



# RAPPORT D'ACTIVITÉS

UMR UTC-CNRS 7253

2024-2025

[www.hds.utc.fr](http://www.hds.utc.fr)





# Table des matières

<b>Présentation générale du laboratoire Heudiasyc et de ses activités</b>	<b>1</b>
1 Introduction . . . . .	1
2 Organisation de l'unité . . . . .	2
3 Projet scientifique de l'unité . . . . .	5
4 Ressources humaines . . . . .	10
5 Services support . . . . .	13
6 Formation par la recherche . . . . .	18
7 Ressources financières . . . . .	21
8 Engagements sociétaux de l'unité . . . . .	22
9 Faits marquants . . . . .	23
10 Conclusion . . . . .	24
<b>Équipe CID</b>	<b>25</b>
1 Description de l'équipe . . . . .	25
2 Avancement scientifique . . . . .	28
3 Projets et collaborations . . . . .	34
4 Rayonnement . . . . .	36
5 Faits Marquants . . . . .	39
6 Valorisation . . . . .	39
7 Liste des publications . . . . .	40
<b>Équipe SCOP</b>	<b>49</b>
1 Description de l'équipe . . . . .	49
2 Avancement scientifique . . . . .	51
3 Projets et collaborations . . . . .	60
4 Rayonnement . . . . .	62
5 Faits marquants . . . . .	63
6 Valorisation . . . . .	63
7 Liste des publications . . . . .	64
<b>Équipe SyRI</b>	<b>69</b>
1 Description de l'équipe . . . . .	69
2 Avancement scientifique . . . . .	72



3	Projets et collaborations . . . . .	86
4	Rayonnement . . . . .	89
5	Faits marquants . . . . .	93
6	Valorisation . . . . .	94
7	Liste des publications . . . . .	94

# Présentation générale du laboratoire Heudiasyc et de ses activités

## 1. INTRODUCTION

---

L'unité de recherche Heudiasyc opère dans le champ des sciences et technologies de l'information, de la communication et des systèmes, en particulier dans les domaines de l'informatique, de l'automatique, de la robotique et de l'intelligence artificielle. Les systèmes intelligents complexes constituent le cœur des activités du laboratoire.

Le laboratoire regroupe des enseignants-chercheurs et des chercheurs CNRS dont les domaines de recherche relèvent de :

- la gestion des incertitudes et l'apprentissage automatique,
- la gestion des connaissances et les interactions homme-machine,
- la recherche opérationnelle et l'optimisation,
- des protocoles réseaux et des systèmes distribués,
- l'automatique, la robotique et la vision par ordinateur,
- la sûreté de fonctionnement prenant en compte le facteur humain.

Ce rapport présente les travaux et avancées scientifiques de l'unité sur les années 2024 et 2025. Il décrit aussi les moyens dont dispose le laboratoire pour conduire des recherches et former de jeunes chercheurs et chercheuses.

Le document est organisé comme suit. Ce premier chapitre présente l'unité dans son ensemble : son organisation, son projet scientifique, ses ressources humaines et financières et ses activités de formation par la recherche. Chacun des trois chapitres suivants est consacré à une équipe.



## 2. ORGANISATION DE L'UNITÉ

---

### 2.1 Structuration du laboratoire

Le laboratoire est structuré en trois équipes de recherche, épaulées par deux services supports (cf. figure 1) :

- CID : Connaissances, Incertitudes, Données,
- SCOP : Sûreté, Communication et OPTimisation,
- SyRI : Systèmes Robotiques en Interaction.

Trois axes transversaux thématiques (ATT) structurent les activités inter-équipes. Elles visent à créer une synergie entre certains travaux de recherche des équipes, qui, bien que disciplinairement distincts, peuvent bénéficier de collaborations interdisciplinaires. Elles ont également pour objectif d'éviter les cloisonnements et d'encourager les échanges entre les équipes.

Dans chacun de ces axes, les mots clés ont un sens particulier dans chaque équipe. Ils sont précisés ci-dessous.

Axe 1 : sûreté, incertitudes, décision

- CID : aide à la décision dans l'incertain, quantification de l'incertitude en IA, IA robuste
- SCOP : sûreté de fonctionnement, aide à la décision, optimisation robuste
- SyRI : navigation et planification sûres, perception robotique, commande et estimation robuste

Axe 2 : IA, apprentissage, optimisation

- CID : apprentissage statistique, par transfert, raisonnement logique, théorie des jeux
- SCOP : lien IA-optimisation (programmation par contrainte, satisfaction de contrainte), sûreté de fonctionnement des systèmes intégrant l'IA
- SyRI : apprentissage pour la perception, commande prédictive ou basée données (e.g. par renforcement)

Axe 3 : interaction humain-machine

- CID : environnements immersifs, élicitation (préférences, connaissances expertes, etc.), environnements pour l'apprentissage humain, systèmes adaptatifs, explicabilité, apprentissage actif (exemple informatifs pour ajuster un modèle)
- SCOP : sûreté de fonctionnement (interaction opérateur – système autonome, fiabilité humaine), problèmes d'optimisation nécessitant une assistance humaine
- SyRI : contrôle partagé, réalité mixte, téléopération.

D'autres sujets bilatéraux ont été identifiés et sont présentés dans les équipes.



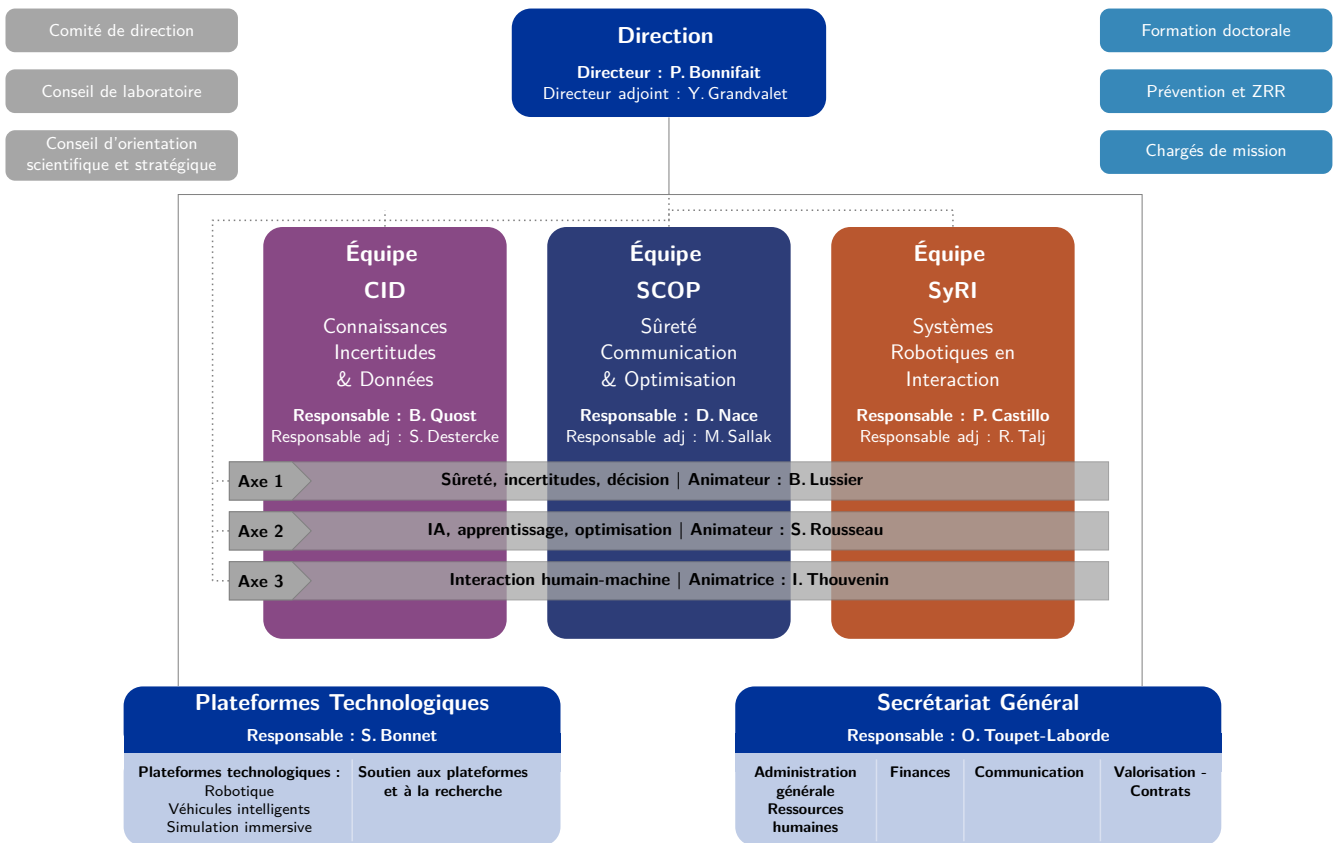


Figure 1 – Organigramme du laboratoire en décembre 2025

## 2.2 Organigrammes du laboratoire

L'organigramme fonctionnel du laboratoire est présenté sur la figure 1 avec :

- les équipes scientifiques constituées de chercheurs et enseignants-chercheurs qui œuvrent à la production de connaissances, au développement de projets innovants, à la formation par la recherche et à la diffusion des savoirs,
- les axes transversaux thématiques qui relient ces équipes,
- le service « plateformes technologiques » regroupant les personnels techniques et mutualisés entre les équipes, et qui assure aussi un appui technique à la recherche,
- le secrétariat général s'occupant de l'administration, des finances et de la communication.

La gouvernance est réalisée par le directeur et son adjoint, qui s'appuient sur les avis de trois instances :

- le comité de direction,
- le conseil d'orientation scientifique et stratégique,
- le conseil de laboratoire,

dont la composition est détaillée sur la figure 2. Le conseil de laboratoire a été renouvelé en janvier 2026. L'ensemble des chargés de mission est présenté sur la figure 3.



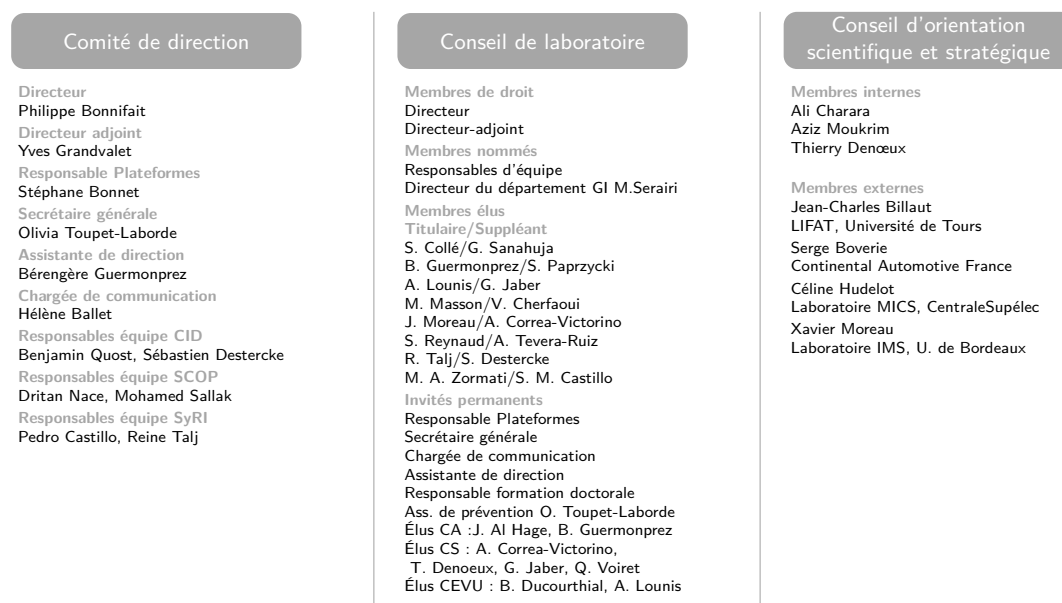


Figure 2 – Composition des instances de l'unité

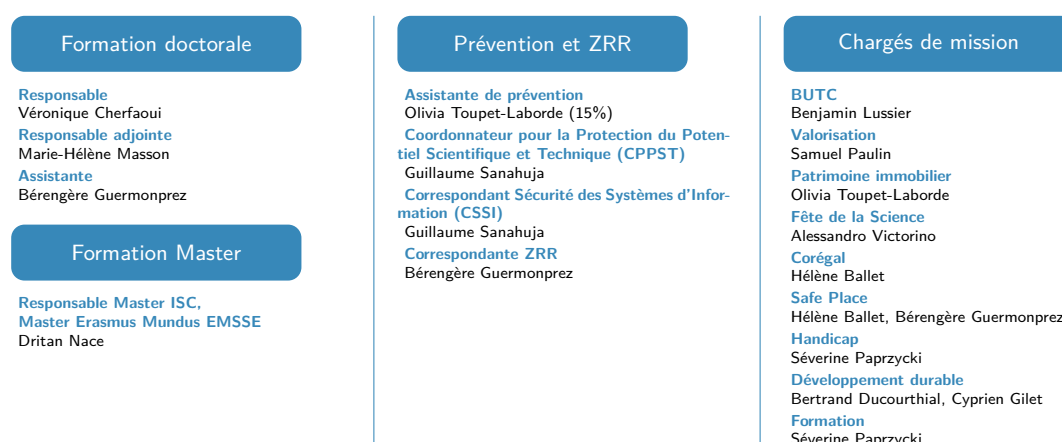


Figure 3 – Chargés de mission de l'unité



## 3. PROJET SCIENTIFIQUE DE L'UNITÉ

### 3.1 Systèmes intelligents complexes

Le projet scientifique du laboratoire Heudiasyc est fondé sur la synergie entre recherche amont et recherche technologique dans le domaine des sciences informatiques, au sens large, afin de répondre à des enjeux sociétaux. Les objectifs sont de produire des connaissances selon une démarche scientifique rigoureuse en traitant des questions répondant à des problématiques technologiques et sociétales. Dans nos recherches, la dimension technique est souvent présente au travers de la réalisation, l'intégration, l'expérimentation et l'évaluation de prototypes et de logiciels développés dans des conditions de fonctionnement proches du réel.

Le laboratoire s'intéresse à fournir des méthodes de représentation, d'analyse et de contrôle pour des systèmes intelligents complexes qui sont soumis à des contraintes technologiques, économiques, sociétales et humaines. Nous mettons l'accent sur le traitement automatique de l'information, en intégrant le fait qu'elle est souvent incertaine. Il s'agit de l'acquérir, de l'organiser, de la transmettre de façon sûre et efficace, et de la traiter pour raisonner, apprendre, décider et contrôler. L'incertitude de l'information ajoute à la complexité des systèmes technologiques qui évoluent dans le monde réel, et qui doivent donc être capables de gérer une grande variabilité des conditions de fonctionnement, ainsi que de faire face à des perturbations ou à des actions malveillantes.

Plusieurs évolutions structurent aujourd'hui les domaines étudiés.

Les sciences informatiques sont omniprésentes dans les sciences et les technologies, et ces dernières années leur diffusion s'est accrue, en particulier grâce aux avancées en IA et notamment en apprentissage automatique. Les nouvelles applications se succèdent à un rythme effréné. Ceci est lié aux progrès des nouveaux modèles d'apprentissage (en particulier génératifs) avec en parallèle la production et le stockage de données massives produites par des spécialistes, des capteurs ou encore par la numérisation des activités quotidiennes.

Dans un autre registre, les objets techniques manufacturés intègrent de plus en plus des capacités de mesure, de traitement et d'actionnement. Les capacités programmables sont physiquement incrustées (*embedded*). Ils sont de plus en plus connectés les uns aux autres, avec le monde réel (*IoT*) et avec des mondes virtuels avec des ressources informatiques très conséquentes (*cloud*), formant ainsi des systèmes cyber-physiques ou des parties constitutives de systèmes de systèmes. La sécurité et l'intégrité de l'information sont désormais des préoccupations croissantes. Ces systèmes possèdent des capacités de perception, d'apprentissage et de décision de plus en plus élaborées. Ainsi, l'autonomie des systèmes intelligents (comme des véhicules, des navettes ou des mini-drones aériens) ne cesse d'augmenter grâce aux progrès des sources d'information (capteurs, cartes, systèmes de communication), grâce à une volumétrie sans cesse croissante des données et enfin grâce à des capacités de traitement automatique de l'information toujours plus grandes. Dans ce domaine, les méthodes d'apprentissage automatique ne cessent également de prendre de l'importance.

Par ailleurs, les systèmes intelligents interagissent de plus en plus avec les humains. Par exemple, ils doivent produire des informations intelligibles, s'adapter aux utilisateurs et être capables d'expliquer leurs résultats. Inversement, ils doivent intégrer des informations issues d'expertises humaines dans leurs phases de conception et de fonctionnement.

Enfin, la question de la sûreté de fonctionnement des systèmes dans lesquels ils interviennent se pose de plus en plus. Ils doivent être non seulement robustes et fiables, mais il leur faut avoir des mécanismes leur permettant d'être capables de connaître leurs capacités



de fonctionnement et leurs limites lorsqu'ils interviennent dans des opérations à risque. C'est par exemple une question majeure posée par les véhicules autonomes pour pouvoir libérer d'avantage les conducteurs de la tâche de conduite.

Le laboratoire Heudiasyc a ainsi l'originalité de mobiliser des compétences complémentaires pour faire avancer les connaissances et la maîtrise des systèmes intelligents complexes.

### 3.2 Domaines d'application privilégiés

À la suite d'un travail de prospective, nous avons identifié les cibles technologiques suivantes, qui n'ont pas toutes vocation à être abordées dans le prochain quinquennal :

- Transport et mobilité
  - Systèmes de transport intelligents et autonomes (route, rail)
  - Sécurité-sécurité
  - Gestion et optimisation de l'énergie embarquée
  - Logistique
- IoT et systèmes connectés
  - Cybersécurité
  - Optimisation énergétique
- Transition numérique de l'industrie
  - Diagnostic industriel
- Défense, surveillance et sécurité
  - Mini-drones aériens
  - Robotique
- Environnement
  - Aide à la décision (politiques environnementales, gestion de l'eau, énergie, etc.)
  - Agriculture de précision
  - Frugalité : systèmes sobres et énergétiquement responsables
- Secteur de la santé
  - Aide au diagnostic médical
- Patrimoine et culture, humanités numériques

### 3.3 Politique scientifique

La méthode que nous suivons pour atteindre nos objectifs est :

- de suivre une approche scientifique rigoureuse, intègre et reproductible ;
- d'avoir des collaborations scientifiques aux niveaux local, national et international ;
- d'avoir des partenariats ciblés et forts avec le monde économique ;
- de s'appuyer sur des plateformes technologiques d'envergure, utilisées à la fois comme outils et objets de recherche.

Les questions liées au développement durable et à la responsabilité sociétale ont des impacts sur nos pratiques et nos thématiques de recherche. Pour ce qui est des pratiques, le laboratoire participe au collectif Labos 1point5 depuis 2019. Les référents développement durable réalisent tous les ans notre bilan d'émission de gaz à effet de serre (BEGES) que nous rendons public sur notre site web. À terme, notre objectif est de cibler les actions les



plus efficaces pour la réduction de notre impact carbone, en limitant les contraintes sur nos pratiques de recherche.

