initiatives pour l'aide au diagnostic du Covid-19 par l'imagerie médicale nous avons organisés une 2<sup>e</sup> édition sur le Covid-19. L'imagerie médicale comme les rayons X et la tomodensitométrie (TDM) joue un rôle essentiel dans la lutte mondiale contre le Covid-19. Les technologies d'intelligence artificielle (IA) émergentes renforcent la puissance des outils de l'analyse des images pour aider les médecins. L'objectif de cette réunion était de faire un tour d'horizon de l'application de l'IA en imagerie médicale pour lutter contre le Covid-19.

**12. Apprentissage profond et modèles génératifs pour modéliser l'incertitude des données – 1<sup>ère</sup> journée**

*Organisateur(s)* : Sylvain Le Corff (SAMOVAR), François Septier (LMBA).

*Date* : 11 mai 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème A**

L'inférence et l'optimisation de systèmes complexes soumis à de nombreuses sollicitations aléatoires ont été appliquées dans un grand nombre de domaines en statistiques appliquées, traitement du signal, traitement du langage, etc. Résoudre les problèmes d'inférence bayésienne est crucial dans ce cadre pour permettre de fournir différentes quantités d'intérêt liées à la loi a posteriori des paramètres ou processus latent, permettant ainsi la prise en compte de l'incertitude des données. Des estimateurs de ces lois a posteriori peuvent être obtenus par exemple grâce aux méthodes de Monte Carlo (séquentielles ou par chaînes de Markov). Cependant, pour les jeux de données complexes ou très massifs (en quantité et en dimension) la loi a priori des paramètres, statiques ou dynamiques, nécessaire à la mise en oeuvre de ces approches est souvent inconnue ou repose sur des routines de simulation de type « boîtes noires ». Dans un tel contexte, les méthodes d'apprentissage profond, réseaux récurrents, réseaux Transformers, etc. ont permis l'obtention de prédictions extrêmement performantes en l'absence de modèles probabilistes. L'utilisation de méthodes bayésiennes remplaçant les états de ces réseaux par des estimations de leurs lois a posteriori permet la prise en compte de l'incertitude dans l'estimation des états latents en lieu et place d'un calcul déterministe.

Cette demi-journée a proposé d'explorer des combinaisons de méthodes bayésiennes avec ces approches afin de répondre au besoin croissant de quantification de l'incertitude et de fiabilité des méthodes numériques récentes.

**13. Vision 3D et apprentissage**

*Organisateur(s)* : Adrien Bartoli (Institut Pascal, Cédric Demonceaux (EMR VI-BOT, ImViA), Vincent Lepetit (Imagine).

*Date* : 26 mai 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème B**

Cette demi-journée a porté sur ce que peuvent apporter les méthodes d'apprentissage, et notamment de l'apprentissage profond, à la vision 3D, et réciproquement,

sur comment introduire des aspects de géométrie 3D dans des techniques d'apprentissage.

Nous avons cherché à répondre aux questions suivantes : Pour quels aspects de la vision 3D les méthodes d'apprentissage sont-elles adaptées, et comment les appliquer ? Existe-t-il encore des applications pour lesquelles les méthodes purement géométriques restent plus adaptées et pourquoi ? Comment tenir compte de la dynamique de la scène ou de la déformation des objets dans les méthodes d'apprentissage profond ?

#### 14. *Apprentissage auto-supervisé et non-supervisé de représentations*

*Organisateur(s)* : Nicolas Thome (CNAM), Christian Wolf (LIRIS).

*Date* : 9 juin 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème B**

L'objectif de l'apprentissage de représentations était l'apprentissage automatique, à partir de données diverses, de représentations, souvent hiérarchiques et basés sur des niveaux d'abstractions. Contrairement aux modèles classiques, ces représentations sont apprises à partir de données et non pas conçues manuellement à partir de connaissances de métiers. Dans ce contexte, l'apprentissage à partir de grandes masses de données étiquetées a longuement été la norme.

Plus récemment nous avons vu émerger un nouveau défi consistant à apprendre, de manière entièrement non supervisée, des représentations uniques et riches, permettant de répondre à des tâches multiples et diverses (reconnaissance visuelle, prédictions, etc.). Similaire à l'apprentissage humain, effectué en grande majorité de manière non supervisée, il s'agit de découvrir les régularités qui gouvernent notre monde physique pour apprendre des abstractions utiles pour le raisonnement. L'exploitation de ces représentations se fait habituellement par transfert vers une tâche cible.

#### 15. *Extraction d'attributs et apprentissage pour l'analyse des images de télédétection*

*Organisateur(s)* : Sophie Giffard-Roisin (ISTerre), Jordi Inglada (Cesbio), Charlotte Pelletier (IRISA).

*Date* : 10 octobre 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème B**

Les nouvelles générations de capteur d'imagerie en télédétection permettent d'offrir des images à haute (très haute) résolution spatiale/spectrale avec des fréquences de revisite jamais atteintes auparavant. La disponibilité de grands volumes de données d'images satellitaires et l'émergence de nouvelles méthodes d'apprentissage (deep learning) soulèvent des défis majeurs pour l'interprétation automatique des données de télédétection et d'observation de la Terre.

L'objectif de cette réunion était de faire un point sur les derniers travaux de recherche associés à des méthodes avancées d'apprentissage de données de télédétection, avec les thèmes suivants :

- Apprentissage automatique pour l'analyse des données de télédétection.
- Avancées en reconnaissance d'objets/de scènes par intelligence artificielle.
- Méthodes d'apprentissage pour l'analyse de séries temporelles d'images satellitaires.
- Détection d'anomalies et la détection de changements par télédétection.

**16. Intelligence artificielle et apprentissage machine pour l'agriculture**

*Organisateur(s)* : Adel Hafiane (PRISME), Christelle Gée (INRA), Raphaël Canals (PRISME).

*Date* : 25 novembre 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème B**

Le secteur agricole doit faire face à de nombreux défis et à des changements structurels accentués par la démographie, le changement climatique, l'impact environnemental, les modes de consommation, la compétitivité, etc. Pour relever ces défis, le domaine agricole doit s'adapter et innover en s'appuyant sur les nouveaux moyens technologiques à disposition. Les technologies du numérique (la télédétection, les capteurs, l'internet des objets, le traitement du signal et des images, l'intelligence artificielle, la robotique, l'automatique, ...), se présentent comme un des leviers pour relever ces défis. Dans ce contexte, nous constatons, d'une part, un besoin croissant pour le traitement et l'analyse automatique des données issues de différents types de capteurs : signal, image, etc. D'autre part, les nouvelles méthodes, en particulier celles qui reposent sur des approches d'intelligence artificielle/apprentissage machine, associées aux progrès des calculateurs révolutionnent les domaines du numérique.

L'objectif de cette journée était de solliciter des présentations et des contributions de chercheurs, industriels, ... ayant entrepris des travaux innovants sur tous les aspects de l'intelligence artificielle de manière générale et l'apprentissage machine en particulier pour l'analyse et le traitement de données (signal, images,...) dans le contexte de l'agriculture.

**17. Recent advances in machine learning for computer aided diagnosis and prognosis based on medical imaging**

*Organisateur(s)* : Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Nicolas Thome (CNAM), Su Ruan (LITIS).

*Date* : 1er décembre 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème B**

In recent years, artificial intelligence, especially machine learning has received a lot of attention to explore and structure multidimensional and multimodality medical imaging data, especially for the design of diagnosis models, aiming at detecting, localizing and characterizing pathological patterns in the data. Some academic works also recently explored the potential of artificial intelligence for predicting the course and outcome of diseases. This one-day workshop intended to gather researchers in deep machine learning, computer vision and/or medical image analysis as well companies and AI-based startups in the medical image field. We will start by reviewing state-of-the art achievements in the domain of computer aided diagnosis (including patient screening, detection, segmentation, etc.) and prognosis models based on medical imaging for different clinical applications. Then, we will cover some challenges that need to be addressed to foster the development of these diagnosis and prognosis models. This includes methodological questions such as uncertainty and interpretability of the deep learning based models, as well as strategies regarding the evaluation framework of models performance (challenges, standardisation of the performance metrics, etc.) and the access to structured medical image database.