Le développement durable est beaucoup plus large que l'éco-responsabilité et nous nous sommes positionnés par rapport à trois objectifs de développement durable (ODD) des Nations Unies, comme « l'égalité entre les sexes » ou « industrie, innovation et infrastructure », et « ville et communauté durable » en particulier en ce qui concerne les transports intelligents. L'utilisation de nos résultats de recherche au service d'une technologie plus durable ou pour des systèmes technologiques au service du développement durable devient une préoccupation grandissante au laboratoire.

Nous avons une politique d'accompagnement des nouveaux recrutés avec des crédits d'installation et nous leur fléchons de façon préférentielle un contrat doctoral de l'UTC. Ils sont également accompagnés par les actions incitatives de la direction à la recherche de l'UTC et nous les encourageons à déposer des ANR JCJC et des projets auprès du CNRS Sciences informatiques. Depuis 2020, nous avons engagé une politique de financement de stages de master pour des projets innovants ou des projets collaboratifs pouvant conduire à des thèses de doctorat.

### 3.4 Projets structurants

#### 3.4.1 Programmes nationaux (France 2030)

##### Equipex+ Tirrex

Le projet Tirrex (Technological Infrastructure of Robotics Research of EXcellence) porté par le CNRS a été retenu en 2021 dans le cadre des « équipements structurants pour la recherche » EquipEx+ du programme national « France 2030 » (anciennement PIA). Il regroupe 32 laboratoires. Le montant de l'aide ANR pour Tirrex est de 12 M€ sur la période 2021–2029.

Le projet coordonne des investissements scientifiques pour l'ensemble de la communauté scientifique française en robotique, en focalisant ces investissements sur quelques thématiques et un nombre restreint de sites pilotes. Parmi les 6 thématiques retenues (robotique médicale, humanoïde, drones, robots XXL, . . .), la robotique autonome terrestre (portée par Heudiasyc et l'unité TSCF de l'INRAE) a été retenue comme une des 6 thématiques nationales. Elle associe les véhicules intelligents et la robotique agricole, qui partagent des problématiques communes dans le domaine de la navigation (localisation, perception, supervision, décision, planification et contrôle).

##### Equipex+ Continuum

Continuum (Continuité collaborative du numérique vers l'humain) est un autre Equipex+ porté par le CNRS. Heudiasyc y est membre du Comex. Le but est de créer un réseau de plateformes pour l'interaction, l'immersion et la collaboration, avec deux axes :

- Recherche à l'interface des sciences du numérique et des sciences humaines et sociales,
- Déploiement d'outils et de services pour et avec d'autres disciplines.

Le projet regroupe 22 partenaires (soit environ 35 équipes). Le montant de l'aide ANR pour Continuum est de 13,6M€. Ses choix stratégiques sont d'étendre et compléter des plateformes existantes (plutôt que d'en créer de nouvelles) et de sélectionner des sites avec une activité de recherche en interaction, immersion, visualisation et collaboration et non pas de simples utilisateurs de la technologie.



## Cluster IA

Le projet « PostGenAI@Paris » porté par Sorbonne Université (SU) fait partie des 9 clusters retenus par l'État en mai 2024, pour un montant de 35M d'Euros. Il est en lien très fort avec SCAI (Sorbonne Center for Artificial Intelligence) de SU.

Nous sommes impliqués dans trois *Collaborative Acceleration Programs* (CAP). Nous copilotons le CAP *IA for a safer industry* avec le laboratoire Roberval (UTC). Il implique aussi des EC de Costech (UTC), du Lip6 (SU) et du Lirsa (CNAM) autour de la détection de défauts et de la maintenance préventive sur la base de méthodes d'apprentissage machine pour des systèmes industriels. Nous pilotons le CAP *TrustWorthy Interactive augmented autoNomous drivING - TWINNING* qui implique des EC de l'IRCAM et de l'ISIR (SU). Il adresse des questions sur la conduite partagée de véhicules à haut niveau d'autonomie et est soutenu par Renault.

## Programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR)

Heudiasyc est impliqué dans les PEPR eSEMBLE (sur la collaboration numérique) et ICCARE (industries culturelles et créatives) avec des financements de thèse. Nous avons participé en 2024 au montage du PEPR d'accélération « robotique » qui a été officialisé en juin 2025. Ce PEPR a été démarré en novembre 2025. Nous sommes impliqués dans un projet ciblé intitulé « PERSEO » qui porte sur la perception coopérative robuste pour la navigation autonome et qui implique 15 laboratoires français.

Nous avons identifié d'autres PEPR qui ont démarré. En fonction des opportunités et de la pertinence des collaborations, notre stratégie est de répondre à des appels à projets issus de ces programmes.

### 3.4.2 Coopération internationale sous l'égide du CNRS

#### IRP ADONIS

Lancé officiellement en novembre 2020, l'*International Research Project* ADONIS (Approches de Diagnostic et de cONtrôle Intelligent des Systèmes) a associé jusqu'à fin 2024 des scientifiques du CNRS, de l'Université de technologie de Compiègne et de l'Université libanaise. Ce programme de recherche international a consolidé une collaboration fructueuse débutée il y a plus de 20 ans dans les domaines du contrôle, de l'analyse des données et de la maîtrise des incertitudes. Axé sur le diagnostic et le contrôle intelligent des systèmes, l'IRP ADONIS s'était fixé comme objectif de répondre aux différentes contraintes auxquelles les systèmes d'aujourd'hui sont soumis comme devoir fonctionner sur une durée de plus en plus longue, tout en respectant les critères de sécurité, d'efficacité et de respect de l'environnement.

Deux axes de recherche ont été développés « contrôle, tolérance aux fautes et diagnostic » et « décision, incertitude, traitement du signal et sûreté de fonctionnement » autour de quatre domaines d'ingénierie, à savoir, les systèmes de transport propres et intelligents, les systèmes biomédicaux, la robotique, et la mécatronique.

Une extension du programme avait été acceptée par le CNRS. Malheureusement, le renouvellement a reçu un avis défavorable par le Haut Fonctionnaire Défense Sécurité (HFDS), en raison du contexte géopolitique au Moyen-Orient.



### 3.4.3 Collaborations industrielles structurantes

#### Laboratoire commun SIVALab

Nous avons collaboré avec la direction à la recherche de Renault dans le cadre d'un laboratoire commun intitulé SIVALab (pour « Systèmes intègres pour le véhicule autonome ») avec comme champ de recherche les systèmes de localisation et de perception pour les véhicules autonomes, de mars 2017 à juin 2025 (huit ans avec un renouvellement à mi-parcours). Il était régi par une convention cadre Renault-CNRS qui définissait les conditions de propriété intellectuelle et d'exploitation des résultats. SIVALab a regroupé une vingtaine de membres. SIVALab aura été une expérience enrichissante et fructueuse (20 doctorants, 17 masters, 2 projets européens, 71 publications, 6 brevets, 11 logiciels et 4 jeux de données rendus publics).

#### Chaire industrielle Safe AI

Inaugurée en janvier 2022, la chaire industrielle en intelligence artificielle de confiance « Apprentissage prudent et robuste pour une intelligence artificielle plus sûre (SAFE AI) » est un programme de recherche sur 5 ans porté par Sébastien Destercke et soutenu financièrement via la Fondation UTC pour l'innovation par SOPRA STERIA, Warner Bros, l'université de technologie de Compiègne, le CNRS et SCAI (Sorbonne Center for Artificial Intelligence).

La notion d'IA de confiance regroupe plusieurs éléments : la transparence, l'éthique, l'explicabilité et enfin la sûreté et la robustesse. Elle nécessite de quantifier l'incertitude des prédictions, modèles et données pour garantir la fiabilité des systèmes d'IA. Celle-ci est primordiale dans beaucoup d'enjeux industriels et sociaux : détection de défauts industriels, détection d'obstacles pour un système de transport autonome, prédiction de conditions médicales d'un patient, ...

La chaire permet d'assurer un continuum entre la recherche académique et les débouchés applicatifs. Pour réaliser cet objectif, la chaire regroupe, en plus d'Heudiasyc, le laboratoire LMAC, spécialiste en mathématiques appliquées, et trois autres laboratoires de l'UTC porteurs de champs d'application en lien avec le projet scientifique de la chaire. Il s'agit de Roberval, spécialisé dans la mécanique et l'industrie 4.0, de BMBI, spécialisé dans la biomécanique et l'e-santé, et d'Avenues, spécialisé dans la ville intelligente et le génie urbain.

### 3.5 Partenariats régionaux

#### CPER RITMEA

La laboratoire est très impliqué dans ce CPER et porte depuis 2021 l'axe « automatisation des véhicules ». Ce programme est essentiellement axé sur l'achat d'équipements de recherche avec des ressources humaines associées pour la mise en œuvre.

#### Fédération TTM

Heudiasyc a rejoint en janvier 2026 la Fédération de Recherche « Transports Terrestres et Mobilités » (FRA 3733 <http://www.frttm.fr/>). Notre participation à la fédération TTM permet de « normaliser » notre présence dans le CPER RITMEA. Rejoindre la fédération TTM marque aussi notre attachement à la Région Hauts-de-France et au schéma régional de l'enseignement supérieur et de la recherche.



## 4. RESSOURCES HUMAINES

Sur l'année 2025, le laboratoire comptait de l'ordre de 135 membres, plus une vingtaine de stagiaires de master. La figure 4 présente les effectifs du laboratoire au 31 décembre 2025. On y compte 47 personnels permanents (31 enseignants chercheurs, 4 chercheurs CNRS, 12 ITA-BIATSS d'appui à la recherche). Globalement, 1/4 des personnels permanents sont CNRS. Les membres associés sont des enseignants du département de génie informatique (sans obligation de recherche), des ingénieurs de recherche de Renault qui participaient au laboratoire commun SIVALab ou encore des enseignants-chercheurs de l'UTC dont la contribution au projet scientifique de l'unité est jugée en devenir ou atypique, ce qui peut être dû par exemple à une situation personnelle ne permettant pas un engagement complet de la personne dans l'unité.



Journée annuelle du laboratoire de septembre 2025

Les équipes de recherche rassemblaient 96 personnes, en comptant les chercheurs, enseignants-chercheurs, post-doctorants et doctorants. La répartition en terme de permanents est globalement équilibrée comme le montre la figure 5, qui décline également la répartition en permanents et non-permanents. Cette dernière catégorie regroupe les personnels ayant pour vocation à faire de la recherche dans le cadre d'un projet de durée limitée. Ce sont essentiellement les doctorants et les post-doctorants.

Comme le montre la figure 6, plus de la moitié des permanents du laboratoire a moins de 50 ans. La tranche 46-50 ans est actuellement la plus importante. La tranche la plus âgée commence à être significative. C'est une évolution liée probablement à la réforme du régime des retraites.

En 2025, on comptait 24 HDR et 12 non HDR. La capacité d'encadrement doctoral du laboratoire est stable mais moindre qu'il y a quelques années (en 2013 par exemple, on comptait 30 membres HDR). Ceci est dû à des départs à la retraite et aux départs d'enseignants-chercheurs HDR.



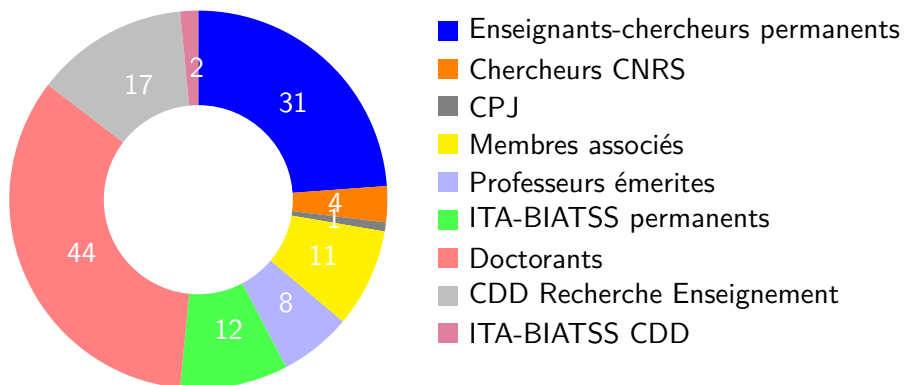


Figure 4 – Personnels du laboratoire au 31 décembre 2025



Figure 5 – Effectifs des équipes et répartition en permanents et non-permanents



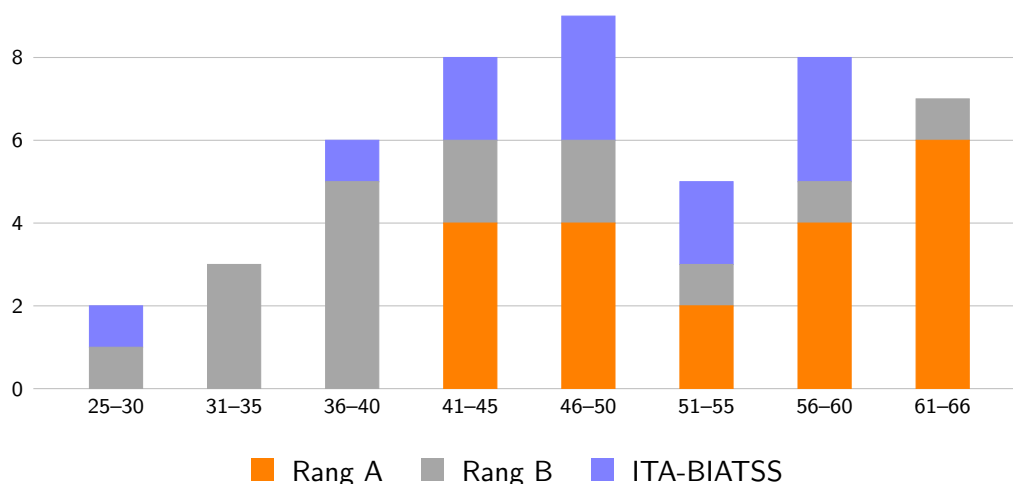


Figure 6 – Pyramide des âges des personnels permanents au 31/12/2025

### Zone à régime restrictif

L'unité est passée en zone à régime restrictif (ZRR) le 18 septembre 2017 avec 4 zones distinctes. L'accès dans une ZRR est strictement réglementé, qu'il s'agisse d'un accès physique ou virtuel (l'accès virtuel concerne l'accès interne ou externe via les réseaux informatiques de la ZRR). Les règles diffèrent selon que l'accès est sollicité pour plus de 5 jours (séjour) ou moins (visite). Le passage en ZRR a nécessité un travail important de mise en œuvre. Un système informatique a été développé par la direction des systèmes d'information (DSI) de l'UTC. C'est une charge de travail supplémentaire pour plusieurs assistantes qui doivent faire face aux nombreuses questions qui se posent au quotidien.

Un audit PPST (protection du potentiel scientifique et technique de la nation) et PSSI (politique de sécurité du système d'information) de la ZRR Heudiasyc a été réalisé en novembre 2021 par la délégation régionale du CNRS. Le rapport qui a été rédigé est très positif et a listé quelques points d'amélioration mineurs qui ont été traités.



## 5. SERVICES SUPPORT

### 5.1 Secrétariat général

Le secrétariat général assure la coordination et la gestion administrative et financière du laboratoire. En tant que service d'appui à la recherche, son objectif principal est d'orienter et d'accompagner les personnels scientifiques dans les démarches administratives. Il veille à l'application des procédures administratives et financières définies par les deux tutelles du laboratoire (recrutement, missions, congés, marchés publics, accueil des visiteurs, etc). Le secrétariat général conseille également les scientifiques sur le plan de la communication pour valoriser les travaux et renforcer la visibilité de l'unité, il contribue à la médiation scientifique et à l'organisation logistique de toute manifestation et action portée par le laboratoire. Le laboratoire Heudiasyc est le seul parmi les huit laboratoires de l'UTC à disposer d'un secrétariat général.

Le secrétariat général est dirigé par Olivia Toupet-Laborde (CNRS) qui est rattachée directement au directeur d'unité. Le service est structuré en quatre pôles :

- administration générale, ressources humaines,
- finances,
- communication,
- valorisation et contrats.

L'organigramme détaillé du secrétariat général au 31 août 2025 est donné sur la figure 7.

Le service est composé de 8 agents : 4 IT CNRS (1 ingénieure d'études, ingénieure de recherche CDD, 1 assistante ingénieur et 1 technicienne) et 4 BIATSS UTC (1 ingénieure d'études, 1 ingénieure d'études CDD, 1 assistante ingénieur et 1 technicienne). Il à noter que l'ingénieure transfert CNRS a quitté le laboratoire en septembre 2025. Elle sera remplacée en mai 2026 par un ingénieur d'études.

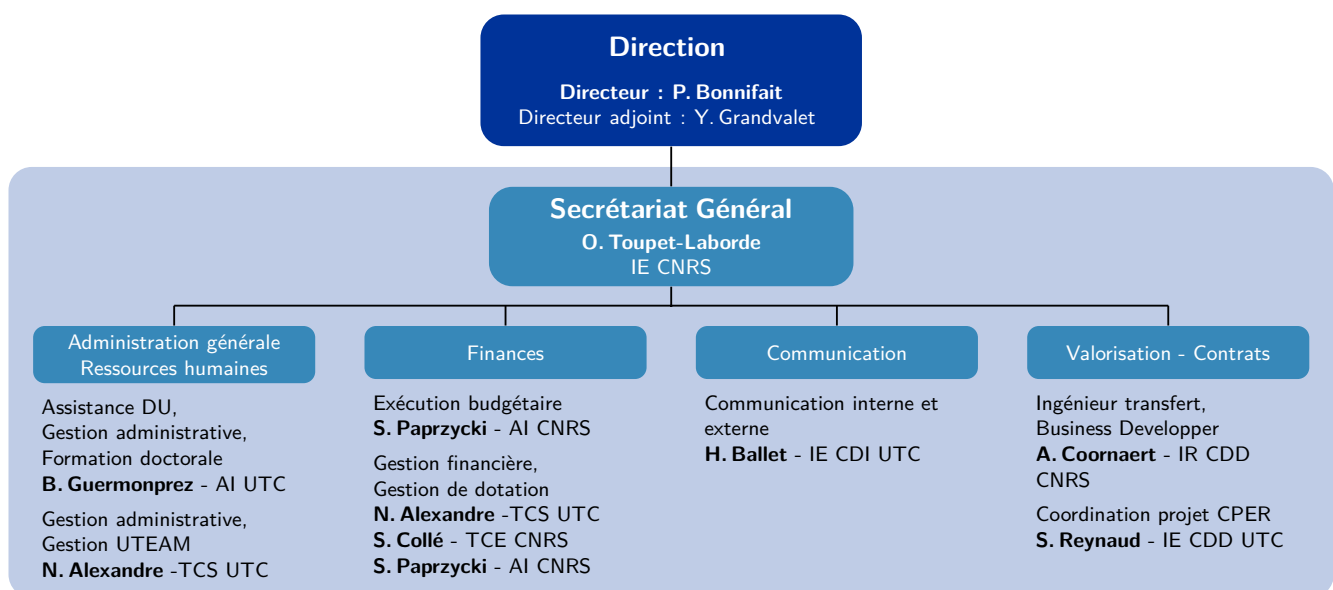


Figure 7 – Organigramme du secrétariat général au 31 août 2025



### 5.1.1 Pôle *administration générale, ressources humaines*

Le pôle assure trois missions principales :

**Ressources humaines** – coordination et suivi de recrutements des CDD, intégration des nouveaux agents, entretiens professionnels et suivi de carrières des agents, qualité de vie au travail, plan de formation d'unité (PFU), mise en place de la politique du handicap et de la parité-égalité, suivi administratif et logistique des stages de master ;

**Formation doctorale du laboratoire** – suivi des doctorants en étroite coordination avec l'École doctorale de l'UTC, assistance aux responsables de la formation doctorale de l'unité, appui à l'organisation des jurys de thèses, organisation du laboratoire, organisation des comités de suivi individuel RH, etc ;

**Gestion administrative** – conseils, mise en œuvre et veille sur les procédures en lien avec les tutelles, coordination et gestion de toute procédure liée à la ZRR (Zone à Régime Restrictif), contribution à la rédaction des rapports, évaluations, enquêtes, organisation logistique de colloques et de manifestations de l'unité, préparation des visites du laboratoire, création et animation du programme d'accueil de stages de 3<sup>e</sup>.