**18. Covariance matrix advances for machine learning**

*Organisateur(s)* : G. Ginolhac (LISTIC), R. Couillet (GIPSA-lab).

*Date* : 8 décembre 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème A**

**19. Visage, gestes, actions et comportement**

*Organisateur(s)* : Catherine Achard (ISIR), Olivier Alata (LHC), Christophe Ducottet (LHC).

*Date* : 12 janvier 2021.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème B**

**20. Diagnostic et pronostic pour la Covid-19**

*Organisateur(s)* : Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Nicolas Thome (CNAM).

*Date* : 25 janvier 2021.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème B**

L'objectif de cette réunion était de faire le bilan des avancées pour la mise au point de méthodes de diagnostic et de pronostic pour faire face à la pandémie de la Covid-19. Les membres du GdR ISIS impliqués dans les Thèmes B et T réunissent des compétences fortes en analyse d'images et/ou de données cliniques associées pour développer des modèles de diagnostic mais surtout prédictifs de la trajectoire des patients afin d'adapter au mieux leur prise en charge (Prédiction d'admission en soins intensifs, etc.)

Le GdR ISIS a coordonné les initiatives de la communauté nationale pour faire face à la Covid-19 autour d'un groupe de travail structuré par 4 actions.<sup>8</sup>

Cette journée fait suite à deux réunions qui se sont déroulées en avril et mai 2020 sur le sujet.

**21. Explicabilité et interprétabilité des méthodes d'Intelligence Artificielle pour la classification et compréhension des scènes visuelles**

*Organisateur(s)* : Nicolas Thome (CNAM), Jenny Benois-Pineau (LABRI), Alexandre Benoit (LISTIC), Su Ran (LITIS).

*Date* : 7 avril 2021.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème B**

L'apprentissage profond, un des outils-phares de l'Intelligence Artificielle, a remporté un grand succès dans de nombreux domaines en traitement et analyse des images, des vidéos, de l'information multimodale. Cependant, l'aspect boîte noire des réseaux de neurones profonds est devenue l'un des principaux obstacles à leur large acceptation dans des applications critiques telles que le diagnostic médical et la thérapie, voire la conduite autonome. Au lieu de développer et d'utiliser les réseaux de neurones profonds comme des boîtes noires et d'adapter des architectures connues à une variété de problèmes, le but de l'apprentissage profond explicable est de proposer des méthodes pour comprendre et expliquer comment ces systèmes produisent leurs décisions. En raison de l'énorme potentiel de l'apprentissage profond, l'interprétation des réseaux de neurones devient une direction de recherche suscitant un intérêt croissant. L'objectif de la journée était de rassembler la communauté des chercheurs qui travaillent sur la question de l'amélioration de l'explicabilité des algorithmes et systèmes d'IA dans le domaine image-signal.

**22. Apprentissage profond et modèles génératifs pour modéliser l'incertitude des données – 2<sup>e</sup> journée**

8. <http://www.gdr-isis.fr/news/7135/121/Action-Covid-19-du-GdR-ISIS.html>

*Organisateur(s)* : Sylvain Le Corff (SAMOVAR), François Septier (LMBA).

*Date* : 17 mai 2021.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème A**

L'inférence et l'optimisation de systèmes complexes soumis à de nombreuses sollicitations aléatoires ont été appliquées dans un grand nombre de domaines en statistiques appliquées, traitement du signal, traitement du langage, etc. Résoudre les problèmes d'inférence bayésienne est crucial dans ce cadre pour permettre de fournir différentes quantités d'intérêt liées à la loi a posteriori des paramètres ou processus latent, permettant ainsi la prise en compte de l'incertitude des données. Des estimateurs de ces lois a posteriori peuvent être obtenus par exemple grâce aux méthodes de Monte Carlo (séquentielles ou par chaînes de Markov). Cependant, pour les jeux de données complexes ou très massifs (en quantité et en dimension) la loi a priori des paramètres, statiques ou dynamiques, nécessaire à la mise en oeuvre de ces approches est souvent inconnue ou repose sur des routines de simulation de type « boîtes noires ». Dans un tel contexte, les méthodes d'apprentissage profond, réseaux récurrents, réseaux Transformers, etc. ont permis l'obtention de prédictions extrêmement performantes en l'absence de modèles probabilistes. L'utilisation de méthodes bayésiennes remplaçant les états de ces réseaux par des estimations de leurs lois a posteriori permet la prise en compte de l'incertitude dans l'estimation des états latents en lieu et place d'un calcul déterministe.

Cette demi-journée fait suite à une première édition au mois de mai 2020 et propose l'exploration de combinaisons de méthodes bayésiennes avec ces approches afin de répondre au besoin croissant de quantification de l'incertitude et de fiabilité des méthodes numériques récentes.

### 23. *Théorie du deep learning*

*Organisateur(s)* : Caroline Chaux (I2M), Valentin Emiya (LIS), François Malgouyres (IMT), Nicolas Thome (CNAM), Konstantin Usevich (CRAN).

*Date* : 28 juin 2021.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème A**

En dépit du succès actuel du deep learning, les garanties théoriques associées à ces modèles décisionnels restent fragiles. Ces questions posent des enjeux majeurs pour la communauté en traitement du signal et des images. L'objectif de cette journée était de faire un état des lieux des avancées récentes pour l'analyse formelle du fonctionnement des réseaux de neurones profonds. Nous La journée a traité de l'analyse théorique du deep learning, et s'est notamment concentrée sur les thèmes suivants : théorie de la généralisation (double descente, régularisation implicite, réseaux sur-paramétrisés), robustesse décisionnelle (incertitude, stabilité, propriétés Lipschitz), expressivité des modèles, compression des réseaux.

### 24. *Réseaux de neurones pour les problèmes inverses en imagerie satellite*

*Organisateur(s)* : Andrés Almansa (MAP5), Thomas Oberlin (ISAE), Pierre Weiss (IMT).

*Date* : 10 septembre 2021.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème B**

### 25. *Deep learning with weak or few labels in medical image analysis*

*Organisateur(s)* : Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Nicolas Thome (CNAM), Mireille Garreau (LTSI).

*Date* : 1<sup>er</sup> février 2022.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème B**

**26. Recent advances in graph machine learning**

*Organisateur(s)* : Edouard Oyallon (ISIR), Nicolas Keriven (GIPSA-lab).

*Date* : 8 mars 2022.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème A**

**27. Generative models : control and (mis)usage**

*Organisateur(s)* : Hervé Le Borgne (CEA), Alexandre Benoit (LISTIC), Nicolas Audebert (CNAM).

*Date* : 31 mai 2022.

*Description* : Réunion co-organisée avec les **Thèmes A et B**

**28. Apprentissage et modélisation physique**

*Organisateur(s)* : Nicolas Thome (CNAM), Christian Wolf (Naver Labs), Martijn Van Den Ende (Lagrange).

*Date* : 2 juin 2022.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème A**

L'utilisation de méthodes d'apprentissage statistique pour la prédiction de dynamiques complexes en physique connaît un essor important, avec des applications dans des domaines variés. L'objectif de la journée était d'offrir des opportunités d'échanges sous forme d'exposés entre différentes communautés scientifique (apprentissage statistique, traitement de signal et des images, automatique, etc.) et différents domaines d'application (prédiction de phénomènes physiques en climatologie, mécanique des fluides ou des milieu continu, robotique, etc.).

**29. Visage, gestes, actions et comportement**

*Organisateur(s)* : Catherine Achard (ISIR), Alice Othmani (LiSSi), Olivier Alata (LHC), Christophe Ducottet (LHC).

*Date* : 14 juin 2022.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème B**

**30. Efficient hardware for deep neural network processing**

*Organisateur(s)* : Matthieu Arzel (Lab-STICC), Anthony Kolar (CentraleSupélec), Mathieu Léonardon (Lab-STICC), Erwan Libessart (CentraleSupélec).

*Date* : 22 septembre 2022.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème C**

**31. Signal, image et intelligence artificielle pour l'agriculture numérique – 3<sup>e</sup> journée**

*Organisateur(s)* : Adel Hafiane (PRISME), Christelle Gée (Agroécologie), Raphaël Canals (PRISME).

*Date* : 24 février 2023.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **Thème B**

L'agriculture numérique suscite de plus en plus d'intérêt dans différentes communautés scientifiques, qui tentent de relever de nombreux défis tels que les systèmes agricoles efficaces, le suivi et la prévision des cultures, la durabilité, l'approvisionnement de la chaîne alimentaire, la gestion de l'eau, etc. Les technologies numériques, telles que la télédétection, l'Internet des objets, le traitement du signal et des images, l'intelligence artificielle (IA), modélisation et prédiction, etc. sont des approches clés pour relever ces défis. En effet, les avancées dans les technologies des capteurs et le traitement des données ont ouvert de nouvelles perspectives pour l'agriculture numérique. Dans ce contexte, il existe un

besoin croissant de développer de nouvelles méthodes de traitement et analyse automatique des données, notamment celles basées sur l'intelligence artificielle. L'objectif de cette journée était de fournir une occasion de discuter des concepts et techniques liés à l'utilisation de nouvelles approches et développements de l'IA pour les données agricoles.

## 2. Journées inter-GdR :

### 1. *Apprentissage et raisonnement avec un accent sur le traitement des signaux et des images*

*Organisateur(s)* : Christian Wolf (LIRIS), Nicolas Thome (CNAM), Nicolas Le Bihan (GIPSA-lab), Sébastien Destercke (Heudiasyc).

*Date* : 4 octobre 2018.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **GdR IA**

Le but de cette réunion a été d'offrir l'opportunité d'échanges sous forme d'exposés et de discussions entre des chercheurs de différentes communautés (apprentissage statistique, traitement de signal et des images, raisonnement, logique, etc.) travaillant sur l'extraction et la modélisation de connaissances dans des corpus complexes. L'intérêt principal de la journée était d'amorcer des discussions et des collaborations entre chercheurs en IA travaillent sur des approches très différentes et souvent opposées l'une à l'autre. Les problèmes de raisonnement ont longuement été traités principalement par des méthodes symboliques basées sur un ensemble de règles, déterminées par des experts ou apprises à partir de données. Le raisonnement sur des données complexes (images, sons, grands corpus de textes) a démontré les limites de ces types d'approches. L'apprentissage statistique semble être une alternative puissante, capable de gérer le bruit et les incertitudes inhérents à ces données. En revanche, ces méthodes se basent sur un très grand nombre de paramètres, ce qui les rend peu interprétable.

### 2. *Optimisation and inverse problems in image processing – Journée scientifique à la mémoire de Mila Nikolova*

*Organisateur(s)* : Jean-François Aujol (IMB), Laure Blanc-Féraud (I3S), Albert Cohen (LJLL), Agnès Desolneux (CMLA), Jalal Fadili (GREYC), Gabriel Peyré (DMA), Alain Trounev (CMLA).

*Date* : 15 octobre 2018.

*Description* : Le CMLA, le GdR MIA et le GdR ISIS ont organisé une journée scientifique à la mémoire de Mila Nikolova le 15 octobre à Cachan

### 3. *Apprentissage et robotique*

*Organisateur(s)* : Christian Wolf (LIRIS), David Filliat (ENSTA), Cédric Demonceaux (VIBOT).

*Date* : 5 avril 2019.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **GdR ROBOTIQUE**

Le but de cette réunion était d'offrir l'opportunité d'échanges sous forme d'exposés et de discussions entre des chercheurs de différentes communautés (robotique, apprentissage statistique, traitement de signal et des images ...) travaillant sur l'apprentissage pour les différents aspects de la robotique (perception, contrôle, navigation, boucles action / perception etc.). L'intérêt principal de la journée était d'amorcer des discussions et des collaborations entre chercheurs en IA travaillant sur des approches très différentes et parfois opposées les unes aux autres.

#### 4. *Apprentissage et robotique*

*Organisateur(s)* : Cédric Demonceaux (VIBOT), David Filliat (ENSTA), Christian Wolf (LIRIS).

*Date* : 22 juin 2020.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **GdR ROBOTIQUE**

Le but de la réunion était d'offrir l'opportunité d'échanges sous forme d'exposés de différentes communautés (robotique, apprentissage statistique, traitement de signal et des images, etc.) travaillant sur l'apprentissage pour les différents aspects de la robotique (perception, contrôle, navigation, boucles action / perception, etc.).

#### 5. *Apprentissage et robotique*

*Organisateur(s)* : Cédric Demonceaux (VIBOT), David Filliat (ENSTA), Christian Wolf (LIRIS).

*Date* : 29 juin 2021.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **GdR ROBOTIQUE**

Il s'agissait de la troisième réunion commune entre le GDR ISIS et le GDR Robotique sur le thème "Apprentissage et Robotique". Le but de la réunion était d'offrir l'opportunité d'échanges sous forme d'exposés de différentes communautés (robotique, apprentissage statistique, traitement de signal et des images, etc) travaillant sur l'apprentissage pour les différents aspects de la robotique (perception, contrôle, navigation, boucles action / perception, etc.).

#### 6. *Explication des modèles des réseaux profonds en problèmes de classification, d'amélioration et d'interprétation des images et des signaux/données*

*Organisateur(s)* : Nicolas Thome (CNAM), Jenny Benois-Pineau (LABRI), Alexandre Benoit (LISTIC), Romain Vuillemot (LIRIS), Romain Bourqui (LABRI).

*Date* : 11 octobre 2021.

*Description* : Réunion co-organisée avec le **GdR IGRV et Thème B**

L'apprentissage profond, un des outils-phares de l'Intelligence Artificielle, a remporté un grand succès dans de nombreux domaines en traitement et analyse des images, des vidéos, de l'information multimodale. Cependant, l'aspect boîte noire des réseaux de neurones profonds est devenu l'un des principaux obstacles à leur large acceptation dans des applications critiques telles que le diagnostic médical et la thérapie, voire la conduite autonome. Au lieu de développer et d'utiliser les réseaux de neurones profonds comme des boîtes noires et d'adapter des architectures connues à une variété de problèmes, le but de l'apprentissage profond explicable est de proposer des méthodes pour "comprendre" et "expliquer" comment ces systèmes produisent leurs décisions. L'explication des décisions des réseaux profonds comporte deux aspects : l'analyse des décisions et la présentation des explications à l'utilisateur. Elle fait donc intervenir deux communautés scientifiques Intelligence artificielle/Image et Visualisation de l'information. L'objectif de cette journée conjointe des GDR ISIS et IGRV était de rassembler les communautés des chercheurs qui travaillent sur la question de l'amélioration de l'explicabilité des algorithmes et systèmes d'IA dans le domaine image-signal.

#### 7. *Transport optimal et apprentissage statistique*

*Organisateur(s)* : Thibault Séjourné (DMA ENS), Kilian Fatras (IRISA), Rémi Flamarly (CMAP), Nicolas Courty (IRISA), Gabriel Peyré (DMA ENS).

*Date* : 18 novembre 2021.

*Description* : Réunion co-organisée avec les **GdR MIA et Thème A**

### 8. IA et réseaux de neurones profonds, ouvrir la boîte noire : du modèle explicable à la synthèse et présentation d'explications en signal et image

*Organisateur(s)* : Alexandre Benoit (LISTIC), Nicolas Audebert (CNAM), Jenny Benois-Pineau (LABRI), Nicolas Thome (CNAM), Hervé Le Borgne (CEA) et al.

*Date* : 13 mars 2023.