### 5.1.2 Pôle *finances*

Les ressources du laboratoire sont réparties en deux grandes lignes :

1. budget de fonctionnement général, dotations de base des tutelles,
2. ressources propres CNRS/UTC.

Les activités principales sont la contribution à l'élaboration du budget, le suivi de tableaux de bord permettant de produire la justification financière ou d'effectuer les suivis budgétaires, les entretiens budgétaires, la gestion courante, le suivi et prévision de dépenses, l'utilisation des cartes achat CNRS et UTC, le conseil financier auprès des membres du laboratoire lors du montage de projets, la gestion financière des projets scientifiques du laboratoire, l'élaboration des indicateurs financiers et le lien avec les services financiers des deux tutelles.

### 5.1.3 Pôle *communication*

Le laboratoire Heudiasyc est doté d'une chargée de communication à temps plein depuis 2009. Il s'agit d'un poste UTC. Tous les ans, le laboratoire alloue un budget pour mener les actions de communication prévues sur l'année à venir. La chargée de communication est placée sous la responsabilité hiérarchique de la secrétaire générale. Elle mène des actions selon un plan de communication annuel en s'alignant sur la politique de communication des deux tutelles. La chargée de communication est en contact étroit avec la direction de communication de l'UTC, de l'Institut des sciences de l'information et de leurs interactions, et de la délégation régionale du CNRS à Lille afin de définir les actions à entreprendre vis-à-vis de différents objectifs. Le pôle Communication est en charge de la mise en place d'une politique de communication interne et externe. La mission principale consiste à informer les membres du laboratoire des événements communs organisés au laboratoire ou portés par ses membres, fédérer les membres autour d'actions récurrentes ou ponctuelles (par exemple, journée du laboratoire ou accueil des nouveaux arrivants). Sur le plan externe, il s'agit d'informer les tutelles, les partenaires extérieurs et les médias sur l'activité du laboratoire, de participer à



la médiation scientifique auprès du grand public et de diffuser les résultats des travaux de recherche menés au laboratoire.

Pour remplir ses objectifs, la chargée de communication utilise plusieurs supports et outils : site internet, intranet, réseaux sociaux, écrans TV dans les bâtiments du laboratoire, vidéos. Parmi le support éditorial, il y a des affiches, brochures, dépliants et kakémonos. Une newsletter du laboratoire a été mise en place depuis l'automne 2021.

#### 5.1.4 Pôle *Valorisation - Contrats*

Le laboratoire dispose d'un pôle valorisation et contrats. Ce pôle stratégique est chargé de maximiser l'impact socio-économique des travaux scientifiques, tout en sécurisant juridiquement les partenariats et les résultats issus de la recherche. Ce pôle permet la valorisation de la recherche (identifier les résultats de recherche susceptibles d'être valorisés tels que brevets, logiciels et savoir-faire) et accompagne les chercheurs dans le dépôt de brevets ou protection de la propriété intellectuelle.

## 5.2 Plateformes technologiques

Le « Service plateformes technologiques » a pour mission essentielle d'assurer le bon fonctionnement des équipements informatiques, techniques et scientifiques du laboratoire afin que ceux-ci soient opérationnels et disponibles pour les besoins de recherche. En 2025, ce service a été structuré en 2 pôles :

- Pôle « Plateformes », qui coordonne et pilote l'exploitation des trois plateformes du laboratoire,
- Pôle « Soutien aux plateformes et à la recherche », en charge de la gestion de moyens informatiques de l'unité et qui assure un soutien sur des domaines d'expertise particuliers pour les plateformes et projets de recherche.

Tous les ingénieurs et techniciens, permanents et contractuels, sont intégrés au service. Celui-ci se composait au 31 décembre 2025 des membres permanents suivants : 3 ingénieurs de recherche CNRS (dont 1 CDD), 2 ingénieurs de recherche UTC, 1 ingénieur d'études CNRS, 1 assistant ingénieur CNRS. Il est à noter qu'un ingénieur de recherche CNRS a été titularisé en décembre 2025.

L'organigramme détaillé du service plateformes technologiques au 31 décembre 2025 est donné sur la figure 8.

### 5.2.1 Pôle Plateformes

Le pôle plateformes assure un soutien technique aux membres du laboratoire et à leurs partenaires, et forme sur l'utilisation des équipements. Chaque plateforme est coordonnée par un responsable technique et un responsable scientifique.

**Plateforme Robotique** La plateforme est constituée d'un environnement logiciel comprenant un simulateur de vol de drone aérien (développé en interne), de plusieurs démonstrateurs (octorotors conçus au sein de l'unité et drones commerciaux), et de deux arènes de vol, intérieure (avec capture de mouvement) et extérieure.

**Plateforme véhicules intelligents** La plateforme offre principalement du soutien technique et scientifique sur les activités de perception multi-capteurs de l'environnement, de



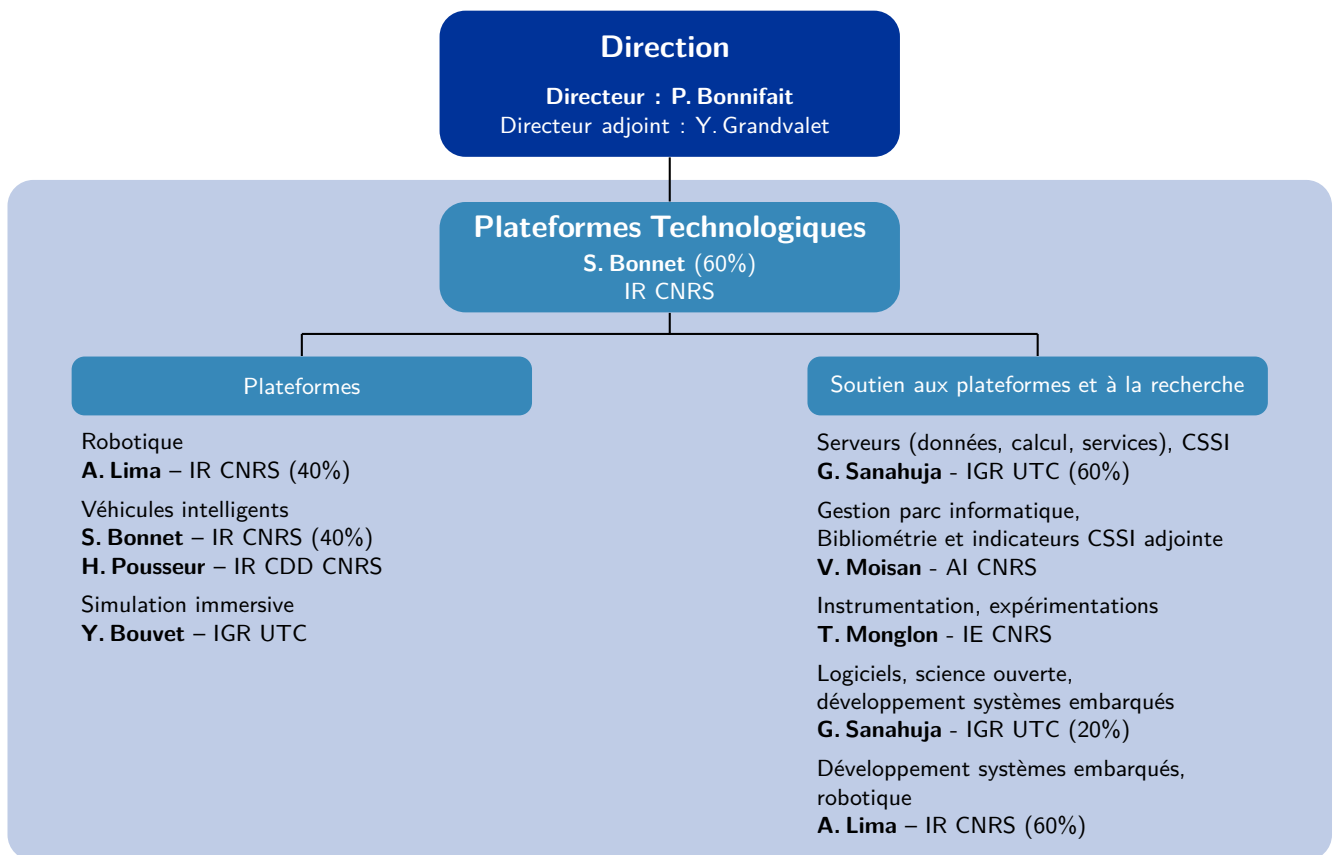


Figure 8 – Organigramme du service plateformes au 31/12/2025



localisation sûre, précise et intègre, de navigation robotique, de contrôle commande et de communication V2X (V2V véhicule à véhicule ou V2I véhicule à infrastructure). La plateforme Véhicules Intelligents se compose actuellement de 5 véhicules instrumentés (dont 2 sont autonomes), d'un banc d'essai VIL (« Vehicle In the Loop »), de logiciels de prototypage et de moyens d'essais (piste et infrastructure communicante).

**Plateforme *Simulation immersive*** Elle comprend plusieurs équipements de support des activités de recherche en interaction homme-machine. Un poste de supervision ferroviaire est le support de démonstrations pratiques de différents travaux de recherche, notamment sur les interactions homme-machine et l'influence du facteur humain dans l'exploitation et la supervision ferroviaire. Il est composé d'un simulateur de conduite, d'un simulateur de supervision de trafic ferroviaire et d'un simulateur de train autonome. La plateforme dispose aussi d'un CAVE et de casques de RV. Ce CAVE peut être configuré de 2 manières différentes : en cube avec projection sur trois faces et au sol ; en rectangle avec projection sur deux faces et au sol.

## 5.2.2 Pôle Soutien aux plateformes et à la recherche

Ce pôle assure plusieurs missions : la gestion des moyens informatiques individuels des membres de l'unité, le maintien de la base bibliographique de l'unité et la gestion des moyens informatiques spécifiques aux recherches de l'unité. Les moyens informatiques communs (mails, services web, impression, etc.) sont principalement gérés par la DSI de l'UTC, avec laquelle le pôle collabore dès que nécessaire.

**Moyens informatiques individuels** Ces activités gèrent l'achat, l'installation, la mise en inventaire, le chiffrement et le le dépannage des postes de travail informatiques des membres de l'unité.

**Base bibliographique, indicateurs** Le pôle est responsable de la base bibliographique (sur HAL) de l'unité. Il participe également à la production d'indicateurs de pilotage (RH, suivi de projets..) en collaboration avec le secrétariat général de l'unité.

**Moyens informatiques communs spécifiques recherche** Le pôle gère certains moyens informatiques qui sont propres à la recherche de l'unité : serveurs de calcul CPU, serveurs de calcul GPU, mise en place de services web dédiés. Il administre également quelques services communs qui ne sont pas proposés par la DSI (service de tchat, service d'édition collaborative L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X, service de gestion des licences). Enfin, le pôle informatique travaille en collaboration avec la DSI pour gérer les données de l'unité, qui sont hébergées par la DSI. Tous ces services sont mis en place et maintenus en suivant les règles et bonnes pratiques de la sécurité des systèmes d'information grâce notamment à un CSSI et à un adjoint qui s'en assurent.

**Appui** Le pôle regroupe des agents dont les compétences peuvent servir différentes plateformes et/ou projets de recherche de l'unité. Cela couvre essentiellement les domaines suivants : systèmes embarqués, systèmes temps réel, systèmes d'exploitation, réseaux, sûreté de fonctionnement, calcul scientifique, instrumentation, expérimentations. Le pôle appui dispose d'un atelier d'électronique et d'un atelier de mécanique communs à toutes les plateformes.



## 6. FORMATION PAR LA RECHERCHE

### 6.1 Doctorants

Les doctorants d'Heudiasyc sont inscrits à l'École Doctorale (ED) unique de l'UTC, ED71 « Sciences pour l'Ingénieur ». Certains membres de l'unité co-encadrent des doctorants inscrits dans d'autres universités, notamment à l'étranger. Tous les doctorants inscrits à l'ED de l'UTC doivent bénéficier d'un financement pour la durée de la thèse. L'ED a mis en place des responsables de formation doctorale (RFD) dans les unités de recherche de l'UTC depuis plusieurs années. Véronique Cherfaoui assure actuellement cette fonction avec l'assistance de Mylène Masson. Leur rôle consiste à assurer le suivi des doctorants (notamment via les CSI RH de l'ED de l'UTC), à participer aux règles d'attribution des contrats doctorants de l'UTC et à participer aux auditions de recrutement. Une commission de recrutement, composée de membres de l'ED, des RFD et des ressources humaines de l'établissement, auditionne les candidats pré-sélectionnés par le directeur de thèse, pour tout type de financement à l'exception des contrats industriels, où le recrutement se fait en accord avec l'entreprise, et des bourses de pays étrangers. Il est à noter que le CNRS utilise un portail emploi pour le recrutement des CDD et des doctorants suite à la mise en œuvre du label HRS4R en 2018 (ce label est déjà en place à l'UTC depuis 2016 et a été renouvelé début 2023).

Concernant l'accompagnement des doctorants durant leur thèse, deux types de comités de suivi individuel (CSI) sont organisés : un CSI scientifique et un CSI « ressources humaines ». Ces derniers sont organisés par les RFD, l'assistante de la formation doctorale et le directeur adjoint. Les CSI scientifiques impliquent deux enseignants-chercheurs externes à l'encadrement, internes ou externes à l'établissement.

Au 31 décembre 2025, le laboratoire comptait 44 doctorants répartis comme indiqué sur la figure 9.

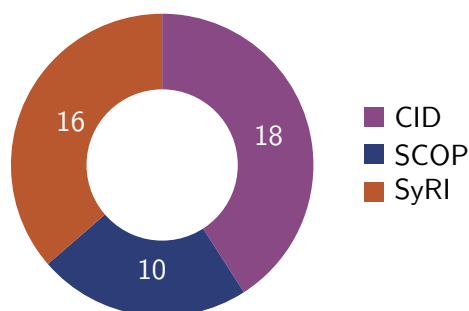


Figure 9 – Répartition par équipe des doctorants inscrits en 2025

La figure 10 présente l'évolution des nouvelles inscriptions en thèse et des soutenances depuis 2023. Le nombre de doctorants est relativement constant depuis 2018. Le passage en ZRR du laboratoire avait eu un impact sur le recrutement des doctorants étrangers (notamment les boursiers CSC chinois qui ne sont plus autorisés, sauf cas particulier).

### 6.2 Durée des thèses de doctorat et financements

La médiane de la durées des thèses est de 3,3 années (40 mois), comme l'indique la figure 11. La durée des thèses est dans l'ensemble bien contrôlée grâce au suivi effectué notamment annuellement à travers les CSI. Pour les thèses qui dépassent la durée du contrat



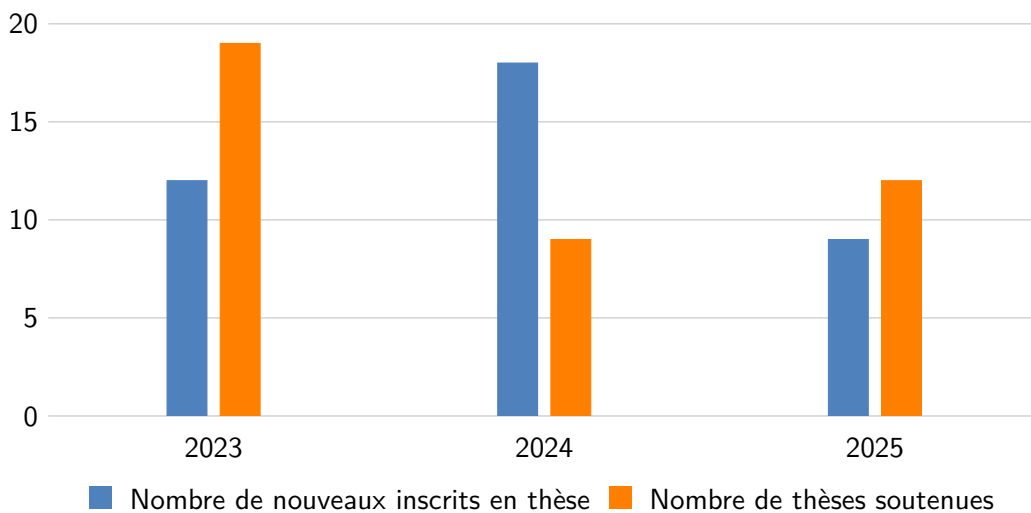


Figure 10 – Nombre de doctorants par année civile

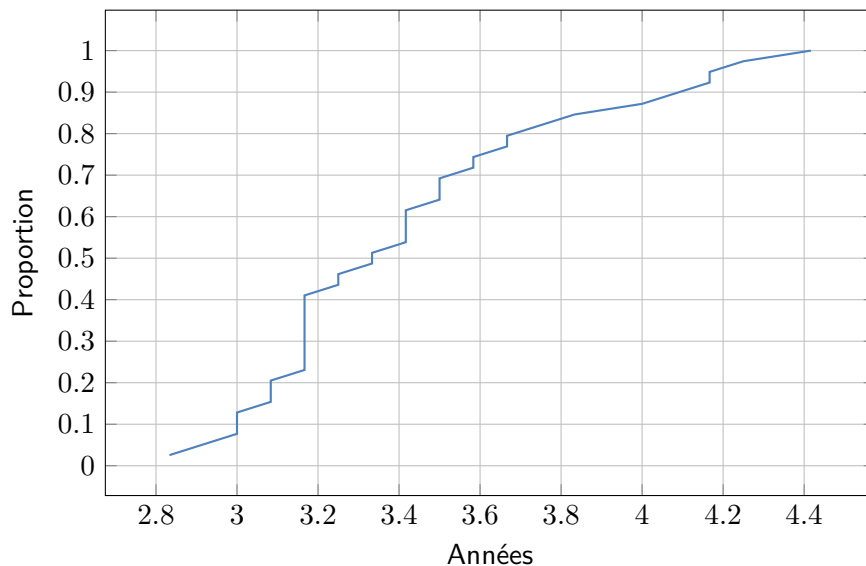


Figure 11 – Distribution cumulée de la durée des thèses (en années) de 2023 à 2025

doctoral, nous sommes vigilants à ce que tous les doctorants soient financés jusqu'à la fin de la rédaction de leur manuscrit.