*Description* : Réunion organisée avec les **GdR IGRV et IA, Club EEA et Thème B**

Les réseaux de neurones profonds poursuivent leur progression tant sur les plans théoriques qu'applicatifs. L'usage de ces outils dans des applications critiques (conduite autonome, robotique, diagnostic médical), leur complexité et leur certification par des instances de régulation incitent néanmoins à progresser sur l'interprétabilité de ces modèles et l'explication de leurs prédictions. Ces dernières années, de nombreuses directions de recherche se sont développées sur ce thème. On peut distinguer deux grandes familles d'approches. En premier lieu, les méthodes "post-hoc" permettant d'extraire des explications à partir de modèles déjà entraînés telles que GradCam, SHAP, Lime, FEM, etc.. Une autre approche consiste à intégrer directement des contraintes d'explicabilité intrinsèques dès la conception du modèle, par la détection d'attributs composant les concepts cibles, de prototypes ou encore l'introduction de contraintes liées à des modèles physiques. Les travaux aussi bien théoriques qu'applicatifs s'intéressent à la pertinence de ces méthodes, leur applicabilité et leur robustesse. Notamment, la question d'évaluation des méthodes d'explication est importante dans la communauté. La présentation des explications à l'utilisateur via des outils de visualisation de l'information est de plus une problématique complémentaire importante impactant l'utilisabilité de ces approches. L'objet de cette journée était de partager les connaissances et retours d'expérience sur les différentes approches théoriques et méthodologiques permettant d'aller vers la transparence, la robustesse et l'équité des modèles obtenus par apprentissage automatique et les réseaux de neurones profonds en particulier.

### 3. Actions du thème :

Le programme d'animation scientifique a été conçu à partir d'actions fixant la politique scientifique du Thème T. Ces actions ont été définies en début de mandat, puis modifiées à mi-mandat comme décrit ci-après.

Nous rappelons que la structuration en actions laisse évidemment la possibilité d'organiser des journées en dehors de celles-ci selon les demandes de la communauté.

#### 1. Action Apprentissage des représentations (→ 06/2021)

*Animateur(s)* : Nicolas Thome (CNAM), Christian Wolf (LIRIS).

*Activités menées* : L'objectif de l'apprentissage de représentations (surtout connu par son anglicisme Deep Learning) est l'apprentissage automatique, à partir de données diverses, de modèles hiérarchiques et basés sur des niveaux d'abstractions. Contrairement aux modèles classiques, les caractéristiques/représentations sont apprises à partir de données et non pas conçues manuellement à partir de connaissances de métiers. L'apprentissage à partir de grandes masses de données étiquetées est actuellement la norme. Diminuer la dépendance des données est un enjeu essentiel. Entre autres, cette action s'intéresse aux verrous scientifiques suivants :

- Les divers formalismes de l'apprentissage sont au cœur de cette action : apprentissage supervisé, non supervisé, semi-supervisé, faiblement supervisé.

L'enjeu principal consiste à diminuer la dépendance des masses de données annotées, l'annotation par des experts humains étant considérée comme difficile et chronophage. Dans les situations où les performances obtenues dépassent les performances humaines, l'annotation par les humains est impossible. Si pour certaines applications, les annotations peuvent être obtenues à partir de sources alternatives, comme cela est le cas pour la lecture labiale ou pour l'estimation de l'âge d'une personne, pour d'autres applications cela s'avère difficile. Le défi phare consiste à apprendre, de manière entièrement non supervisée, des représentations uniques et riches, permettant de répondre à des tâches multiples et diverses de la vie quotidienne (reconnaissance visuelle, prédictions, etc.). Similaire à l'apprentissage humain, effectué en grande majorité de manière non supervisé, il s'agit de découvrir les régularités qui gouvernent notre monde physique pour apprendre des abstractions utiles pour le raisonnement.

- L'apprentissage contemporain est étroitement lié aux données massives, ce qui soulève la question de leur acquisition. La création de données synthétiques, souvent par simulation, permet de répondre à ce problème dans certains cas. Dans ce contexte, la notion de transfert de connaissances, supervisé ou non-supervisé, joue un rôle important (transferts entre distributions de données sources et cibles, entre modèles, entre tâches, entre applications, etc).
- Cette action considère également les modèles permettant d'apprendre des sorties structurées et les modèles génératifs permettant de générer du contenu (GAN, VAE, Pixel CNN et Pixel RNN, etc.). Le contenu prédit peut servir à des applications diverses telles que le graphisme (cinéma, jeux vidéos), la modification automatique et créative du contenu, la prédiction automatique du « futur » dans une vidéo, etc. L'espace de sortie étant de très grande dimension, les verrous scientifiques sont multiples : manque de stabilité des problèmes d'optimisation sous-jacents (estimation de l'équilibre de Nash des GAN), démélange des représentations/estimation et identification des variables latentes pertinentes pour l'application.
- L'action s'intéresse aux incertitudes des systèmes d'apprentissage et à la conception de modèles tractables permettant d'obtenir des mesures de confiance sur les prédictions données, par exemple les formalismes bayésiens. Les enjeux sont forts dans certains contextes applicatifs tels que l'imagerie médicale et la conduite autonome. Nous étudierons également l'explicabilité des modèles issus de l'apprentissage.

## 2. Action *Vision, robotique et apprentissage*

*Animateur(s)* : David Filiat (ENSTA), Christian Wolf (LIRIS).

*Activités menées* : Action co-animée avec le **GdR ROBOTIQUE**

La vision par ordinateur et la robotique partagent un passé commun qui remonte à la naissance de ces deux domaines. En effet, parmi l'ensemble des capteurs dont peut disposer un robot moderne, la vision peut répondre aux exigences liées à un grand nombre de problèmes applicatifs, par exemple en navigation, en manipulation ou dans les cas où la présence d'humains est un facteur important. Les tendances actuelles montrent que les liens entre les deux domaines se resserrent pour plusieurs raisons : (i) d'un point de vue méthodologique, l'émergence de l'apprentissage profond a permis de faire des liens nouveaux entre la perception

et le contrôle (Deep Reinforcement Learning par exemple), et (ii) d'un point de vue applicatif, la maturation de certaines thématiques telles que les véhicules autonomes et les UAV, gourmandes en technologies de perception, renforce les liens avec la vision.

Cette action a été co-animée par les GdRs Robotique et ISIS. Elle s'est intéressée aux aspects liant la robotique, l'image et le signal, et l'apprentissage automatique. Un accent particulier a été mis sur les boucles perception/action, notamment sur la modélisation par MDP/POMDP et l'apprentissage par renforcement (profond). Elle a couvert un champ divers d'applications autour de la robotique humanoïde, mobile, industrielle, des véhicules autonomes ou des drones. Parmi les thèmes abordés, nous avons considéré par exemple :

- Apprentissage de stratégies de navigation (en lien avec la perception)
- Apprentissage conjoint de tâches de navigation et de reconnaissance visuelle
- Interactions humains-robots
- Navigation sociale de robots mobiles par perception
- Traitement de signaux sociaux
- UAV et robots terrestres mobiles : perception, coordination
- Perception et apprentissage pour la cobotique
- Manipulation et saisie : contrôle par perception et apprentissage

### 3. Action *Modélisation et optimisation à l'interface signal/apprentissage*

*Animateur(s)* : Valentin Emiya (LIF), Caroline Chaux (I2M), Konstantin Usevich (CRAN).

*Activités menées* : Action co-animée avec le **Thème A**

Cette action encourage les rapprochements et discussions entre les communautés de l'apprentissage automatique et du traitement du signal. Ces deux disciplines partagent en effet nombre de fondamentaux, dont des modèles et méthodes d'optimisation. Une description détaillée de l'action est donnée ici.

Le Thème T a structuré en particulier l'organisation des journées autour des thématiques suivantes :

- Optimisation en signal et en apprentissage. Le traitement du signal et l'apprentissage se rejoignent sur de nombreux problèmes et méthodes d'optimisation : optimisation convexe, optimisation non convexe, modèles parcimonieux, optimisation en grande dimension, factorisation de tenseurs.
- Compréhension des réseaux profonds. Comme mentionné dans les perspectives du Thème T, la compréhension théorique des mécanismes d'apprentissage mis en œuvre dans les réseaux profonds est aujourd'hui limitée. Afin de guider cette analyse formelle, des outils à la convergence des méthodes de traitement du signal et d'apprentissage statistique seront explorés. On peut mentionner par exemple l'analyse harmonique pour les notions de stabilité (scattering), la convergence entre les modèles bayésiens et les techniques de régularisation structurelle pour modéliser l'incertitude de décision, ou encore l'utilisation de méthodes de la théorie de l'information pour analyser les performances de généralisation des modèles.
- Convolution sur grilles non régulières. L'opérateur de convolution est un élément essentiel dans le succès spectaculaire obtenu par les réseaux profonds pour la reconnaissance de données de type signaux pauvres en sémantique comme les images ou les sons. Nous étudierons la manière de définir et

d'adapter ces opérateurs de convolution pour traiter des grilles définies par des graphes d'adjacence non réguliers (e.g., réseaux de capteurs, données 3D).

#### 4. Action *Vision 3D, géométrie et apprentissage*

*Animateur(s)* : Vincent Lepetit (LABRI), Adrien Bartoli (Institut Pascal).

*Activités menées* : Action co-animée avec le **Thème B**

Cette action Vision 3D et Apprentissage s'intéresse à la reconstruction 3D d'un objet ou d'une scène rigide ou déformable (SfM, NRSfM - MVS), au recalage d'images multimodales (RGB, RGB-D, depth), au calcul de pose d'un objet ou d'une scène rigide ou déformable (pose, SfT) à partir de modèles texturés ou non-texturés.

Complémentaires aux approches classiques basées sur la géométrie (voir la description de cette action transverse dans le Thème B), aujourd'hui les méthodes d'apprentissage profond peuvent également être développées en vision 3D et font l'objet de nombreux travaux. A l'heure actuelle, les algorithmes sont capables de prédire d'importantes quantités de cartes de profondeur et de normales à partir d'une seule image. Il est aujourd'hui intéressant d'utiliser ces données pour généraliser les approches sur des données temporelles. De la même manière, l'étude du concept du self-learning, où l'apprentissage est effectué grâce à une tâche secondaire différente de la tâche primaire de reconstruction 3D, peut être fort utile dans le cas où les données d'apprentissage ne sont pas disponibles. Enfin, les algorithmes de SLAM récents se concentrent sur l'association d'un label sémantique sur chaque objet tout en reconstruisant la scène de manière automatique. Ce sujet de recherche récent et prometteur alliant reconstruction 3D et reconnaissance d'objet sera également étudié ici. Ainsi, dans cette action, il s'agit d'étudier les techniques géométriques de vision 3D en tenant compte de la spécificité des données (multi-modales, dynamiques, déformables) et d'utiliser, dans une certaine mesure, les méthodes d'apprentissage en vision 3D de manière conjointe à la géométrie.

#### 5. Action *Visage, gestes, actions et comportement*

*Animateur(s)* : Catherine Achard (ISIR), Olivier Alata (LHC), Christophe Ducottet (LHC).

*Activités menées* : Action co-animée avec le **Thème B**

Cette action concerne l'extraction du mouvement humain (visage, mains, corps, gestes) à partir de séquences vidéo, et son analyse à plus haut niveau (tâches, comportement), notamment pour des applications interactives ou de surveillance. Une attention particulière sera portée aux données hétérogènes (couleur, thermique, 3D, etc.) et/ou acquises dans des situations non contraintes.

Elle s'intéressera notamment à la prédiction de posture 2D ou 3D de la main ou du corps avec des approches utilisant l'apprentissage profond, à la modélisation statistique de gestes, à la modélisation du visage (forme, apparence, émotion), et à la reconnaissance d'activités et de comportements. Des journées thématiques seront éventuellement co-organisées avec le GdR Robotique sur ces sujets.

#### 6. Action *Apprentissage, simulation et modèles physiques* (06/2021 →)

*Animateur(s)* : Nicolas Thome (CNAM), Christian Wolf (LIRIS).

*Activités menées* : Action co-animée avec le **Thème A**

#### 7. Action *Apprentissage profond explicable pour les images et le multimédia* (06/2021 →)

*Animateur(s)* : Hervé Le Borgne (CEA), Jenny Benois-Pineau (LABRI), Alexandre Benoit (LISTIC), Nicolas Thome (CNAM).

*Activités menées* : Action co-animée avec le **Thème B**

**8. Action Compression et sécurité à l'ère de l'IA** (06/2021 →)

*Animateur(s)* : Chaker Larabi (XLIM), Teddy Furon (IRISA).

*Activités menées* : Action co-animée avec le **Thème D**

# Annexes

## A Liste des journées organisées sur la période

Les journées d'animation scientifiques organisées depuis le début de la mandature sont répertoriées ci-dessous, avec un lien vers un Thème dit principal où elles sont décrites plus en détail. En effet, pour les réunions inter-Thèmes, outre la description détaillée dans le Thème principal et vers lequel les liens ci-dessous renvoient, un rappel plus succinct figure aussi dans les autres Thèmes ayant participé à l'organisation de la journée.

La notion de Thème principal est ici arbitraire et vise uniquement à limiter les recopies de descriptifs dans plusieurs Thèmes.

Doc : journée « Carrières en Signal, Image et Vision » 2019	
A. Giremus (IMS), B. Nicolas (CREATIS), N. Dobigeon (IRIT) . . . . .	12
Doc : journée « Carrières en Signal, Image et Vision » 2021	
A. Giremus (IMS), B. Nicolas (CREATIS) . . . . .	12
Doc : journée « Carrières en Signal, Image et Vision » 2023	
C. Meillier (ICube), A. Giremus (IMS), B. Nicolas (CREATIS) . . . . .	13
A : Nouvelles méthodes tensorielles et applications	
Henrique Goulart (IRIT), Sebastian Miron (CRAN), Rémy Boyer (CRISAL) . . . . .	23
A : Signal processing over graphs, with a focus on neuroscience data	
Nicolas Tremblay (GIPSA-lab), Bastien Padeloup (Lab-STICC) . . . . .	23
A : Décompositions tensorielles	
David Brie (CRAN), Rémy Boyer (CRISAL) . . . . .	23
A : Géométrie différentielle et estimation sur variétés	
Audrey Giremus (IMS), Arnaud Breloy (LEME) . . . . .	24
A : Reproductibilité de la recherche en traitement du signal	
Mathieu Lagrange (LS2N), Vincent Lostanlen (LS2N), Slim Essid (LTCI) . . . . .	24
A : Statistical learning with missing values	
Mohammed Nabil El Korso (L2S), Yajing Yan (LISTIC), Jean-Yves Tournieret (IRIT) . . . . .	25
A : Avancées récentes en analyse temps-fréquence	
Julien Flamant (CRAN), Thomas Oberlin (ISAE-SUPAERO) . . . . .	26
A : Méthodes en traitement du signal pour l'écoute artificielle	
Mathieu Lagrange (LS2N), Thomas Hélie (IRCAM), Vincent Lostanlen (LS2N) . . . . .	26
A : Signal et imagerie acoustique	
Sébastien Bourguignon (LS2N), Barbara Nicolas (CREATIS) . . . . .	26
A : Échantillonnage avec dépendance négative	
Rémi Bardenet (CRISAL), Simon Barthelmé (GIPSA-lab) . . . . .	27
A : Traitement du signal pour la voix	
Mathieu Lagrange (LS2N), Thomas Hélie (IRCAM), Vincent Lostanlen (LS2N) . . . . .	27
A/T : Covariance matrix advances for machine learning	
G. Ginolhac (LISTIC), R. Couillet (GIPSA-lab) . . . . .	28
A/T : Transport optimal et apprentissage statistique	
Thibault Séjourné (DMA ENS), Kilian Fatras (IRISA), Rémi Flamary (CMAP), Nicolas Courty (IRISA), Gabriel Peyré (DMA ENS) . . . . .	29
A/T : Recent advances in graph machine learning	
Edouard Oyallon (ISIR), Nicolas Keriven (GIPSA-lab) . . . . .	29