Les trois principales sources de financement des contrats doctoraux sont les collaborations industrielles (conventions Cifre), les allocations ministérielles et les allocations sur projet ANR, comme le montre la figure 12. Les bourses de gouvernements étrangers sont actuellement une source de financement importante. La part des financements régionaux reste faible (avec uniquement des demi-financements de thèse, soit actuellement 4 en cours).

### 6.3 Origine et nationalité des doctorants

La part des doctorants de nationalité française est très majoritaire (depuis 6 ans) et on observe une proportion élevée de doctorants provenant de l'UTC avec un flux significatif qui se maintient depuis plusieurs années. La figure 13 indique les nationalités des doctorants.



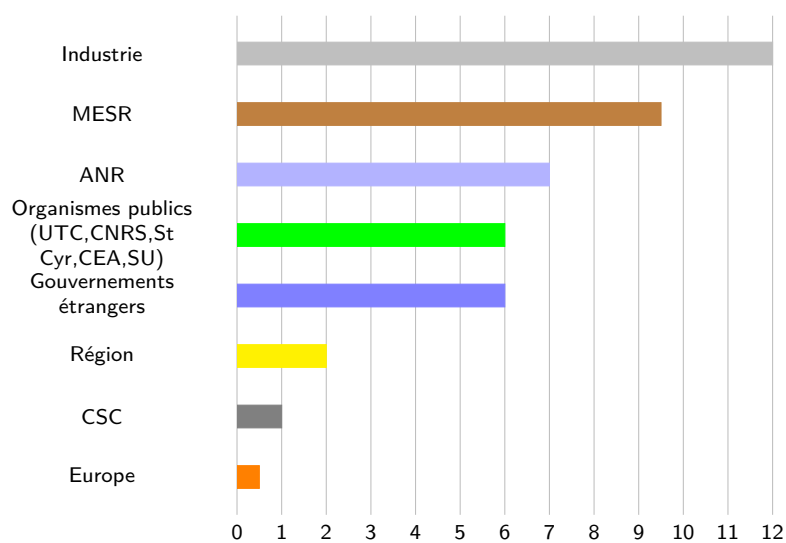


Figure 12 – Sources de financement des thèses en cours au laboratoire au 31/12/2025

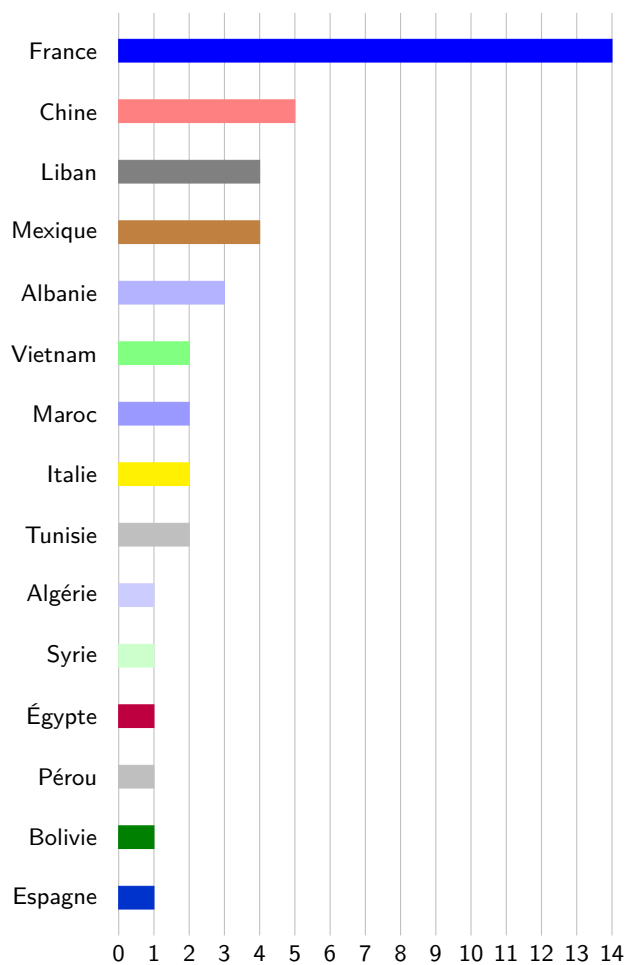


Figure 13 – Nombre de doctorants par nationalité au 31/12/2025



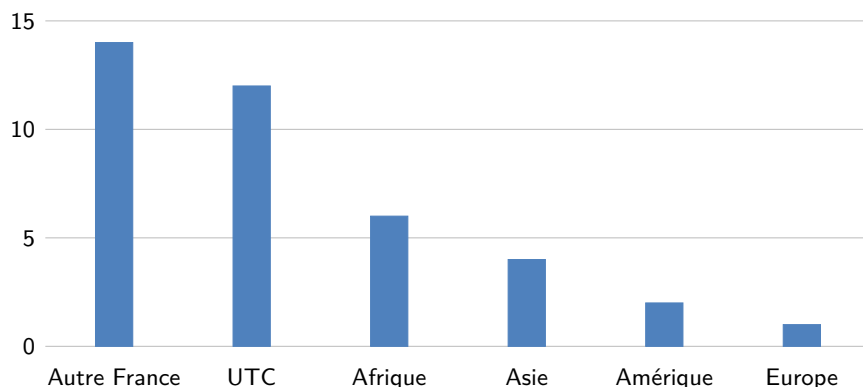


Figure 14 – Origine des diplômés de masters depuis 2023.

La figure 14 témoigne de la diversité des formations de master d'origine des doctorants ayant soutenu ou préparant une thèse depuis 2023. Le nombre de doctorants chinois s'est stabilisé à un niveau faible en raison des contraintes ZRR assez strictes avec la Chine.

## 6.4 Masters

Les enseignants-chercheurs du laboratoire participent essentiellement à la formation d'ingénieur en informatique de l'UTC, en formation initiale et en formation par alternance. Ils sont aussi impliqués dans la formation continue via des modules de formation dédiés aux entreprises et dans le mastère spécialisé « systèmes de transports ferroviaires et urbains ».

Deux parcours de la mention du master « ingénierie des systèmes complexes » (ISC) mobilisent particulièrement les enseignants-chercheurs du laboratoire :

- Automatique et Robotique des Systèmes intelligents (ARS)
- Apprentissage et Optimisation des Systèmes complexes (AOS)

Depuis plusieurs années, ces parcours rencontrent un vif succès. Le parcours AOS fait le plein d'étudiants grâce notamment aux élèves inscrits dans le master ERASMUS Mundus ESME.

Un autre volet important de la formation par la recherche est l'accueil des stagiaires de niveau master en particulier pour leurs projets de fin d'études (PFE). Au cours de l'année 2025, 21 stagiaires ont réalisé leur PFE au laboratoire.

## 7. RESSOURCES FINANCIÈRES

### 7.1 Bilan 2025

**Soutien de base des tutelles** Les deux tutelles du laboratoire (CNRS et UTC) apportent annuellement un soutien de base pour le fonctionnement commun de l'unité. Le budget prévisionnel et sa répartition sont présentés et votés au conseil de laboratoire du mois de février, lorsque les dotations des tutelles sont connues.

**Budget consolidé** Le budget consolidé du laboratoire en 2025 atteignait presque 9 M€. Ce budget comprend le soutien de base (CNRS et UTC), les salaires des personnels permanents et temporaires, les contrats et projets et les équipements de recherche du contrat



de plan état-région (CPER). Entre 2024 et 2025, on peut noter une augmentation de près d'1,1 M€ notamment liée à l'augmentation des ressources propres du laboratoire (programmation CPER 2025, nouveaux projets ANR et participation du laboratoire à 3 projets du cluster IA PostGenAI@Paris, porté par l'Alliance Sorbonne Université).

**Ressources propres du laboratoire** Sur l'année 2025, on a compté 70 projets en cours pour un montant notifié total de ressources propres de 1,9 M€.

## 8. ENGAGEMENTS SOCIÉTAUX DE L'UNITÉ

### 8.1 Actions pour l'égalité femmes-hommes

En 2020, la Mission pour la Place des Femmes au CNRS crée un réseau de correspondant·es égalité (COREGAL) dans les unités de recherche. La personne référente du laboratoire Heudiasyc est Hélène Ballet. Signalons que Marie-Hélène Abel (directrice du département de génie informatique) est la référente égalité de l'UTC.

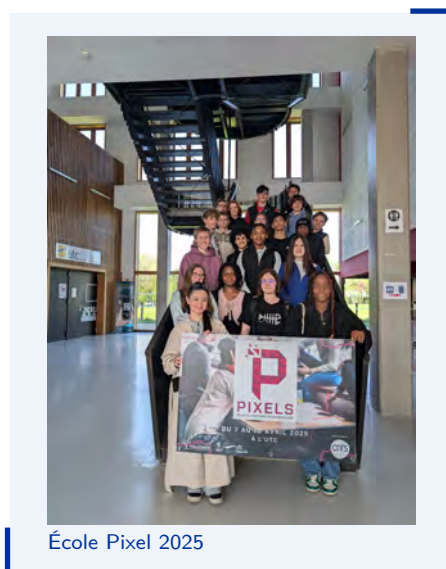
Le rôle du COREGAL est de :

- Participer au réseau régional des correspondant·es égalité pour s'informer, partager les actualités du domaine, et des exemples de bonnes pratiques ;
- Faire connaître et diffuser les éléments du plan d'action et plus largement de la politique égalité portée par la délégation au sein des unités ;
- Sensibiliser aux objectifs du plan d'action l'ensemble des personnels de l'unité ;
- Faire remonter auprès des DU d'éventuelles difficultés d'application des dispositifs et/ou des actions ;
- Transmettre les cas complexes ou diriger les personnes en situation complexe vers les bons interlocuteurs.

Deux actions ont été menées en 2024 et 2025 sur les aspects égalité femme-homme.

La première a été la réalisation d'une vidéo DDRS « Développement durable et responsabilité sociétale » en 2024 de l'unité, intégrant une partie sur les actions organisées dans le cadre de la parité [Voir la vidéo](#).

La deuxième, en 2025, a été l'organisation de la seconde édition de l'école en informatique PIXELS, qui s'est déroulée au printemps, et qui a réuni 20 lycéennes et lycéens souhaitant découvrir les sciences informatiques. Ces deux actions ont été menées grâce au soutien du CNRS Sciences Informatiques, dans le cadre des appels uniques 2023 et 2024.



École Pixel 2025



## 8.2 Diffusion scientifique à destination du grand public

Le laboratoire participe chaque année à la fête de la science, en particulier dans le « village de la technologie » qui se tient à l'UTC tous les ans au mois d'octobre. Nous participons à des stands de démonstration pour des scolaires et pour le grand public (par exemple sur les mini-drones aériens, la sécurité informatique, etc.).

Le laboratoire accueille également des élèves de 3<sup>e</sup> dans le cadre de leur stage d'observation. En février et décembre 2025, 20 élèves ont ainsi pu découvrir les métiers de la recherche. Afin d'accueillir davantage de stagiaires et de proposer un aperçu plus complet de la recherche à l'UTC, Heudiasyc a mis en place une collaboration avec d'autres laboratoires de l'UTC (GEC et Roberval).



Stagiaires de 3<sup>e</sup> en 2025

En décembre 2024 et 2025, nous avons participé aux nuits de la recherche à l'UTC qui ont consisté à accueillir dans les laboratoires des élèves ingénieurs de l'UTC intéressés par la recherche.

## 9. FAITS MARQUANTS

### Année 2024

#### ■ Préparation du nouveau quinquennal

Pour l'élaboration du nouveau projet de l'unité, nous avons procédé selon une double approche « Bottom-Up » et « Top-Down ». D'octobre à novembre 2023, nous avons collecté les propositions des enseignants-chercheurs. Trois EC ont été mandatés pour réaliser en parallèle des prospectives « Top-Down ». Un séminaire résidentiel a été organisé en janvier 2024 pour définir collégialement le projet d'unité.



Séminaire résidentiel à Chantilly

- Accueil du workshop régional RITMEA sur les **véhicules intelligents** en mai 2024.
- Accueil de la revue finale du projet européen **ERASMO** et démonstration sur piste de la solution de navigation autonome (juin 2024).
- Accueil de la première promotion du **Master Erasmus Mundus** (Master in Sustainable Systems Engineering - EMSSE, [Accès au site web ici.](#)).
- Organisation du premier **rendez-vous de l'IA** sur le transport et la perception (septembre 2024).
- **Évaluation HCERES**. Visite du comité en octobre 2024 et publication du rapport d'évaluation du laboratoire en novembre 2024.



## Année 2025

- Avis très favorable des sections 6 et 7 du CoNRS puis du CNRS pour le **renouvellement de l'UMR Heudiasyc** sur la période 2026–2030. auprès des jeunes chercheurs (CPJ, CR CNRS).
- Démarrage des projets PostGenAI du **Cluster IA**.
- Formation prévention et sécurité de tous les membres de l'unité via la plateforme NEO du CNRS.
- Organisation de la conférence internationale IEEE CSCWD à l'UTC et IEEE SOSE à Tirana
- Dialogue Objectifs Ressources (DOR) (18 septembre 2025) avec les tutelles pour échanger sur les objectifs stratégiques sur les 5 années à venir.
- Création d'une cellule Qualité de Vie et des Conditions de Travail (QVCT).
- Organisation de l'École de printemps PIXELS.
- Organisation d'un rendez-vous de l'IA à l'UTC sur l'industrie du futur.

## 10. CONCLUSION

---

Ce chapitre a présenté globalement l'unité, son environnement, son projet scientifique et ses ressources humaines et financières. Les chapitres suivants se focalisent sur chacune des équipes et dressent un bilan scientifique sur les années 2024 et 2025.



# CID

## Connaissances, Incertitudes, Données

### 1. DESCRIPTION DE L'ÉQUIPE

---

#### Objectifs scientifiques

L'équipe CID regroupe les compétences du laboratoire qui sont directement convoquées par les problématiques de l'intelligence artificielle. Les recherches menées dans CID portent sur la gestion des incertitudes, l'apprentissage statistique et l'ingénierie des connaissances, en faisant appel à des formalismes très divers. L'objectif principal de l'équipe consiste à développer des formalismes, des méthodes et des systèmes pour le traitement d'informations et de connaissances en lien avec l'humain, qu'il soit prescripteur ou utilisateur du système.

Le projet de l'équipe prévoit une articulation des travaux de recherche suivant trois axes scientifiques principaux : « apprentissage automatique et statistique », « raisonnement et incertitudes », et « adaptation et personnalisation des systèmes ».

- L'axe « apprentissage automatique et statistique » regroupe les activités de recherche portant sur l'apprentissage machine au sens large : apprentissage par transfert, quantification des incertitudes, apprentissage à partir de données imparfaites, explication des modèles ou de leurs sorties, prise en compte de connaissances à priori (physiques, expertes).
- L'axe « raisonnement et incertitudes » comprend la planification, la décision (multi-critère, sous incertitude), la fusion d'information, les travaux sur les théories de l'incertain pour lesquelles les compétences de l'équipe sont largement reconnues (fonctions de croyance, probabilités imprécises), les langages logiques (logique épistémique, logiques non-monotones, logique de description), la représentation et la capitalisation de connaissances.
- L'axe « adaptation et personnalisation des systèmes » correspond notamment aux activités de recherche sur l'identification des préférences et profils utilisateurs, la prise en compte du contexte au travers d'une modélisation ontologique, la replanification et la révision, la formulation d'explications personnalisées, la scénarisation d'environnements virtuels et la modélisation d'agents cognitifs.



## Membres

Au 31 décembre 2025, l'équipe regroupait 41 personnes, dont 12 permanents (10 enseignants-chercheurs et 2 chercheurs), 1 ECC et 1 CPJ, 5 enseignants-chercheurs émérites, 2 post-doctorants, 2 ATER et 18 doctorants ; elle comptait également trois membres associés. Le responsable est Benjamin Quost, et le responsable adjoint Sébastien Destercke. Le tableau 1 résume la composition de l'équipe en termes de « cadres » (permanents et ECC).

Table 1 – Membres de l'équipe CID

Nom	Prénom	Statut	2024	2025
<b>Permanents<sup>1</sup> (14 membres)</b>				
<b>Abel</b>	Marie-Hélène	PR	■	■
<b>Denœux</b>	Thierry	PR	■	■
<b>Destercke</b>	Sébastien	DR CNRS	■	■
<b>Gilet</b>	Cyprien	MCF	■	■
<b>Grandvalet</b>	Yves	DR CNRS	■	■
<b>Ktari</b>	Raida	MCF		■
<b>Lagrué</b>	Sylvain	PR	■	■
<b>Leger</b>	Jean-Benoist	MCF	■	■
<b>Lourdeaux</b>	Domitile	PR	■	■
<b>Masson</b>	Marie-Hélène	MCF <sup>2</sup> HDR	■	■
<b>Messoudi</b>	Soundouss	ECC CDD	■	■
<b>Nguyen</b>	Vu-Linh	CPJ	■	■
<b>Quost</b>	Benjamin	PR	■	■
<b>Rousseau</b>	Sylvain	MCF	■	■
<b>Belahcene</b>	Khaled	MCF <sup>3</sup>		■
<b>Émérites (5 membres)</b>				
<b>Barthès</b>	Jean-Paul	ECC HDR	■	■
<b>Govaert</b>	Gérard	PR	■	■
<b>Lenne</b>	Dominique	PR	■	■
<b>Moulin</b>	Claude	MCF	■	■
<b>Morizet</b>	Pierre	PR	■	■
<b>Associés (3 membres)</b>				
<b>Abdelmalek</b>	Nader	EC		■
<b>Bounia</b>	Louenas	MCF <sup>4</sup>	■	■
<b>Trigano</b>	Philippe	PR	■	■

<sup>1</sup>Inclus ECC CDD et CPJ (non-permanents longue durée)

<sup>2</sup>Université de Picardie Jules Verne

<sup>3</sup>En disponibilité depuis 2023.

<sup>4</sup>Université Paris 13, laboratoire d'informatique de Paris nord (LIPN)

Les enseignants-chercheurs relèvent des sections 27 et 61 du CNU, et les chercheurs CNRS des sections 2 et 3 du comité national du CNRS. L'équipe compte 7 membres de rang A (5 PR, 2 DR) et 7 de rang B (5 MCF, 1 ECC, 1 CPJ), dont 1 MCF titulaire d'une habilitation à diriger des recherches.