---

A/B/T : Generative models : control and (mis)usage	
Hervé Le Borgne (CEA), Alexandre Benoit (LISTIC), Nicolas Audebert (CNAM)	29
A : Diagnostic et pronostic des systèmes industriels	
Claude Delpha (L2S), Raphael Romary (LSEE), Moussa Boukhnifer (LCOMS)	30
B : Géométrie et représentation de la couleur	
David Alleysson (LPNC), Michel Berthier (MIA), Philippe Carré (XLIM), Edoardo Provenzi (IMB)	47
B : Modélisation du piéton et de la foule en mouvement	
Paola Goatin (INRIA Sophia-Antipolis), Julien Pettre (INRIA Rennes)	47
B : Images et data : méthodes d'analyse et de modélisation pour l'agriculture numérique	
Adel Hafiane (PRISME), Christelle Gée (INRA), Raphaël Canals (PRISME), Paul-Henry Cournède (MICS)	47
B : Capteurs visuels émergents	
Guillaume Caron (MIS), Franck Ruffier (ISM), Pascal Vasseur (LITIS)	48
B : Extraction d'attributs et apprentissage pour l'analyse des images télédétection	
Abdourrahmane M. Atto (LISTIC), Lionel Bombrun (IMS), Stéphane May (CNES), Silvia Valero (CESBIO), Christian Germain (IMS)	48
B : Capteurs visuels émergents : vision plénoptique	
Guillaume Caron (MIS), Franck Ruffier (ISM), Pascal Vasseur (LITIS)	49
B : Intelligence artificielle et apprentissage machine pour l'agriculture	
Adel Hafiane (PRISME), Christelle Gée (INRA), Raphaël Canals (PRISME)	49
B : La géométrie de la vision et ses applications à l'imagerie	
Edoardo Provenzi (IMB)	50
B : Apprentissage automatique multimodal et fusion d'informations – 1 <sup>ère</sup> journée	
Su Ruan (LITIS) et Jenny Benois-Pineau (LABRI)	50
B : Vers un apprentissage pragmatique dans un contexte de données visuelles labellisées limitées	
Anissa Mokraoui (L2TI), Mustapha labbah (LIPN), Hanane Azzag (LIPN)	50
B : Apprentissage automatique multimodal et fusion d'informations – 2 <sup>e</sup> journée	
Didier Coquin (LISTIC), Mauro Dalla Mura (GIPSA-Lab), Su Ruan (LITIS)	51
B : Apprentissage automatique multimodal et fusion d'informations – 3 <sup>e</sup> journée	
Mauro Dalla Mura (GIPSA-lab), Didier Coquin (LISTIC), Su Ruan (LITIS)	51
B : Approches faiblement supervisées en télédétection	
Thomas Oberlin (ISAE-SUPAERO), Yajing Yan (LISTIC), Ammar Mian (LISTIC), Stéphane May (CNES)	52
T/B : Apprentissage faiblement supervisé ou non supervisé pour l'analyse d'images et de vidéo	
Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Nicolas Thome (CNAM), Su Ruan (LITIS), Christian Wolf (LIRIS)	52
B/T : Visage, gestes, actions et comportement	
Catherine Achard (ISIR), Christophe Ducottet (LHC), Olivier Alata (LHC)	53
B/D : Tendances en évaluation de la qualité pour la compression et la sécurisation des contenus émergents	
Aladine Chetouani (PRISME), Chaker Larabi (XLIM), Giuseppe Valenzise (L2S)	53
B/T : Apprentissage faiblement supervisé ou non supervisé pour l'analyse d'images et de vidéo	
Christian Wolf (LIRIS), Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Su Ruan (LITIS)	53

---

B/T : Détection et segmentation d'objets	
Hervé Le Borgne (CEA), Nicolas Thome (CNAM), Liming Chen (LIRIS), Hervé Bredin (LIMSI), Alexandre Benoit (LISTIC), Jenny Benois-Pineau (LABRI) . . . . .	54
B/T : Visage, gestes, actions et comportement	
Catherine Achard (ISIR), Christophe Ducottet (LHC), Olivier Alata (LHC) . . . . .	54
B/T : Panorama des initiatives pour l'aide au diagnostic de la Covid-19 par l'imagerie médicale	
Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Nicolas Thome (CNAM), Su Ruan (LITIS) . . . . .	55
B/T : Analyse d'images médicales pour la prise en charge des patients atteints par la Covid-19 (2 <sup>e</sup> journée sur la Covid-19)	
Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Nicolas Thome (CNAM), Su Ruan (LITIS) . . . . .	55
B/T : Recent advances in machine learning for computer aided diagnosis and prognosis based on medical imaging	
Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Nicolas Thome (CNAM), Su Ruan (LITIS) . . . . .	56
B/T : Visage, gestes, actions et comportement	
Catherine Achard (ISIR), Christophe Ducottet (LHC), Olivier Alata (LHC) . . . . .	56
B/T : Diagnostic et pronostic pour la Covid-19	
Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LISTIC), Nicolas Thome (CNAM)	57
B/T : Explicabilité et interprétabilité des méthodes d'Intelligence Artificielle pour la classification et compréhension des scènes visuelles	
Nicolas Thome (CNAM), Jenny Benois-Pineau (LABRI), (LISTIC), Su Ruan (LITIS)	57
B/T : Réseaux de neurones pour les problèmes inverses en imagerie satellite	
Andrés Almansa (MAP5), Thomas Oberlin (ISAE), Pierre Weiss (IMT) . . . . .	58
B/T : Deep learning with weak or few labels in medical image analysis	
Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Nicolas Thome (CNAM), Mireille Garreau (LTSI) . . . . .	58
B/A : Signal and image processing in neuroscience	
Régine Le Bouquin Jeannès (LTSI), Radu Randa (CRAN) . . . . .	58
B/A/T : Generative models : control and (mis)usage	
Hervé Le Borgne (CEA), Alexandre Benoit (LISTIC), Nicolas Audebert (CNAM) . . . . .	59
B/T : Visage, gestes, actions et comportement	
Catherine Achard (ISIR), Alice Othmani (LiSSi), Olivier Alata (LHC), Christophe Ducottet (LHC) . . . . .	59
B : IA et réseaux de neurones profonds, ouvrir la boîte noire : du modèle explicable à la synthèse et présentation d'explications en signal et image	
Alexandre Benoit (LISTIC), Nicolas Audebert (CNAM), Jenny Benois-Pineau (LABRI), Nicolas Thome (CNAM), Hervé Le Borgne (CEA) et al . . . . .	59
B : Vision omnidirectionnelle	
Guillaume Caron (MIS), Pascal Vasseur (LITIS), Pascal Morin (ISIR) . . . . .	59
B : Journées Imagerie Optique Non Conventionnelle – 14 <sup>e</sup> édition	
Corinne Fournier (LHC), Julien Fade (Institut Foton), Matthieu Boffety (LCF) . . . . .	60
B/T : Apprentissage et robotique	
Christian Wolf (LIRIS), David Filliat (ENSTA), Cédric Demonceaux (ImViA) . . . . .	60
B : Vision biologique et artificielle dans le traitement des images et l'apprentissage	
Edoardo Provenzi (IMB) pour le GdR ISIS ; Anna Montagnini, Laurent Perrinet et Manuel Vidal pour le GdR Vision . . . . .	61

---

B : Co-conception : capteurs hybrides et algorithmes pour des systèmes innovants Andrés Almansa (MAP5), Matthieu Boffety (LCF), Yohann Tendero (IPSA), Pauline Trouvé-Peloux (ONERA) . . . . .	61
B : Journées Imagerie Optique Non Conventionnelle – 15 <sup>e</sup> édition Corinne Fournier (LHC), Julien Fade (Institut Foton), Matthieu Boffety(LCF) . . .	62
B : Photographie computationnelle Edoardo Provenzi (IMB) pour le GdR ISIS ; Céline Loscos, Rémy Cozot pour le GdR IG-RV . . . . .	62
B/T : Apprentissage et robotique Cédric Demonceaux (ImViA), David Filliat (ENSTA), Christian Wolf (LIRIS) . . .	63
B : Journées Imagerie Optique Non Conventionnelle – 16 <sup>e</sup> édition Corinne Fournier (LHC), Nicolas Verrier (IRIMAS), Matthieu Boffety (LCF) . . . .	63
B : Co-conception : capteurs hybrides et algorithmes pour des systèmes innovants Andrés Almansa (CNRS, MAP5), Matthieu Boffety (LCF), Marie-Anne Burcklen (Institut Fresnel), Yohann Tendero (IPSA), Pauline Trouvé-Peloux (ONERA) . . .	63
B/T : Apprentissage et robotique Cédric Demonceaux (ImViA), David Filliat (ENSTA), Christian Wolf (LIRIS) . . .	64
B : Explication des modèles des réseaux profonds en problèmes de classification, d'amélioration et d'interprétation des images et des signaux/données Nicolas Thome (CNAM), Jenny Benois-Pineau (LABRI), Alexandre Benoit (LIS-TIC), Romain Vuillemot (LIRIS), Romain Bourqui (LABRI) . . . . .	64
B : Journées Imagerie Optique Non Conventionnelle – 17 <sup>e</sup> édition Corinne Fournier (LHC), Nicolas Verrier (IRIMAS), Matthieu Boffety (LCF) . . . .	64
B : Capteurs visuels émergents pour la robotique Brahim Tamadazte (ISIR), Guillaume Caron (MIS), Nathanaël Jarassé (ISIR), Pascal Vasseur (MIS), Franck Ruffier (ISM) . . . . .	65
B : Journées Imagerie Optique Non Conventionnelle – 18 <sup>e</sup> édition Corinne Fournier (LHC), Nicolas Verrier (IRIMAS), Alice Fontbonne (ONERA) . .	65
C : Méthodes et outils de développement pour des applications de traitement du signal et d'apprentissage Karol Desnos, Jean-François Nezan (IETR) . . . . .	69
C : Cluster d'architectures à base de SoC pour les calculs hautes performances – 1 <sup>ère</sup> journée Virginie Fresse (LHC), Fan Yang, ElBey Bourennane (ImViA) . . . . .	70
C : Cluster d'architectures à base de SoC pour les calculs hautes performances – 2 <sup>e</sup> journée Virginie Fresse (LHC), Fan Yang, ElBey Bourennane (ImViA) . . . . .	70
C : Accélération des calculs pour l'instrumentation et le traitement de données en astronomie Nicolas Gac (L2S), Damien Gradatour (OBSPM) . . . . .	70
C : Implémentations, outils et applications émergentes pour la radio logicielle Adrien Cassagne(LIP6), Matthieu Gautier (IRISA), Robin Gerzaguet (IRISA), Camille Leroux (IMS) . . . . .	70
C/T : Intelligence artificielle et apprentissage sur systèmes embarqués Fan Yang (ImViA), Jean-François Nezan (IETR), Christian Wolf (LIRIS) . . . . .	71
C/A : Radioastronomie dans la perspective de SKA André Ferrari (Lagrange), Jean-François Nezan (IETR), Rémy Boyer (CRISAL) .	71

---

C/D : Formes d'onde efficaces en énergie / Energy efficient waveforms	
Karine Amis, Frédéric Guilloud (Lab-STICC), Charly Poulliat (IRIT), Yves Louët (IETR), Christophe Jégo (IMS)	72
C/D : Enabling Technologies for sub-TeraHertz and TeraHertz communications	
Jean-Baptiste Doré (CEA Leti), Carlos Faouzi Bader (IETR), Yoann Corre (SIRADEL), Emmanuel Faussurier (ANFR)	72
C/D : Nouvelle norme de compression vidéo : Versatile Video Coding	
Wassim Hamidouche, Daniel Menard (IETR)	73
C/A : Traitement du signal et applications quantiques	
Mathieu Thevenin (CEA), Xavier Geoffret (ATOS), Gaetan Rubez (ATOS), Yannick Deville (IRAP)	73
C/T : Efficient hardware for deep neural network processing	
Matthieu Arzel (Lab-STICC), Anthony Kolar (CentraleSupélec), Mathieu Léonardon (Lab-STICC), Erwan Libessart (CentraleSupélec)	73
C : Near Image Sensor Computing	
François Berry (Institut Pascal), Gilles Sicard (CEA LETI), Daniel Chillet (IRISA), Kevin Martin (UBS), Dominique Dallet (IMS)	74
C : Calcul scientifique accéléré sur FPGA	
Mickaël Dardaillon (IETR), Nicolas Gac (L2S), Matthieu Haefele (UPPA), Shan Mignot (Lagrange), Charles Prouveur (CEA), Antsa Randria (LAB), Bogdan Vulpescu (IN2P3)	74
D : Compression et qualité des contenus 360, Light Field et Point Cloud (3D)	
Wassim Hamidouche (IETR), Christine Guillemot (INRIA), Vincent Ricordel (LS2N), Chaker Larabi (XLIM), Marc Antonini (I3S)	84
D : Biométrie : de la reconnaissance des individus à la protection des données personnelles	
Cathel Zitzmann (LM2S) et Christophe Charrier (GREYC)	84
D : État des lieux de la compression image et vidéo : standards JPEG et MPEG	
Chaker Larabi (XLIM) et Didier Nicholson (EKTACOM)	85
D : Nouvelle norme de compression vidéo : Versatile Video Coding	
Wassim Hamidouche (IETR), Daniel Menard (IETR)	86
D : Menaces de sécurité sur l'apprentissage profond	
Teddy Furon (IRISA), Caroline Fontaine (LSV)	86
D : Learning based coding for digital image and video information	
Wassim Hamidouche (IETR), Thomas Maugey (INRIA), Aline Roumy (INRIA)	86
D : Compression et sécurisation pour les applications immersives	
Chaker Larabi (XLIM), William Puech (LIRMM)	87
D : Deepfake video generation and detection	
Wassim Hamidouche (IETR), Amine Kacete (b<>com Rennes), Abdenour Hadid (LAMIH)	87
D : État des lieux de la compression des données multimédia	
Chaker Larabi (XLIM), Didier Nicholson (EKTACOM), Félix Henry (ORANGE LABS), Marius Preda (Telecom SudParis), Lu Zhang (IETR)	88
D : Formes d'onde efficaces en énergie	
Karine Amis (LabSTICC), Frédéric Guilloud (Lab-STICC), Charly Poulliat (IRIT), Yves Louët (IETR) et Christophe Jégo (IMS)	88
D : Enabling technologies for sub-TeraHertz and TeraHertz communications	
Jean-Baptiste Doré (CEA Leti), Carlos Faouzi Bader (ISEP), Yoann Corre (SIRADEL), Emmanuel Faussurier (ANFR)	89