## Responsabilités locales significatives

- M.-H. Abel est directrice du département génie informatique (GI) de l'UTC. Elle assure par ailleurs les missions de « référente égalité » et « référente racisme-antisémitisme » à l'UTC.
- J.-P. Barthès est référent « éthique et intégrité scientifique » à l'UTC.
- T. Denœux est vice-président du conseil scientifique de l'UTC, et président du conseil d'orientation scientifique et stratégique du laboratoire Heudiasyc. Il a de plus été directeur de la fédération de recherche SHIC (jusqu'à fin 2025).
- S. Destercke est responsable adjoint de l'équipe CID (responsable jusqu'en décembre 2024).
- C. Gilet est « co-référent développement durable » du laboratoire.
- Y. Grandvalet est directeur adjoint du laboratoire Heudiasyc.
- S. Lagrue est co-responsable de la formation par apprentissage au département GI de l'UTC.
- D. Lourdeaux est responsable de la filière « intelligence artificielle et science des données » (IAD) du département GI.
- M.-H. Masson est responsable adjointe de la formation doctorale au laboratoire. Elle est membre élue au conseil de l'unité, membre de la cellule « Qualité de vie et conditions de travail » (QVCT) du laboratoire, et responsable du classement et de la validation HAL des publications de l'équipe. Elle est par ailleurs directrice des études au département Gestion des Entreprises et des Administrations de l'IUT de l'Oise à Beauvais.
- B. Quost est responsable de l'équipe CID (responsable adjoint jusqu'en décembre 2024). Il est membre du conseil de l'unité. Il est par ailleurs responsable pédagogique du parcours AOS du master Erasmus mundus EMSSE porté par l'UTC.
- S. Rousseau est responsable de l'axe transversal « IA, apprentissage, et optimisation » du laboratoire.

## Formation par la recherche

Le tableau 2 dénombre l'ensemble des personnels temporaires du laboratoire encadrés par un membre permanent de l'équipe en 2024 et 2025 : les décomptes sont effectués en décembre.

Au 31 décembre 2025, 18 thèses étaient rattachées principalement à l'équipe, une autre thèse étant rattachée principalement à une autre équipe du laboratoire (équipe SyRI). Les membres de l'équipe ont par ailleurs participé à l'encadrement de 4 thèses, soit rattachées à un autre laboratoire de l'UTC (deux avec Roberval) soit à des établissements extérieurs (Université de Sfax et Agro Paris Tech/INRAE). Les thèses rattachées à l'équipe ont été financées via des conventions CIFRE (3 supports), des allocations du ministère (4,5 supports), des contrats ANR (4 supports), des financements d'organismes de recherche publics (3 supports), de contrats industriels (0,5 support) et étrangers (3 supports).

Les membres de l'équipe sont fortement impliqués dans les cours du master de l'UTC et notamment ceux relevant de la mention « Ingénierie des systèmes complexes » (ISC) : ils assurent la responsabilité de quatre des six cours du parcours « Apprentissage et optimisation des systèmes complexes ». Par ailleurs, les membres de l'équipe sont ponctuellement impliqués dans des écoles thématiques internationales (voir section 4). Enfin, Pierre Morizet est activement impliqué dans le programme SFRI de l'alliance Sorbonne université (organisation et coordination des stages master et des bourses de mobilité internationale, participation aux comités de pilotage des instituts et initiatives, du collège des licences et master, de l'assemblée des structures).



Table 2 – Effectifs en membres temporaires de l'équipe CID

	2024	2025
<b>Stagiaires master</b>	6	1,5
<b>Thèses en cours</b>	15	18
<b>Post-Doc/ATER</b>	5	4
<b>Thèses soutenues</b>	3	3
<b>Thèses abandonnées</b>	0	1

## 2. AVANCEMENT SCIENTIFIQUE

La présentation de l'avancement scientifique de l'équipe CID sur les années 2024 et 2025 est structurée à partir des axes scientifiques définis lors du contrat précédent, le nouveau contrat n'ayant commencé qu'en 2026.

### 2.1 Traitement des connaissances et des données

Cet axe regroupe les problématiques liées aux aspects amont du traitement des connaissances et des données. L'équipe s'attache à produire des formalismes, des modèles et des algorithmes manipulant ces connaissances et ces données. Elle est notamment fortement impliquée sur la thématique de la modélisation des incertitudes dans des cadres théoriques non probabilistes (théories des probabilités imprécises, des fonctions de croyance et des possibilités). L'un des enjeux des recherches est de représenter avec cohérence des informations, connaissances et modèles hétérogènes entachés d'incertitudes.

#### 2.1.1 Apprentissage statistique

**Classification non supervisée** La classification croisée consiste à partitionner simultanément les lignes et les colonnes d'un tableau de données. Dans la suite du travail de modélisation réalisé lors de la thèse de G. Frisch soutenue en 2021, des algorithmes d'inférence efficaces ont été développés par J.-B. Leger et Y. Grandvalet, permettant d'effectuer une classification croisée sur des matrices binaires creuses de grande dimension.

Avec T. Nguyen-Mau et V.-N. Huynh (JAIST, Japon), V.-L. Nguyen a étudié la manière d'accélérer l'algorithme des  $K$ -modes, une variante de l'algorithme des  $K$ -means pour les données catégorielles, en utilisant l'inégalité triangulaire [Ngu24, Cl]. Cette étude pourrait être étendue à d'autres algorithmes de partitionnement pour les données catégorielles.

**Apprentissage de modèles graphiques** Dans le cadre de la thèse de T.-H. Do (co-encadrée par Y. Grandvalet et V.-L. Nguyen), un modèle de graphe hybride pour les données mixtes (variables discrètes et continues) a été proposé. Ce modèle, intermédiaire entre génératif et discriminant, modélise les probabilités de toutes les variables discrètes conditionnellement aux variables continues et permet une inférence exacte lorsque des variables discrètes sont manquantes. Les applications visent la prédiction en discrimination multi-dimensionnelle ou multi-étiquette avec données incomplètes.

**Classification multi-étiquette** Au sein de la thèse de S. Madrigal et dans le cadre du projet ANR DMC, le principe d'équilibrage des classes a été appliqué aux problèmes multi-



étiquettes, en collaborations avec C. Gilet, V.-L. Nguyen et S. Destercke ont proposé un cadre combinant les chaînes de classifieurs probabilistes avec une stratégie d'apprentissage minimax, permettant d'équilibrer les taux de faux positifs et faux négatifs en présence d'un fort déséquilibre entre les classes [Mad25, CI, Mad24, CI].

**Apprentissage pour la vision** La thèse Cifre de G. Cornejo Urquieta (co-dirigée par Y. Grandvalet et J. Moreau de l'équipe SyRI, avec Ampere) porte sur la prise en compte des incertitudes de perception pour la décision dans les systèmes d'aide à la conduite. Une première étude a mis en avant l'intérêt de métriques spécifiques à l'application : le critère classique de recouvrement en pixels (IoU) n'est pas suffisamment aligné avec l'erreur sur la distance à l'objet, plus pertinente pour la conduite [CU25, CI].

Y. Grandvalet, dans le cadre de la thèse de P. Carvalho (co-encadrée avec A. Durupt, laboratoire Roberval, UTC, soutenue en novembre 2024), a étudié la détection automatique de défauts visuels par méthodes non-supervisée (détection d'anomalies). Elle a permis notamment de mettre à la disposition de la communauté un jeu de données recueilli en milieu industriel réel pour l'évaluation de la détection d'anomalies [Car24, RI].

L'équipe a par ailleurs développé des travaux sur la prédiction conforme basée sur les copules. Dans le cadre de la thèse de B. Cyusa Mukama, encadrée par Sylvain Rousseau, Soundouss Messoudi et Sébastien Destercke, des approches exploitant les copules hiérarchiques et des régions de prédiction emboîtées ont été proposées, permettant de produire des boîtes englobantes mieux ajustées pour la détection d'objets tout en garantissant une validité exacte de la couverture prédictive [CM25, CI, CM24, CI]. Ces travaux ont été étendus au cas de sorties fonctionnelles (issues par exemple d'équations aux dérivées partielles) via le plongement dans un espace fini de paramètres et l'utilisation de zonotopes (polytopes invariants aux transformations linéaires) conformes [Gra25, CI]. Les travaux menés actuellement explorent les pistes permettant d'appliquer la prédiction conforme à l'apprentissage multitâche (où la prédiction est multivariée et hétérogène).

**Apprentissage pour l'agronomie** J.-B. Leger a poursuivi ses travaux sur l'apprentissage par transfert appliqué aux modèles statistiques de prédiction génomique, en collaboration avec J. Chiquet (INRAE, MIA-PS) et T. Mary-Huard (INRAE, MIA-PS et GQE-Le-Moulon). Il participe à l'encadrement de F. Victor, doctorant (INRAE, MIA-PS). Une thèse devrait par ailleurs être réalisée en collaboration avec l'INRAE (UMR MaiAGE) sur les représentations de l'espace latent via des *normalizing flows*, dans le cadre du projet ANR PRC AgriCoolTools (porté par J.-B. Leger pour Heudiasyc).

### 2.1.2 Apprentissage de modèles hybrides

L'équipe s'intéresse à l'apprentissage intégrant des éléments de connaissance supplémentaires, comme par exemple des informations spécifiées par des experts.

**Apprentissage de données structurées** La discrimination hiérarchique supervisée est une extension de la discrimination multiclassées, dans laquelle les classes à prédire sont structurées selon une arborescence prédéfinie. N. Urbani, S. Rousseau et Y. Grandvalet ont développé des approches visant à éviter les erreurs les plus grossières (confusion de classes éloignées de la hiérarchie), basées sur l'exploitation de familles paramétrées d'arbres valués et l'introduction de nouvelles métriques [Urb24, CI].



**Modèles probabilistes et contraintes** La collaboration avec l'université de technologie d'Eindhoven s'est poursuivie dans le cadre de la thèse de S. Ghandi (direction C. P. de Campos, co-encadrement B. Quost). Par ailleurs, l'intégration de contraintes logiques propositionnelles probabilistes dans les circuits probabilistes a été étudiée selon plusieurs approches, visant à les rendre plus robustes ou équitables [Gha24, CI, Gha25b, CI, Gha25a, CI].

### 2.1.3 Modélisation des connaissances

**Environnements d'enseignement-apprentissage** N. Abdelmalek et M.-H. Abel ont poursuivi leurs travaux sur les environnements d'enseignement-apprentissage incluant du numérique [Oje25, CO]. Ils ont étudié l'application des outils d'IA générative à l'apprentissage dans l'enseignement supérieur dans le cadre du projet EvarIAtion, donnant lieu à une nouvelle plateforme d'expérimentation. La plateforme collaborative MEMORAe a évolué vers OntoZip, intégrant un agent conversationnel (OntoBot) s'appuyant sur une ontologie d'application (ayant fait l'objet d'une déclaration d'invention). Le système de recommandation de ressources pédagogiques destinées aux enseignants a été amélioré par l'exploitation approfondie de la représentation des contextes spécifiques [Nas25, CO, Nas25, RI].

**Prise en compte du contexte** Les travaux en modélisation des connaissances intègrent la prise en compte du contexte, notamment pour les systèmes de recommandation. Des avancées ont été réalisées sur les systèmes de recommandation multi-critères contextuels, avec l'intégration d'une approche par attention multi-têtes pour la recommandation de groupe [Le25a, RI] et l'exploitation d'interactions profondes entre caractéristiques [Le25b, RI]. Ces systèmes ont été appliqués à divers domaines, incluant la recommandation de groupe [Le25a, CI] et la gestion des compétences [Le25a, CN].

### 2.1.4 Traitement des données ou informations pauvres et maîtrise des incertitudes

**Apprentissage statistique robuste** Dans le cadre de la thèse de W. Chen, C. Gilet, B. Quost et S. Destercke ont développé une version crédale du classifieur bayésien discret, dans laquelle la discrétisation de l'espace est elle-même imprécise, résultant en un modèle dont les sorties sont des intervalles de probabilités [Che25, CI, Che24, CI]. K.-D. Tran, V.-L. Nguyen et S. Destercke, en collaboration avec X.-T. Hoang et V.-N. Huynh (JAIST, Japon) ont proposé d'interpréter l'inférence d'un réseau de neurones bayésien (BNN) comme le calcul d'une distribution de probabilité médiane [Tra25, CI], en voyant le BNN comme un ensemble de classifieurs obtenus par échantillonnage. B. Quost a par ailleurs proposé une méthode d'apprentissage robuste de circuits probabilistes en adaptant l'algorithme LearnSPN pour prendre en compte l'incertitude de partitionnement et résultant en des classifieurs plus réguliers [Gha25, RI, Gha24, CI].

La thèse de M. Randon a donné lieu à un brevet portant sur l'estimation robuste de grandeurs caractéristiques du véhicule [Ran24, P].

**Apprentissage statistique basé sur les fonctions de croyance ou les probabilités imprécises** L'équipe a poursuivi ses travaux sur l'application des théories de l'incertain (en particulier la théorie des fonctions de croyance ou les probabilités imprécises) à l'apprentissage statistique. T. Denœux a proposé une généralisation d'un modèle d'apprentissage prenant en compte la dépendance dans un réseau à fonctions de base radiales [Pic24, CI], en collaboration avec l'université d'Artois; et une méthode de sélection d'instances pour l'apprentissage



par transfert [Lv24, RI], en collaboration avec l'université de Shanghai. La thèse de H. Zhang (co-direction M.-H. Masson et B. Quost) a donné lieu à deux avancées principales. D'une part, deux approches de classification prudente ensembliste, basées sur des généralisations des méthodes classiques de moyenne et de vote pour agréger les intervalles de probabilité fournis par les arbres d'une forêt aléatoire [Zha25, RI]. D'autre part, une méthode efficace de génération d'exemples contrefactuels pour expliquer l'indécision d'une forêt aléatoire (acceptée pour publication en revue en 2026). V.-L. Nguyen et S. Destercke, en collaboration avec H. Zhang (maintenant MCF à l'université Jean Monnet Saint-Étienne), ont proposé un cadre formel pour agréger des classifieurs de base en un classificateur classique ou crédal, et effectuer diverses tâches de décision basées sur cette quantification de l'incertitude [Ngu25, RI].

**Ensembles aléatoires flous** Plusieurs travaux de l'équipe, portés essentiellement par T. Denœux, visent à construire une extension de la théorie des fonctions de croyance fondée sur les *ensembles aléatoires flous*, et à développer des applications de cette théorie en inférence statistique et en apprentissage. Cette extension permet notamment de quantifier séparément les incertitudes aléatoire et épistémique.

Ce formalisme a été appliqué à la quantification des incertitudes de prédiction de la régression logistique [Den24a, RI] et des réseaux de neurones pour la régression [Den25a, RI, Den24a, CI]. Des mesures d'imprécision, de conflit et d'incertitude totale ont été proposées et caractérisées axiomatiquement dans ce cadre général [Den25b, RI]. Un modèle basé sur les ensembles aléatoires flous a été appliqué à la prédiction de durées de vie [Hua25b, RI, Hua24, CI]. La fusion d'informations multimodales pour la segmentation d'images médicales a été étudiée avec L. Huang (National University Singapore) et S. Ruan (université de Rouen), avec l'originalité de l'apprentissage de coefficients d'affaiblissement contextuel [Hua25a, RI]. Une version multi-vue de la classification évidentielle par les  $K$  plus proches voisins a également été développée [Gon25, RI].

**Maîtrise des incertitudes en géo-statistique** L'équipe s'intéresse à la prise en compte de l'incertitude en géo-statistiques, plus particulièrement pour les modèles de pollution des sols, dans le cadre du projet ANR Houses ; ce projet finance notamment la thèse de P. Labourg (co-dirigée par S. Destercke, et co-encadrée par B. Quost) [Lab24, CI, Lab24, CN].

### 2.1.5 Décision et raisonnement

**Fusion d'informations et raisonnement sous incertitude** T. Denœux a étudié la combinaison d'informations dépendantes modélisées par des nombres flous aléatoires gaussiens [Den24b, RI], dans le formalisme des ensembles aléatoires flous évoqué plus haut.

S. Destercke a été invité à la conférence IUKM pour présenter le cadre de la fusion d'informations pour l'estimation de paramètres à partir de données imprécises et son usage pour l'inférence robuste en présence de mesures aberrantes, ou pour identifier les incohérences de modélisation [Des25, CI].

La thèse d'A. Gaudillier (université de Paris Saclay), co-encadrée par S. Destercke en collaboration avec K. Belahcene et W. Ouerdane (laboratoire MICS, CentraleSupélec), a exploré l'application de la logique possibiliste à des inégalités linéaires, l'objectif étant de fournir des explications de préférences révocables par l'utilisateur [Gau25, CI].

S. Destercke, en collaboration avec J. Landes (visiteur au laboratoire), a revisité l'hypothèse des preuves variées en philosophie des sciences dans un cadre probabiliste imprécis



[Lan25, CI]. En collaboration avec des collègues du LIP6 et du CRIL, une intégration des incertitudes au cadre argumentatif bipolaire a été proposée, avec application aux plates-formes de débat en ligne [Thi25, CI].

**Révision de croyances** Dans le cadre de la thèse de J. Gaigne (soutenue en novembre 2025, co-encadrée avec K. Belahcene, CentraleSupélec), S. Lagrue a travaillé sur des opérateurs de révision de croyances. Des opérateurs conduisant à des situations totalement informées ont été caractérisés par un ensemble de postulats et un théorème de représentation [Bel24, CI]. Des structures ordonnées originales, les ordres linéaires partitionnés, ont été étudiées en termes d'expressivité, de représentations graphiques et de modèles interdits [Gai24, CI]. Les travaux ont été étendus aux ordres linéaires arborescents (*forest orders*), une structure originale permettant de gérer l'incomparabilité de l'incertitude des croyances d'un agent, généralisant les ordres linéaires partitionnés.

En collaboration avec N. Creignou (Aix-Marseille Université), R. Ktari a finalisé un travail sur la contraction et l'effacement de croyances, apportant une réponse à une question ouverte dans les travaux de Katsuno et Mendelzon. Des échanges avec E. Würbel (université d'Aix-Marseille) sur l'intégration d'outils traitant l'imprécision et l'incertitude dans les processus de changement de croyances ont ouvert des pistes prometteuses.

**Décision dans l'incertain** S. Destercke a étudié le problème de la décision dans les espaces combinatoires en présence de coûts incertains [Dav24, RI], la solution étant basée sur une énumération des solutions potentiellement optimales pour le problème général de matroïdes.

Dans une collaboration avec N. Nakharutai (université de Chiang Mai) et M. Troffaes (université de Durham), des règles de décision imprécises avec une cardinalité bornée ont été proposées [Nak24, RI]. Avec A. Rico (université Claude Bernard Lyon I), S. Destercke a étudié comment les règles classiques de décision robuste pouvaient se transférer dans un cadre qualitatif en utilisant l'intégrale de Sugeno [Des25, CI].

La thèse d'H. Willot (co-dirigée par S. Destercke et K. Belahcene) s'est penchée sur la caractérisation des opérateurs d'agrégation équitables (de type OWA), et a proposé des moteurs d'explications de préférences nécessaires dans le cas où l'information fournie par le décideur ne permet pas d'identifier un modèle unique [Wil24, CO, Wil24, CI, Wil24, CN].

**Planification** Dans le cadre de la thèse de T. Camus (collaboration avec l'école Saint-Cyr), l'équipe s'intéresse à la production d'heuristiques pour une planification expressive mais simplifiée. L'approche consiste à utiliser un planificateur évoluant dans un espace d'actions simplifiées restreint pour guider un autre planificateur évoluant dans un espace d'actions plus expressives (par exemple associées à des coûts), et n'ayant pas de restriction particulière.

## 2.2 Systèmes adaptatifs personnalisés

Dans cet axe, l'équipe s'attache notamment à rapprocher les travaux liant représentation de connaissances symboliques et interactions humains-systèmes avec les approches numériques dans les domaines du traitement des incertitudes et de l'apprentissage statistique.

L'objectif est de concevoir des systèmes s'adaptant automatiquement et dynamiquement aux utilisateurs et au contexte. Nous étudions les questions liées à l'adaptation dans deux cadres applicatifs : celui des systèmes de recommandation, pour personnaliser les choix proposés aux utilisateurs, et celui des environnements virtuels pour la formation, dans le but de confronter les utilisateurs à des situations pertinentes. Dans les deux cas, le système doit



idéalement pouvoir inférer dynamiquement le profil et les préférences de l'utilisateur pour adapter son comportement.

### 2.2.1 Élicitation

**Élicitation d'informations** La collaboration avec N. Nakharutai (Chiang Mai) et M. Trof-faes (Durham) a été l'occasion de développer des méthodes d'élicitation incrémentales spécifiques aux probabilités imprécises [Nak24, CI]. S. Destercke a également proposé de premières méthodes d'élicitation des hyper-paramètres des classifieurs prudents [Des25, CN].

**Modèles de préférences et systèmes de recommandation** Une extension du modèle probabiliste de rangement (*ranking*) de Plackett–Luce, robuste aux informations pauvres (peu nombreuses ou conflictuelles), basé sur la théorie des probabilités imprécises, a été proposée dans le cadre de la thèse de L. Adam [Ada24b, RI]. La fin de cette thèse a été l'occasion d'appliquer les mécanismes de fusion d'informations au problème d'apprentissage de préférences, en étudiant différents mécanismes de réparation en présence d'inconsistance [Ada24a, RI]. Des travaux ont été menés sur l'inférence de systèmes de recommandation basés sur des graphes RDF [Le24a, CI].

### 2.2.2 Explication des modèles de classification

**Production d'explications minimales ou robustes** Une partie des travaux de l'équipe porte sur l'explication des décisions des modèles de classification. La thèse de H. Willot évoquée ci-dessus s'intéresse ainsi à la production d'explications minimales. La thèse de C. Zhu (co-dirigée par M.-H. Masson et V.-L. Nguyen, démarrée en octobre 2024) s'intéresse à la robustesse des explications fournies. Les premiers travaux portent sur les implicants premiers, avec un premier cas d'étude sur les classifieurs linéaires : la robustesse d'une explication face à des variations de modèle est utilisée comme critère pertinent de sélection des explications [Zhu25, CI].

**Explication de la prudence** Une originalité des travaux de l'équipe porte sur l'explication de la prudence, c'est-à-dire des raisons pour lesquelles la sortie d'un modèle est vague, ouvrant la voie à un processus efficace de résolution de l'indécision résultante. La thèse de H. Zhang (co-direction M.-H. Masson et B. Quost) a porté sur la production d'explications de l'indécision basées sur des exemples contrefactuels — un article de revue a été accepté pour publication en 2026.

**Réseaux de neurones auto-explicatifs pour l'analyse multicritère des sentiments** V.-L. Nguyen, en collaboration avec X.-T. Hoang, T. Kitagawa, et V.-N. Huynh (JAIST, Japon), a proposé un modèle de réseau de neurones auto-explicatif pour l'analyse multicritère des sentiments offrant de bonnes performances prédictives tout en produisant des explications fiables orientées vers l'utilisateur [Hoa25, CI]. La stratégie repose sur trois éléments clés : une modélisation qui extrait les sujets pertinents des données d'entraînement, un alignement sujets-critères qui partitionne les sujets pertinents selon les critères d'évaluation donnés par l'utilisateur final, et la production automatique d'explications des sentiments basée sur la connaissance du domaine extraite de la phase d'alignement sujets-critères.



### 2.2.3 Scénarisation d'environnements virtuels

L'un des axes notables de l'équipe concerne les recherches sur les modèles computationnels pour la scénarisation d'environnements virtuels pour l'entraînement. L'objectif est de proposer des modèles qui permettent d'adapter dynamiquement et automatiquement des situations à la fois contrôlées, cohérentes et personnalisées. Le problème est de permettre le passage à l'échelle pour offrir une grande variété de situations tout en gérant l'incertitude de l'évolution de ces situations.

L'approche portée par D. Lourdeaux vise à coupler les modèles d'intelligence artificielle symboliques (modèles de connaissances, planification) et numériques (approches probabilistes, fonctions de croyance) pour déterminer des mécanismes de raisonnement résilients et efficaces. Il s'agit, d'une part, de transposer des théories des SHS (modèles cognitifs, théories narratives, théories neurocognitivistes, théories de l'apprentissage, etc.) au cadre computationnel, et d'autre part, de modéliser des moteurs décisionnels prenant en compte les incertitudes. Ces objectifs généraux ont été poursuivis en 2024 et 2025, en focalisant les recherches sur l'adaptation et la génération de scénarios adaptatifs mettant en jeu des vulnérabilités. En 2024, un couplage d'un LLM pour la mise en scène et d'un modèle ontologique pour la cohérence métier des scénarios a été proposé ; en 2025, les travaux se sont focalisés sur la personnalisation et l'adaptation des scénarios avec des cartes cognitives floues. Enfin, un cadre formel unifié pour l'analyse et l'évaluation des Systèmes Narratifs Interactifs a été proposé, fondé sur une modélisation en machine à états étendus. Ce cadre formalise et opérationnalise un ensemble de propriétés clés de la littérature (*agency*, contrôlabilité, intention d'auteur, robustesse) via une méthodologie générique et reproductible [Cle25, CI]. Un modèle de narration computationnelle pour favoriser la motivation et l'empathie historique a été développé dans le cadre du projet ANR ITS-STORY, s'appuyant sur un planificateur hiérarchique et temporel.

Par ailleurs, dans le but d'adapter et contrôler l'impact émotionnel des situations générées, une méthode de sélection de caractéristiques guidée par l'explicabilité, fondée sur l'agrégation statistique de valeurs de Shapley (SHAP) pour des modèles temporels de reconnaissance des émotions faciales, a été proposée [Set25, CI].

## 3. PROJETS ET COLLABORATIONS

---

Cette section présente une synthèse budgétaire des projets actifs sur la période. La frise de la figure 15 donne une vue détaillée de ces projets, regroupés par catégorie. La majorité des projets sont soit des collaborations industrielles directes, souvent associées à des financements Cifre, soit des projets collaboratifs nationaux, dont la moitié sont coordonnés dans l'équipe.

**Collaborations locales** L'équipe participe notamment à des projets de la fondation universitaire de l'UTC — en particulier via la chaire SafeAI portée par S. Destercke, et a pris une part active aux activités du laboratoire commun SIVALab coordonné par l'équipe SyRI, ainsi qu'à l'IRP Adonis et à l'IRT Railenium [Pli24, RI].

Par ailleurs, les membres de l'équipe participent ou ont participé à l'encadrement de thèses Cifre en co-direction avec le laboratoire Roberval de l'UTC, ainsi qu'au projet TEMIS coordonné par le laboratoire Roberval. On notera également une collaboration avec le laboratoire CosTech de l'UTC (projets ITS-Story et MemoReal).



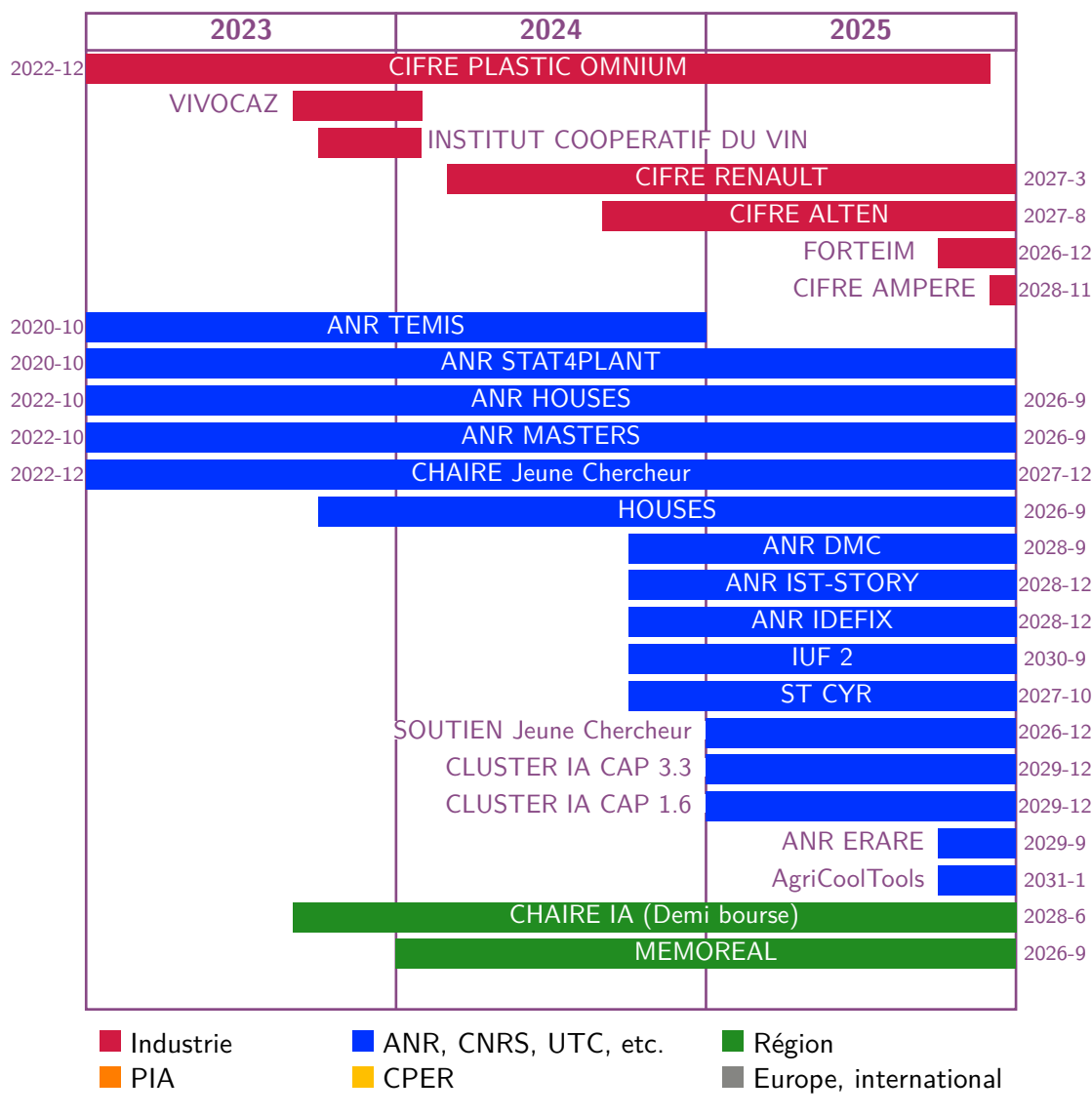


Figure 15 – Projets de l'équipe CID sur la période 2023-2025. La (co)-direction scientifique de tous ces projets est assurée par un membre de l'équipe. Les montants indiqués correspondent au budget global alloué au projet.



**Autres collaborations nationales et internationales** Des collaborations avec d'autres établissements d'enseignement supérieur et de recherche ou avec des instituts de recherche publics se sont concrétisées par des co-directions de thèse, par exemple avec le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), CentraleSupélec, l'INRAE, l'université de Rouen, l'université de Toulouse Jean Jaurès ; à l'international, avec le Politecnico di Torino (Italie), l'université de technologie de Eindhoven, l'université Cadi Ayyad (Maroc), et l'université française d'Égypte.

Enfin, plusieurs collaborations ont donné lieu à des échanges de chercheurs et à des publications communes, notamment avec AgroParisTech, l'université Paris Saclay ; le *Japan Advanced Institute of Science And Technology* (JAIST, Japon), l'université de Chiang Mai (Thaïlande), l'université de technologie de Eindhoven (Pays-Bas), la *National University of Singapore* (Singapour), et l'université de Shanghai (Chine).

## 4. RAYONNEMENT

---

### Responsabilités et instances d'évaluation

#### Responsabilités nationales significatives

- Thierry Denœux est membre senior de l'institut universitaire de France (renouvellement pour 2024-2029).
- Sébastien Destercke est membre du comité exécutif du GDR RADIA, et responsable de l'action JCJC du GDR. Il est membre de la section 2 (Sciences informatiques : fondements de l'informatique, calculs, algorithmes, représentations, exploitations) et de la commission inter-disciplinaire 54 du CNRS, (Sciences et données) et secrétaire général pour la commission inter-disciplinaire 54 (depuis mi-2025).
- Yves Grandvalet a été fortement impliqué au CoNRS (jusqu'à mi-2025), en tant que président de la commission inter-disciplinaire (CID) 55 « science et données », membre du bureau de la conférence des présidents du comité national (CPCN), membre de la coordination des responsables des instances du comité national (C3N), membre du jury d'admission du concours CR pour les commissions inter-disciplinaires 2022-2025.
- Domitile Lourdeaux est membre élue de la section 27 du CNU.

#### Autres responsabilités nationales

- Thierry Denœux et Sébastien Destercke sont membres du comité de pilotage de la conférence LFA.
- Sébastien Destercke est responsable du groupe de travail EXPLICON du GDR RADIA.
- Yves Grandvalet a été membre d'un comité d'évaluation HCERES, membre du jury de sélection des contrats doctoraux SCAI, et membre du jury du prix de thèse Gilles Kahn de la SIF.
- Domitile Lourdeaux est co-responsable de l'action « coordination avec sociétés savantes » du GDR IHM. Elle a été membre d'un comité d'évaluation HCERES. Elle a été membre du comité d'évaluation scientifique ANR CE33 « Interaction, Robotique ».

Les membres de l'équipe se trouvent également régulièrement sollicités pour participer à des



comités de sélection externes.

### Responsabilités internationales significatives

- Marie-Hélène Abel est membre du comité de pilotage de la conférence IEEE CSCWD, et a été présidente du comité de programme de IEEE CSCWD 2025.
- Thierry Denœux est président de la société savante « belief functions and applications society » (BELIEF).
- Sébastien Destercke est responsable des séminaires de la société savante « international society for imprecise probabilities and their applications » (ISIPTA). Il est membre du comité de pilotage de la conférence ECSQARU.

L'équipe est fortement impliquée dans le développement d'approches reliant raisonnement et apprentissage machine ; deux membres de l'équipe ont notamment contribué, dans le cadre d'un groupe de travail, à la rédaction d'un article présentant un panorama de cette question [Baa24, RI].

### Comités de rédaction

#### Activité nationale

- Domitile Lourdeaux est membre des comités de rédaction de « Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation (STICEF) » et de la « Revue d'Intelligence Artificielle » (devenue « Revue Ouverte d'Intelligence Artificielle » à la suite du rachat de RIA par l'éditeur IETA). Elle a été éditrice invitée pour un numéro spécial « Réalité étendue pour l'éducation et la formation » dans la première.

#### Activité internationale

- Thierry Denœux est rédacteur en chef de la revue *International Journal of Approximate Reasoning* (Elsevier). Il est membre des comités de rédaction des revues *Fuzzy Sets and Systems* (Elsevier), *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems* (World Scientific), *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems* (Korean Institute of Intelligent Systems), et *Array* (Elsevier).
- Sébastien Destercke est éditeur associé des revues *International Journal of Approximate Reasoning* (Elsevier) et *Fuzzy Sets and Systems* (Elsevier). Il a été éditeur invité pour des numéros spéciaux dans les revues *International Journal of Approximate Reasoning* [Baa24, RI] et *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence* [Bel24, E].
- Domitile Lourdeaux est membre du comité de lecture de « Virtual Reality » (Springer).
- Benjamin Quost est éditeur associé de la revue *International Journal of Approximate Reasoning* (Elsevier).

### Organisation de conférences internationales

L'équipe se montre active dans l'organisation d'événements nationaux ou internationaux.

N. Abdelmalek, M.-H. Abel, et S. Lagrue ont participé activement à l'organisation de la conférence IEEE CSCWD 2025 (Compiègne).

### Conférences et écoles invitées

- M.-H. Abel a été conférencière invitée aux 4EU+ Alliance AI days (Prague, République Tchèque, 2024), aux écoles HEEC, ENSA et FST Marrakech (Marrakech, Maroc, 2024),



à la journée scientifique EGC HYNISIC (2025).

- T. Denœux a donné une conférence invitée à l'université Tongji (Shanghai, 2024), et des cours l'école d'été Belief 2025 (Espagne).
- S. Destercke a été conférencier invité aux conférences et workshops ROADEF 2024 (Amiens), ICRTAM 2024 (Inde), WUML 2024 (Munich), IUKM 2025 (Vietnam), et à l'école d'été Belief 2025 (Espagne).
- D. Lourdeaux a été conférencière invitée à la conférence WACAI 2024 (France), et à une journée d'étude à l'Université de Picardie Jules Verne (Amiens, 2024).
- B. Quost a été conférencier invité à l'université de technologie de Eindhoven (Eindhoven Artificial Intelligence Systems Institute, 2024 ; Mini-symposium on Probabilistic Machine Learning, 2025).

### Prix et distinctions

- L'Institut Universitaire de France a renouvelé T. Denœux comme membre senior pour la période 2024-2029.

### Séjours à l'étranger et accueil de visiteurs

#### Séjours à l'étranger

- T. Denœux a été professeur invité à l'*University of Electronic Science and Technology of China* (Chengdu, Chine, 2024, 2025) et à l'université de Chiang Mai (*Faculty of Economics*, Chiang Mai, Thaïlande, 2024, 2025).
- S. Destercke a été chercheur invité à l'université de Durham (Royaume Uni, avril 2024) ;
- B. Quost a été professeur invité à l'université de technologie de Eindhoven (Eindhoven, Pays-Bas, 2024, 2025).