---

D : Codage, modulation et traitement du signal pour les communications optiques Ingmar Land (Huawei), Maxime Guillaud (Huawei), Ghaya Rekaya-Ben Othman (Telecom Paris), Jean-Claude Belfiore (Telecom Paris) . . . . .	90
D : Coding theory and its applications to data storage, communication and security Iryna Andriyanova (ETIS), Charly Pouillat (IRIT) . . . . .	90
D : Enabling ultra-reliability, low latency and massive connectivity Arsenia Chorti (ETIS), Inbar Fijalkow (ETIS), Mylène Pischella (CNAM) . . . . .	90
D : Machine learning in optical communication systems Elie Awwad (Telecom Paris), Catherine Lepers (Telecom SudParis) . . . . .	91
D : Enabling technologies for (sub)-TeraHertz communications Carlos Faouzi Bader (ISEP), Jean-Baptiste Doré (CEA Leti), Yoann Corre (SIRA- DEL), Emmanuel Faussurier (ANFR) . . . . .	91
D : Reconfigurable intelligent surfaces for programmable wireless environments Marco Di Renzo (L2S), Merouane Debbah (Huawei) . . . . .	92
D : Short packet transmission for wireless communications Catherine Douillard (IMT), Philippe Mary (IETR), Jean-Marie Gorce (INRIA), Emmanuel Boutillon (Lab-STICC) . . . . .	93
D/C : Enabling Technologies for sub-TeraHertz and TeraHertz communications Jean-Baptiste Doré (CEA Leti), Carlos Faouzi Bader (IETR), Yoann Corre (SIRA- DEL), Emmanuel Faussurier (ANFR) . . . . .	93
D/B : Tendances en évaluation de la qualité pour la compression et la sécurisation des contenus émergents Aladine Chetouani (PRISME), Chaker Larabi (XLIM), Giuseppe Valenzise (L2S) . . . . .	94
T/B : Apport de l'information sémantique pour la vision par ordinateur Hervé Le Borgne (CEA List), Nicolas Thome (CNAM), Liming Chen (CREATIS), Hervé Bredin (LIMSI), Alexandre Benoit (LISTIC), Jenny Benois-Pineau (LABRI) . . . . .	98
T/C : Intelligence artificielle et apprentissage sur systèmes embarqués Fan Yang (ImViA), Jean-François Nezan (IETR), Christian Wolf (LIRIS) . . . . .	99
T/B : Extraction d'attributs et apprentissage pour l'analyse des images de télédétection Abdourrahmane Atto (LISTIC), Loïc Denis (LHC), Nicolas Thome (CNAM), Sté- phane May (CNES) . . . . .	99
T/A/B : Images et data : méthodes d'analyse et modélisation pour l'agriculture nu- mérique Adel Hafiane (PRISME), Christelle Gée (INRA), Raphaël Canals (PRISME), Paul- Henry Cournède (MICS) . . . . .	100
T/B : Apprentissage faiblement supervisé ou non supervisé pour l'analyse d'images et de vidéo Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Nicolas Thome (CNAM), Su Ruan (LITIS), Christian Wolf (LIRIS) . . . . .	100
T/B : Détection et segmentation d'objets Hervé Le Borgne (CEA List), Nicolas Thome (CNAM), Liming Chen (LIRIS), Hervé Bredin (LIMSI), Alexandre Benoit (LISTIC), Jenny Benois-Pineau (LABRI) . . . . .	101
T/A : Transport optimal en apprentissage statistique et traitement du signal Rémi Flamary (Lagrange), Nicolas Courty (IRISA), Alain Rakotomamonjy (LI- TIS), N. Papadakis (IMB) . . . . .	101
T/A : Théorie du deep learning Caroline Chaux (I2M), Valentin Emiya (LIS), François Malgouyres (IMT), Nicolas Thome (CNAM), Konstantin Usevich (CRAN) . . . . .	101

---

T/B : Panorama des initiatives pour l'aide au diagnostic du Covid-19 par l'imagerie médicale Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Nicolas Thome (CNAM), Su Ruan (LITIS) . . . . .	102
T/B : Analyse d'images médicales pour la prise en charge des patients atteints par le Covid-19 (2 <sup>e</sup> journée sur la Covid-19) Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Nicolas Thome (CNAM), Su Ruan (LITIS) . . . . .	103
T/A : Apprentissage profond et modèles génératifs pour modéliser l'incertitude des données – 1 <sup>ère</sup> journée Sylvain Le Corff (SAMOVAR), François Septier (LMBA) . . . . .	103
T/B : Vision 3D et apprentissage Adrien Bartoli (Institut Pascal, Cédric Demonceaux (EMR VIBOT, ImViA), Vincent Lepetit (Imagine) . . . . .	103
T/B : Apprentissage auto-supervisé et non-supervisé de représentations Nicolas Thome (CNAM), Christian Wolf (LIRIS) . . . . .	104
T/B : Extraction d'attributs et apprentissage pour l'analyse des images de télédétection Sophie Giffard-Roisin (ISTerre), Jordi Inglada (Cesbio), Charlotte Pelletier (IRISA)	104
T/B : Intelligence artificielle et apprentissage machine pour l'agriculture Adel Hafiane (PRISME), Christelle Gée (INRA), Raphaël Canals (PRISME) . . . . .	104
T/B : Recent advances in machine learning for computer aided diagnosis and prognosis based on medical imaging Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Nicolas Thome (CNAM), Su Ruan (LITIS) . . . . .	105
T/B : Diagnostic et pronostic pour la Covid-19 Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Nicolas Thome (CNAM) . . . . .	106
T/B : Explicabilité et interprétabilité des méthodes d'Intelligence Artificielle pour la classification et compréhension des scènes visuelles Nicolas Thome (CNAM), Jenny Benois-Pineau (LABRI), Alexandre Benoit (LISTIC), Su Ran (LITIS) . . . . .	106
T/A : Apprentissage profond et modèles génératifs pour modéliser l'incertitude des données – 2 <sup>e</sup> journée Sylvain Le Corff (SAMOVAR), François Septier (LMBA) . . . . .	106
T/A : Théorie du deep learning Caroline Chaux (I2M), Valentin Emiya (LIS), François Malgouyres (IMT), Nicolas Thome (CNAM), Konstantin Usevich (CRAN) . . . . .	107
T/B : Réseaux de neurones pour les problèmes inverses en imagerie satellite Andrés Almansa (MAP5), Thomas Oberlin (ISAE), Pierre Weiss (IMT) . . . . .	107
T/B : Deep learning with weak or few labels in medical image analysis Carole Lartizien (CREATIS), Caroline Petitjean (LITIS), Nicolas Thome (CNAM), Mireille Garreau (LTSI) . . . . .	107
T/A : Recent advances in graph machine learning Edouard Oyallon (ISIR), Nicolas Keriven (GIPSA-lab) . . . . .	108
T/A/B : Generative models : control and (mis)usage Hervé Le Borgne (CEA), Alexandre Benoit (LISTIC), Nicolas Audebert (CNAM) . . . . .	108
T/A : Apprentissage et modélisation physique Nicolas Thome (CNAM), Christian Wolf (Naver Labs), Martijn Van Den Ende (Lagrange) . . . . .	108

---

T/B : Visage, gestes, actions et comportement	
Catherine Achard (ISIR), Alice Othmani (LiSSi), Olivier Alata (LHC), Christophe Ducottet (LHC) . . . . .	108
T/C : Efficient hardware for deep neural network processing	
Matthieu Arzel (Lab-STICC), Anthony Kolar (CentraleSupélec), Mathieu Léonardon (Lab-STICC), Erwan Libessart (CentraleSupélec) . . . . .	108
T/B : Signal, image et intelligence artificielle pour l'agriculture numérique – 3 <sup>e</sup> journée	
Adel Hafiane (PRISME), Christelle Gée (Agroécologie), Raphaël Canals (PRISME)	108
T : Apprentissage et raisonnement avec un accent sur le traitement des signaux et des images	
Christian Wolf (LIRIS), Nicolas Thome (CNAM), Nicolas Le Bihan (GIPSA-lab), Sébastien Destercke (Heudiasyc) . . . . .	109
T : Optimisation and inverse problems in image processing – Journée scientifique à la mémoire de Mila Nikolova	
Jean-François Aujol (IMB), Laure Blanc-Féraud (I3S), Albert Cohen (LJLL), Agnès Desolneux (CMLA), Jalal Fadili (GREYC), Gabriel Peyré (DMA), Alain Trounev (CMLA) . . . . .	109
T : Apprentissage et robotique	
Christian Wolf (LIRIS), David Filliat (ENSTA), Cédric Demonceaux (VIBOT) . . .	109
T : Apprentissage et robotique	
Cédric Demonceaux (VIBOT), David Filliat (ENSTA), Christian Wolf (LIRIS) . . .	109
T : Apprentissage et robotique	
Cédric Demonceaux (VIBOT), David Filliat (ENSTA), Christian Wolf (LIRIS) . . .	110
T/B : Explication des modèles des réseaux profonds en problèmes de classification, d'amélioration et d'interprétation des images et des signaux/données	
Nicolas Thome (CNAM), Jenny Benois-Pineau (LABRI), Alexandre Benoit (LISTIC), Romain Vuillemot (LIRIS), Romain Bourqui (LABRI) . . . . .	110
T/B : IA et réseaux de neurones profonds, ouvrir la boîte noire : du modèle explicable à la synthèse et présentation d'explications en signal et image	
Alexandre Benoit (LISTIC), Nicolas Audebert (CNAM), Jenny Benois-Pineau (LABRI), Nicolas Thome (CNAM), Hervé Le Borgne (CEA) et al . . . . .	110