#### Accueil de visiteurs

- Jürgen Landes, post-doctorant au *Munich Center for Mathematical Philosophy (LMU Munich)* pour un séjour court (7-11 octobre 2024), dans le cadre d'une collaboration avec S. Destercke ;
- Daira Pinto Prieto (univ. Amsterdam, 1 semaine en 2025) ;
- Johannes C. Schoeman, *lecturer* à l'université de Stellenbosch (trois jours en 2024) ;
- Henri Surugue, doctorant au laboratoire MICS (CentraleSupélec–Université Paris Saclay), pour deux séjours courts (une semaine en 2024, une autre en 2025) ;
- Jordan Theyre (une semaine en 2025) ;
- Davide Montes (univ. Oviedo, 1 mois en 2025).

### Missions d'expertise

Sur la période, les membres de l'équipe ont effectué des expertises de projets pour des universités, des régions, dans le cadre du plan France 2030 ; ainsi que pour l'« agence nationale de la recherche » suisse (SNF) et pour le « centre national de la science » (Pologne).

### Diffusion auprès du grand public

Les membres de l'équipe interviennent régulièrement dans des actions de diffusion de la science auprès du grand public, pour des publics très variés ; ils ont notamment participé :



- à la rédaction d'un ouvrage de vulgarisation sur l'IA (versions française et anglaise),
- à des présentations scientifiques auprès d'audiences académiques,
- à des présentations de médiation scientifique à destination de publics adultes non spécialistes,
- à la présentation des activités de recherche de l'équipe aux étudiants de l'UTC (via l'événement « les nuits de la recherche »),
- à l'organisation d'une école d'été (Pixels) à destination de lycéens,
- à l'accueil de plusieurs classes de lycéens au sein du laboratoire,
- à la « fête de la science » à l'UTC.

## 5. FAITS MARQUANTS

---

- Renouvellement de T. Denœux à l'Institut Universitaire de France comme membre senior (pour la période 2024-2029).

## 6. VALORISATION

---

### Projets partenariaux

- Trois projets partenariaux (accompagnement de thèses CIFRE) ont été initiés sur la période de référence et sont en cours de finalisation, tous trois montés avec Ampere SAS :
  - « Détection et surveillance embarquées et débarquées de l'état de santé des machines électriques »,
  - « Décision et planification de la trajectoire un véhicule évoluant dans un environnement incertain »,
  - « Augmentation de l'horizon de prédiction de la scène perçue pour améliorer la planification des ADAS du véhicule ».

### Brevets

Un brevet auquel ont contribué des membres de l'équipe a été accepté sur la période :

- **M. Randon, B. Quost, D. von Wissel, N. Boudaoud, et S. Phan.** « Procédé et système de détermination de la masse d'un véhicule », 2024.

### Logiciels, jeux de données

L'équipe a été impliquée sur la période dans le développement des logiciels suivants :

- **N.-L. Le, M.-H. Abel, et P. Gouspillou** : logiciel de « calcul de similarité via des graphes RDF », déposé en 2024.
- **J.-B. Leger** : module Python <https://pypi.org/project/parametrization-cookbook/>.

L'équipe a de même été impliquée dans le dépôt des jeux de données suivants :

- **P. Carvalho, M. Lafou, A. Durupt, A. Leblanc, et Y. Grandvalet.** « The Automotive Visual Inspection Dataset (AutoVI) : A Genuine Industrial Production Dataset for Unsupervised Anomaly Detection », 2024. <https://zenodo.org/records/10459003>



## 7. LISTE DES PUBLICATIONS

---

Nous mentionnons ici les publications parues entre 2024 et 2025.

Dans cette liste, les noms des membres permanents ou émérites de l'équipe sont indiqués en caractères **gras foncés** et ceux des membres temporaires principalement affectés à l'équipe sont indiqués en caractères **gras clairs**.

### Publications majeures dans des revues (ACL +)

- [Den25a, RI] **Denœux, T.** Uncertainty Quantification in Regression Neural Networks using Evidential Likelihood-based Inference. *International Journal of Approximate Reasoning*, page 109423, 2025
- [Den25b, RI] **Denœux, T.** Uncertainty Measures in a Generalized Theory of Evidence. *Fuzzy Sets and Systems*, volume 520 :109546, 2025
- [Gha25, RI] Ghandi, S., **Quost, B.**, et de Campos, C. Soft learning probabilistic circuits. *International Journal of Approximate Reasoning*, volume 185 :109467, 2025.
- [Gon25, RI] Gong, C., Su, Z.G., et **Denœux, T.** Multi-view evidential K-NN classification. *Information Fusion*, volume 120 :103113, 2025.
- [Hua25a, RI] Huang, L., Ruan, S., Decazes, P., et **Denœux, T.** Deep evidential fusion with uncertainty quantification and reliability learning for multimodal medical image segmentation. *Information Fusion*, volume 113 :102648, 2025.
- [Hua25b, RI] Huang, L., Xing, Y., Mishra, S., **Denœux, T.**, et Feng, M. Evidential time-to-event prediction with calibrated uncertainty quantification. *International Journal of Approximate Reasoning*, volume 181 :109403, 2025.
- [Le25a, RI] **Le, N.L.** et **Abel, M.H.** Integrating context and criteria : a multi-head attention-based approach for multi-criteria group recommender systems. *World Wide Web*, volume 28(4) :50, 2025.
- [Le25b, RI] **Le, N.L.**, **Abel, M.H.**, et Gouspillou, P. Enhancing Context-Aware Recommender Systems Through Deep Feature Interaction Learning. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, volume 32(1), 2025
- [Lye25, RI] Lye, A., Vechgama, W., Sallak, M., **Destercke, S.**, Ferson, S., et Xiao, S. Advances in the Reliability Analysis of Coherent Systems under Limited Data with Confidence Boxes. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A : Civil Engineering*, volume 11(1), 2025.
- [Nas25, RI] Nashed, N., Lahoud, C., et Abel, M.h. Feature Selection Effect on Context-Aware Teacher-Support Systems. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, volume 32(2) :e70014, 2025.
- [Ngu25, RI] **Nguyen, V.L.**, Zhang, H., et **Destercke, S.** Credal ensembling in multi-class classification. *Machine Learning*, volume 114(1) :19, 2025.
- [Zha25, RI] Zhang, H., **Quost, B.**, et **Masson, M.H.** Cautious classifier ensembles for set-valued decision-making. *International Journal of Approximate Reasoning*, volume 177 :109328, 2025.
- [Ada24a, RI] **Adam, L.** et **Destercke, S.** Handling inconsistency in (numerical) preferences using possibility theory. *Information Fusion*, volume 103 :102089, 2024.
- [Ada24b, RI] **Adam, L.**, van Camp, A., **Destercke, S.**, et **Quost, B.** Inferring from an Imprecise Plackett–Luce model : application to label ranking. *Fuzzy Sets and Systems*, volume 482 :108908, 2024



- [Baa24, RI] Baaj, I., Bouraoui, Z., Cornuéjols, A., **Denoëux, T.**, **Destercke, S.**, Dubois, D., Lesot, M.J., Marques-Silva, J., Mengin, J., Prade, H., Schockaert, S., Serrurier, M., Strauss, O., et Vrain, C. Synergies between machine learning and reasoning - An introduction by the Kay R. Amel group. *International Journal of Approximate Reasoning*, volume 171 :109206, 2024.
- [Car24, RI] Carvalho, P., Lafou, M., Durupt, A., Leblanc, A., et **Grandvalet, Y.** Detecting visual anomalies in an industrial environment : Unsupervised methods put to the test on the AutoVI dataset. *Computers in Industry*, volume 163 :104151, 2024.
- [Dav24a, RI] **Davot, T.**, Vu, T.A., **Destercke, S.**, et Savourey, D. On the enumeration of non-dominated matroids with imprecise weights. *International Journal of Approximate Reasoning*, volume 174 :109266, 2024.
- [Den24a, RI] **Denoëux, T.** Uncertainty Quantification in Logistic Regression using Random Fuzzy Sets and Belief Functions. *International Journal of Approximate Reasoning*, volume 168 :109159, 2024.
- [Den24b, RI] **Denoëux, T.** Combination of dependent and partially reliable Gaussian random fuzzy numbers. *Information Sciences*, volume 681 :121208, 2024.
- [Des24, RI] **Destercke, S.**, Mengin, J., et Prade, H. Editorial of the special issue “Synergies Between Machine Learning and Reasoning”. *International Journal of Approximate Reasoning*, volume 171(C) :109207, 2024.
- [Lv24, RI] Lv, Y., Zhang, B., Yue, X., **Denoëux, T.**, et Yue, S. Selecting reliable instances based on evidence theory for transfer learning. *Expert Systems with Applications*, volume 250 :123739, 2024.
- [Mal24, RI] **Malinowski, R.**, **Destercke, S.**, Dumas, L., Dubois, E., et Sarrazin, E. Uncertainty propagation in stereo matching using copulas. *International Journal of Approximate Reasoning*, volume 170 :109191, 2024.
- [Nak24, RI] Nakharutai, N., **Destercke, S.**, et Troffaes, M.C. Regret-based budgeted decision rules under severe uncertainty. *Information Sciences*, volume 665 :120361, 2024.

### Autres publications en revues (ACL)

- [Dav24b, RI] **Davot, T.**, Giroudeau, R., et König, J.C. On the Shared Transportation Problem : Computational Hardness and Exact Approach. *International Journal of Foundations of Computer Science*, volume 35(6) :741–756, 2024.
- [dB24, RN] **de Blauwe, T.**, Sabouret, N., et **Lourdeaux, D.** OPACK : un modèle intégrateur d’agent pour la génération de comportements induits par des modèles cognitifs modulaires. *Revue Ouverte d’Intelligence Artificielle*, volume 5(1) :35–62, 2024.
- [Guy24, RI] Guyonnet, D., Coftier, A., Bataillard, P., et **Destercke, S.** Risk-based imprecise post-remediation soil quality objectives. *Science of the Total Environment*, volume 923 :171445, 2024.
- [Pli24, RI] Plissonneau, A., Jourdan, L., Trentesaux, D., Abdi, L., Sallak, M., Bekrar, A., **Quost, B.**, et Schön, W. Deep reinforcement learning with predictive auxiliary task for autonomous train collision avoidance. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, volume 31 :100453, 2024.
- [Tal24, RN] Tali, F., Loubère, L., Charalampopoulou, C., Desbiens, J.F., **Abel, M.H.**, et Céci, J.F. L’auto-efficacité des enseignantes et enseignants du supérieur à enseigner avec le numérique, de la période Covid à nos jours. *L’Orientation scolaire et professionnelle*, volume 53(2) :313–342, 2024.



[Ver24, RI] Vercasson, A., Gaucel, S., **Destercke, S.**, Gontard, N., Guillard, V., et Angellier-Coussy, H. How to assess the layers' thicknesses in polymer-coated cardboards? *Progress in Organic Coatings*, volume 193 :108532, 2024.

### Communications majeures avec actes à valeur de publication revue (ACTI++)

[Gra25, CI] **Gray, A.**, Gopakumar, V., **Rousseau, S.**, et **Destercke, S.** Guaranteed prediction sets for functional surrogate models. In *41st Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI 2025)*, volume 286, pages 1569–1585. Rio De Janeiro, Brazil, 2025.

### Communications majeures avec actes dans des conférences (ACTI+)

[Che25, CI] **Chen, W.**, **Gilet, C.**, **Quost, B.**, et **Destercke, S.** Credal discrete classifier. In *14th International Symposium on Imprecise Probabilities : Theories and Applications (ISIPTA 2025)*, volume 290. Bielefeld (Germany), Germany, 2025.

[CU25, CI] Cornejo Urquieta, G.F., Moreau, J., **Grandvalet, Y.**, Camarda, F., et Ibanez-Guzman, J. Perception Metrics for Intelligent Vehicles : An Application-Focused Evaluation. In *28th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2025)*. Gold Coast, Australia, 2025.

[CM25, CI] **Cyusa Mukama, B.**, **Messoudi, S.**, **Rousseau, S.**, et **Destercke, S.** Hierarchical Copula-based Conformal Prediction and Exact Validity via Nested Prediction Regions. In *14th Symposium on Conformal and Probabilistic Prediction with Applications (COPA 2025)*, 266, pages 317–335. London, United Kingdom, 2025

[Dam25, CI] Damie, M., **Leger, J.B.**, Hahn, F., et Peter, A. Revisiting the Attacker's Knowledge in Inference Attacks Against Searchable Symmetric Encryption. In *23rd International Conference on Applied Cryptography and Network Security (ACNS 2025)*, volume 15826, pages 370–399. Munich (Allemagne), Germany, 2025.

[Des25, CI] **Destercke, S.** Information Fusion as a Useful Tool to Estimate Parameters from Imprecise Data? In *11th International Symposium on Integrated Uncertainty in Knowledge Modelling and Decision Making (IUKM 2025)*, volume 15585, pages 14–26. Ho Chi Minh City, Vietnam, Vietnam, 2025.

[Gau25, CI] Gaudillier, A., Belahcène, K., Ouerdane, W., et **Destercke, S.** Possibilistic Logic and Inference for Linear Systems. In *18th European Conference on Symbolic and Quantitative Approaches to Reasoning with Uncertainty (ECSQARU 2025)*, volume 16099, pages 362–375. Hagen, Germany, 2025.

[Gha25b, CI] Ghandi, S., **Quost, B.**, et de Campos, C. Imposing Constraints in Probabilistic Circuits via Gradient Optimization. In *Symposium on Intelligent Data Analysis (IDA 2025)*, volume LNCS 15669, pages 209–220. Konstanz, Germany, 2025.

[Gid25, CI] Gidel, T., **Moulin, C.**, et **Abel, M.H.** Enhancing Research Skills in Engineering Education through Collaborative Digital Tools and Live Experimental Sessions. In *28th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD 2025)*. Compiègne, France, France, 2025

[Hoa25, CI] Hoang, X.T., **Nguyen, V.L.**, Kitagawa, T., et Huynh, V.N. Self-explaining Neural Network for Multi-criteria Sentiment Analysis. In *11th International Symposium on Integrated Uncertainty in Knowledge Modelling and Decision Making (IUKM 2025)*, volume 15585, pages 87–99. Ho Chi Minh City, Vietnam, 2025.



- [Jac25, CI] Jacquin, L., Imoussaten, A., **Destercke, S.**, Marsala, C., et Fukuda, K. Towards evaluating set-valued predictions with partial observations. In *IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ 2025)*, pages 1–4. Reims, France, 2025.
- [Lan25, CI] Landes, J. et **Destercke, S.** On the value of varied evidence for imprecise probabilities. In *14th International Symposium on Imprecise Probabilities : Theories and Applications (ISIPTA 2025)*, volume 290. Bielefeld (Allemagne), Germany, 2025.
- [Le25a, CI] **Le, N.L.** et **Abel, M.H.** Joint Group Profiling and Recommendation via Deep Neural Network-based Multi-Task Learning. In *28th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD 2025)*. Compiègne, France, 2025
- [Le25b, CI] **Le, N.L.** et **Abel, M.H.** How Well Do LLMs Predict Prerequisite Skills? Zero-Shot Comparison to Expert-Defined Concepts. In *2025 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2025)*. Vienne, Australia, 2025.
- [Mad25, CI] **Madrigal, S.**, **Gilet, C.**, **Nguyen, V.L.**, et **Destercke, S.** Discrete Minimax Probabilistic Classifier Chains for Multi-label Classification Under Label Imbalance. In *18th European Conference on Symbolic and Quantitative Approaches to Reasoning with Uncertainty (ECSQARU 2025)*, volume 16099, pages 77–91. Hagen, France, 2025.
- [Thi25, CI] Theyre, J., Al Anaissy, C., Beynier, A., **Destercke, S.**, Maudet, N., et Vesic, S. Uncertainty in quantitative bipolar argumentation frameworks. In *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, volume 413, pages 1679 – 1686. Bologna, Italy, 2025.
- [Tra25, CI] **Tran, K.D.**, Hoang, X.T., **Nguyen, V.L.**, **Destercke, S.**, et Huynh, V.N. Robust Classification in Bayesian Neural Networks. In *11th International Symposium on Integrated Uncertainty in Knowledge Modelling and Decision Making (IUKM 2025)*, volume 15585, pages 29–41. Ho Chi Minh City, Vietnam, 2025.
- [Zhu25, CI] **Zhu, C.**, **Nguyen, V.L.**, **Masson, M.H.**, et **Destercke, S.** Robust Explanations : The Case of Prime Implicants. In *18th European Conference on Symbolic and Quantitative Approaches to Reasoning with Uncertainty (ECSQARU 2025)*, volume 16099, pages 164–177. Hagen, Germany, 2025.
- [Gai24, CI] **Gaigne, J.**, Belahcene, K., et **Lagrué, S.** Partitioned Linear Orders and Belief Revision. In *36th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI 2024)*, pages 49–56. Herndon, United States, 2024.
- [Gha24, CI] Ghandi, S., **Quost, B.**, et de Campos, C. Probabilistic Circuits with Constraints via Convex Optimization. In *European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases (ECML PKDD 2024)*, volume LNCS-14943, pages 161–177. Vilnius, Lithuania, 2024.
- [Le24a, CI] **Le, N.L.**, **Abel, M.H.**, et Gouspillou, P. Exploring Weighted Property Approaches for RDF Graph Similarity Measure. In *27th IEEE International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD 2024)*, pages 3104–3109. Tianjin, China, 2024
- [Le24b, CI] **Le, N.L.**, **Abel, M.H.**, et Negre, E. Recognizing Similar Crises through the Application of Ontology-based Knowledge Mining. In *57th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS 2024)*. Hawaii, United States, 2024.
- [Urb24, CI] **Urbani, N.**, **Rousseau, S.**, **Grandvalet, Y.**, et Tanzi, L. Harnessing Superclasses for Learning from Hierarchical Databases. In *European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases (ECML PKDD 2024)*, volume IV, pages 247–265. Vilnius (Lituanie), Lithuania, 2024.
- [Wil24, CI] **Willot, H.**, Belahcene, K., et **Destercke, S.** Principled Explanations for Robust Redistributive Decisions. In *27th European Conference on Artificial Intelligence, Including 13th Conference on Prestigious Applications of Intelligent Systems (ECAI-PAIS 2024)*, volume 392, pages 979 – 986. Santiago de compostela, Spain, 2024.



## Autres communications avec actes dans des conférences (ACTI)

- [Cle25, CI] **Clerc, J., Lourdeaux, D.**, Sallak, M., Barbier, J., et Ravaine, M. Modeling Interactive Narrative Systems : A Formal Approach. In *8th International Workshop on Computational Models of Narrative (CMN'25)*. Genève, Switzerland, 2025.
- [Des25, CI] **Destercke, S.** et Rico, A. Robust Decisions : Bridging the Quantitative-Qualitative Gap. In *14th Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT 2025)*, volume 15884, pages 158–170. Riga, Latvia, 2025
- [Le25c, CI] **Le, N.L.** et **Abel, M.H.** Context-Aware Multi-Criteria Recommender Systems Using Variable Selection Networks. In *11th International Conference on Advanced Intelligent Systems and Informatics (AISI 2025)*, volume 238, pages 3–15. Port Said, Egypt, 2025.
- [Le25d, CI] **Le, N.L.** et **Abel, M.H.** Enhancing Recommender Systems Using Textual Embeddings from Pre-trained Language Models. In *8th International Conference on Information Technology & Systems (ICITS'25)*, volume 1449, pages 93–103. Mexico City, Mexico, 2025
- [Le25e, CI] **Le, N.L.** et **Abel, M.H.** Automated Skill Decomposition Meets Expert Ontologies : Bridging the Granularity Gap with LLMs. In *17th International Conference on Management of Digital Ecosystems (MEDES 2025)*. Ho Chi Minh City, Vietnam, 2025.
- [Rug25, CI] Ruggieri, R., Marullo, G., **Grandvalet, Y.**, Moos, S., Vezzetti, E., et Ulrich, L. Assessing physical ergonomics in Industry 5.0 : a preliminary deep learning-based approach. In *Design Tools and Methods in Industrial Engineering*, volume V, pages 130–141. Gênes, Italy, 2025.
- [Set25, CI] Setitra, I., **Lourdeaux, D.**, et **Bounia, L.** Facial Empathy Analysis Through Deep Learning and Computer Vision Techniques in Mixed Reality Environments. In *17th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART 2025)*, pages 31–39. Porto, Portugal, 2025.
- [Bel24, CI] Belahcène, K., **Gaigne, J.**, et **Lagrué, S.** On Decisive Revision Operators and Totally Ordered Information. In *Lecture Notes in Computer Science*, volume 15350, pages 45–52. Palermo, Italy, 2024.
- [Bou24, CI] **Bounia, L.** Enhancing the Intelligibility of Boolean Decision Trees with Concise and Reliable Probabilistic Explanations. In *20th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU 2024)*, volume 1174, pages 205–218. Lisboa, Portugal, 2024.
- [Che24, CI] **Chen, W., Gilet, C., Quost, B.**, et **Destercke, S.** Robust Discrete Bayesian Classifier Under Covariate and Label Noise. In *16th International Conference on Scalable Uncertainty Management (SUM 2024)*, volume 15350, pages 100–114. Palermo (Italy), Italy, 2024.
- [CM24, CI] **Cyusa Mukama, B., Messoudi, S., Rousseau, S.**, et **Destercke, S.** Copula-based conformal prediction for object detection : a more efficient approach. In *Proceedings of Machine Learning Research*, volume 230, pages 140–157. Milan, Italy, 2024.
- [Den24a, CI] **Denœux, T.** Uncertainty quantification in regression neural networks using likelihood-based belief functions. In *8th International Conference on Belief Functions (BELIEF 2024)*, volume 14909, pages 40–48. Belfast, United Kingdom, 2024
- [Den24b, CI] **Denœux, T.** Combination of Dependent Gaussian Random Fuzzy Numbers. In *8th International Conference on Belief Functions (BELIEF 2024)*, volume 14909, pages 264–272. Belfast, United Kingdom, 2024
- [Den24c, CI] **Denœux, T.** et Kreinovich, V. Algebraic Product Is the Only "And-like" Operation for Which Normalized Intersection Is Associative : A Proof. In *5th International*



- Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence (AICI 2024)*, volume 543, pages 47–53. Hanoi (Vietnam), Vietnam, 2024.
- [Gha24, CI] Ghandi, S., **Quost, B.**, et de Campos, C. Soft Learning Probabilistic Circuits. In *12th International Conference on Probabilistic Graphical Models (PGM 2024)*, volume 246, pages 273–294. Nijmegen, Netherlands, 2024.
- [Hua24, CI] Huang, L., Xing, Y., **Denoeux, T.**, et Feng, M. An evidential time-to-event prediction model based on Gaussian random fuzzy numbers. In *8th International Conference on Belief Functions (BELIEF 2024)*, volume 14909, pages 49–57. Belfast, United Kingdom, 2024.
- [Lab24, CI] **Labourg, P.**, **Destercke, S.**, Guillaume, R., Rohmer, J., **Quost, B.**, et Belbèze, S. Geospatial Uncertainties : A Focus on Intervals and Spatial Models Based on Inverse Distance Weighting. In *20th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU 2024)*, volume 1174, pages 377–388. Lisboa, Portugal, 2024.
- [Le24, CI] **Le, N.L.** et **Abel, M.H.** From Individual to Group : Developing a Context-Aware Multi-Criteria Group Recommender System. In *16th International Conference on Management of Digital EcoSystems (MEDES 2024)*, volume 2518. Naples, Italy, 2024.
- [Mad24, CI] **Madrigal, S.**, **Nguyen, V.L.**, **Gilet, C.**, et **Destercke, S.** Discrete Minimax Binary Relevance Classifier for Imbalanced Multi-label Classification. In *16th International Conference on Scalable Uncertainty Management (SUM 2024)*, volume 15350, pages 281–296. Palermo (Italy), Italy, 2024.
- [Mal24, CI] **Malinowski, R.**, Sarrazin, E., Dubois, E., Dumas, L., et **Destercke, S.** Robust Confidence Intervals for Digital Surface Models Using Satellite Photogrammetry. In *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2024)*, pages 8741–8744. Athens, Greece, 2024.
- [Nak24, CI] Nakharutai, N., Troffaes, M., et **Destercke, S.** Elicitation for Decision Problems Under Severe Uncertainties. In *16th International Conference on Scalable Uncertainty Management (SUM 2024)*, volume 15350, pages 312–324. Palermo (Italy), Italy, 2024.
- [Ngu24, CI] **Nguyen, V.L.**, Nguyen-Mau, T., et Huynh, V.N. Accelerate K-Mode Algorithms Using The Triangle Inequality. In *Lecture Notes in Computer Science*, volume 15350, pages 325–339. Palermo, Italy, 2024.
- [Pic24, CI] Pichon, F., Diène, S., **Denoeux, T.**, Ramel, S., et Mercier, D. r-ERBFN : an Extension of the Evidential RBFN Accounting for the Dependence Between Positive and Negative Evidence. In *16th International Conference on Scalable Uncertainty Management (SUM 2024)*, volume 15350, pages 354–368. Palermo, Italy, 2024.

## Communications dans des conférences françaises (ACTN)

- [Des25, CN] **Destercke, S.** et Imoussaten, A. Elicitation des hyper-paramètres des classifieurs prudents : premières propositions. In *34èmes Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications (LFA 2025)*. Clermont-Ferrand, France, 2025.
- [Gau25, CN] Gaudillier, A., Belahcene, K., Ouerdane, W., et **Destercke, S.** Théorie des possibilités et modèles numériques linéaires pour l'inférence sur une base de croyances. In *JIAF-JFPDA 19es Journées d'Intelligence Artificielle Fondamentale et 20es Journées Francophones sur la Planification, la Décision et l'Apprentissage pour la conduite de systèmes*, pages 48–57. Dijon, France, 2025.
- [KJ25, CN] Kunitomo Jacquin, L., Imoussaten, A., **Destercke, S.**, Marsala, C., et Fukuda, K. Évaluation de prédictions prudentes dans le cas d'observations partielles. In



*34èmes Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications (LFA 2025)*. Clermont-Ferrand, France, 2025.

- [Le25a, CN] **Le, N.L.**, **Abel, M.H.**, et Laforge, B. Vers un cadre ontologique pour la gestion des compétences : à des fins de formation, de recrutement, de métier, ou de recherches associées. In *36es journées francophones d'Ingénierie des Connaissances PFIA 2025*, pages 120–125. Dijon, France, 2025.
- [Le25b, CN] **Le, N.L.** et Ngompé, G.T. Extraction de relations multi-étiquettes en utilisant des modèles pré-entraînés et des couches de Transformer. In *Actes de l'atelier TextMine 2025*. Strasbourg, France, 2025.
- [Bou24a, CN] **Bounia, L.** Améliorer l'intelligibilité des arbres de décision avec des explications probabilistes concises et fiables. In *Revue des Nouvelles Technologies de l'Information*, volume RNTI-E-40, pages 23–34. Dijon, France, 2024.
- [Bou24b, CN] **Bounia, L.** et Koriche, F. Approximation des explications probabilistes via la minimisation super-modulaire. In *Revue des Nouvelles Technologies de l'Information*, volume RNTI-E-40, pages 361–368. Dijon, France, 2024.
- [Lab24, CN] **Labourg, P.**, **Destercke, S.**, Guillaume, R., Rohmer, J., **Quost, B.**, et Belbeze, S. Incertitudes géospatiales : un gros plan sur les intervalles et les modèles d'interpolation spatiales basées sur la pondération inverse des distances. In *33èmes Rencontres Francophones sur la Logique Floue et ses Applications (LFA 2024)*. Brest, France, 2024.
- [Wil24, CN] **Willot, H.**, **Destercke, S.**, et Belahcene, K. Explications et caractérisation de décisions équitables. In *18èmes Journées d'Intelligence Artificielle Fondamentale (JIAF-JFPDA 2024)*, pages 68–78. La Rochelle, France, 2024.
- [Zho24, CN] Zhong, J., **Le, N.L.**, Negre, E., et **Abel, M.H.** Système de simulations de crises, basé sur une ontologie, pour la mise à l'abri des populations. In *42ème édition INFORMATIQUE des ORGANISATIONS et SYSTÈMES d'INFORMATION et de DÉCISION (INFORSID 2024)*, pages 57–58. Nancy, France, 2024.

## Communications sans actes (COM)

- [Gha25a, CI] Ghandi, S., **Quost, B.**, et P. de C. Integrating Constraints via Probabilistic Circuits. In *8th Workshop on Tractable Probabilistic Modeling, 41st Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI 2025)*. Rio de Janeiro (BR), Brazil, 2025.
- [Le25, CO] **Le, N.L.**, **Abel, M.H.**, et Laforge, B. Modeling and Visualizing Competency Progression : A Semantic Integration of Pedagogical Graphs and Generative AI. In *2e International Meeting for Innovative Pedagogy 2025 (IMIP25)*. Compiègne, France, 2025.
- [Nas25, CO] **Nashed, N.N.**, **Abel, M.H.**, et Lahoud, C. Context-Aware Hybrid Recommender System for Teachers within MEMORAe SoIS. In *28th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD 2025)*, pages 2623–2628. Compiègne, France, 2025.
- [Oje25, CO] Ojeda, M.J., **Nashed, N.N.**, et **Abel, M.H.** An Ontology-Based Bridge between Algorithmic Thinking and Programming. In *7th International Conference on Information and Knowledge Systems (ICIKS 2025)*. Sousse (Tunisie), Tunisia, 2025.
- [Bor24, CO] **Bordini, V.M.**, **Destercke, S.**, et **Quost, B.** Self-Learning from Pairwise Credal Labels. In *27th European Conference on Artificial Intelligence, Including 13th Conference on Prestigious Applications of Intelligent Systems (ECAI-PAIS 2024)*. Santiago de Compostela, Spain, 2024.
- [Wil24, CO] **Willot, H.**, **Destercke, S.**, et Belahcene, K. Explications axiomatisées pour décisions équitables. In *25e congrès annuel de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision (ROADEF 2024)*. Amiens, France, 2024.



[Zha24, CO] Zhang, H. SHADED : Shapley Value-Based Deceptive Evidence Detection in Belief Functions. In *8th International Conference, BELIEF 2024*, volume 14909, pages 171–179. Belfast, United Kingdom, 2024.

### Chapitres d'ouvrages scientifiques (OS)

[Abe25, Ch] **Abel, M.H.**, Matta, N., Karray, H., et Saad, I. *Ethics and Digital Transition*, 2025.

### Directions d'ouvrage ou de revue (DO)

[Des25a, E] **Destercke, S.**, Erreygers, A., Nendel, M., Riedel, F., et Troffaes, M. *Proceedings of the 14th International Symposium on Imprecise Probabilities : Theories and Applications*, volume 290. Bielefeld (Allemagne), Germany, 2025.

[Des25b, E] **Destercke, S.**, Martinez, M.V., et Sanfilippo, G. *Scalable Uncertainty Management*, volume 15350 de *Lecture Notes in Computer Science*. Springer Nature Switzerland, 2025.

[Bel24, E] Belahcène, K., **Destercke, S.**, Labreuche, C., Öztürk, M., et Viappiani, P. Advances in preference handling : foreword. volume 92 de *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 2024.

### Brevets (P)

[Ran24, P] Randon, M., **Quost, B.**, von Wissel, D., Boudaoud, N., et Phan, S., Procédé et système de détermination de la masse d'un véhicule. FR 22 08841, 2024.





# SCOP

## Sûreté, Communication, OPTimisation

### 1. DESCRIPTION DE L'ÉQUIPE

---

#### Objectifs scientifiques

Face à la complexité croissante des interactions entre systèmes, les travaux de l'équipe se consacrent à la conception et à l'optimisation de systèmes logistiques, de systèmes en réseaux et de systèmes sûrs. L'équipe se donne pour objectif le développement de solutions aptes à satisfaire les besoins des utilisateurs en termes de performance et de robustesse, en leur permettant de faire abstraction de la complexité sous-jacente. Il s'agit de proposer de nouvelles modélisations, d'étudier formellement les modèles construits et de les valider par des preuves, des simulations et/ou des expérimentations. La mise en place de plateformes expérimentales constitue par ailleurs un élément essentiel pour démontrer la faisabilité de nos solutions et favoriser leur transfert vers l'industrie.

Les travaux de l'équipe sont développés selon trois axes :

- Les systèmes sûrs et sécurisés, avec la sûreté de fonctionnement en présence d'incertitudes, la tolérance aux fautes et la sécurité des systèmes informatiques.
- Les systèmes de communication dans les réseaux mobiles dynamiques, et les réseaux autonomes et à économie d'énergie.
- L'optimisation des systèmes de planification et d'ordonnancement ainsi que l'optimisation des réseaux logistiques et de télécommunication.

#### Composition de l'équipe

Fin décembre 2025, l'équipe se composait de 5 professeurs, 4 maîtres de conférences dont trois HDR, 4 enseignants-chercheurs contractuels dont un HDR et deux professeurs émérites. La table 3 détaille les membres de l'équipe présents fin 2025. D. Nace est le responsable de l'équipe depuis janvier 2022 et M. Sallak est responsable adjoint depuis janvier 2025.



Table 3 – Membres permanents et émérites de l'équipe SCOP en 2024-2025

Nom	Prénom	Statut	2024	2025
<b>Permanents, ECC CDD</b>				
<b>Bouabdallah</b>	Abdelmadjid	PR	■	■
<b>Boufflet</b>	Jean-Paul	MCF HDR	■	■
<b>Jaber</b>	Ghada	MCF	■	■
<b>Jouglet</b>	Antoine	PR	■	■
<b>Lakhlef</b>	Hicham	MCF HDR	■	■
<b>Lounis</b>	Ahmed	ECC	■	■
<b>Lussier</b>	Benjamin	ECC HDR	■	■
<b>Mouhoub</b>	Noureddine	MCF	■	■
<b>Moukrim</b>	Aziz	PR	■	■
<b>Nace</b>	Dritan	PR	■	■
<b>Sallak</b>	Mohamed	PR	■	■
<b>Savourey</b>	David	ECC CDD	■	■
<b>Seraïri</b>	Mehdi	ECC	■	■
<b>Challal</b>	Yacine	MCF HDR <sup>1</sup>	■	■
<b>Émérites</b>				
<b>Carlier</b>	Jacques	PR	■	■
<b>Schön</b>	Walter	PR	■	■

<sup>1</sup>En disponibilité depuis 2015

### Responsabilités locales significatives

- A. Jouglet est directeur à la formation et à la pédagogie de l'UTC depuis 2023.
- M. Seraïri est responsable de branche GI de 2021 à 2025, et depuis 2025 directeur du département.
- D. Nace est coordinateur du master mundus EMSSE depuis 2024 et responsable du parcours AOS du master ISC. Il est aussi directeur du campus international UTC-UPT depuis 2025.
- J.-P. Boufflet est co-responsable pédagogique de l'apprentissage GI depuis 2023 et membre du conseil pédagogique du GI.
- A. Lounis est responsable pédagogique de suivi des étudiants GI depuis 2024.
- M. Sallak est responsable du label "R&D" depuis 2022 et membre élu du CS de l'UTC de 2024 à 2025.

### Implication dans les tâches collectives et la vie de l'unité

- B. Lussier est correspondant BUTC pour le laboratoire.
- M. Sallak est organisateur des séminaires de l'équipe SCOP.



## Formation par la recherche

Les membres de l'équipe sont fortement impliqués dans les cours du master mundus EMSSE et du master mention « Ingénierie des Systèmes Complexes » (ISC) et parcours « Apprentissage et Optimisation des Systèmes complexes » (AOS) ainsi que dans la formation doctorale.

La table 4 récapitule les informations concernant l'encadrement doctoral de l'équipe SCOP pour les années 2024 et 2025, ainsi que le nombre de stagiaires et de CDDs.

Table 4 – Effectifs en membres temporaires de l'équipe SCOP en décembre 2024 et décembre 2025

	2024	2025
Stagiaires master	4	8
Thèses soutenues	1	3
Thèses abandonnées	0	0
CDD Recherche / enseignement	13	14
Doctorants	12	10

## 2. AVANCEMENT SCIENTIFIQUE

### Axe 1 – Systèmes sûrs et sécurisés

L'axe 1 rassemble les thématiques clés en sûreté de fonctionnement, notamment la gestion des incertitudes dans les études de sûreté de fonctionnement (en collaboration avec les équipes SyRI et CID) et la tolérance aux fautes (en lien avec l'équipe SyRI), avec des liens possibles avec l'axe 2 (économie d'énergie et sécurité) et l'axe 3 (optimisation de la maintenance). En cybersécurité, les travaux portent sur la sécurité des communications réseaux, la gestion des clés, la sécurité de l'Internet des objets (IoT) et des réseaux de capteurs, intégrant une gestion intelligente de l'énergie. Enfin, une thématique transversale associe sûreté de fonctionnement (au sens « *safety* ») et cybersécurité (au sens « *security* »). Les travaux de cet axe ont comme application principale les systèmes de transport.

#### 1.1 Gestion des incertitudes dans les études de Sûreté de Fonctionnement (SdF)

Les travaux autour de ce thème, qui est un sujet de recherche majeur pour deux membres de l'équipe, présentent la particularité d'utiliser des approches reposant, en plus du cadre probabiliste classique, sur les théories de l'incertain plus récentes (probabilités imprécises, ensembles aléatoires, etc.) [Lye25, RI]. L'apport de ces théories de l'incertain est crucial pour une évaluation pertinente de la SdF des systèmes à composants hautement fiables, lorsque l'on ne dispose que de très peu de données de défaillance, ou quand le retour d'expérience est faible voire inexistant. Il s'agit d'une approche originale dans la communauté scientifique nationale et internationale. L'objectif est de contribuer à l'appropriation de ces différentes théories de l'incertain par la communauté de la SdF. Nos méthodes sont principalement appliquées à l'évaluation de la SdF des systèmes de transport, en particulier ferroviaire. Les principales contributions de l'équipe sur la période concernent les études de SdF (modèles



graphiques fonctionnels et dysfonctionnels, propagation des incertitudes et calculs de métriques de SdF) des trains autonomes [Pli24, RI], la proposition de méthodes d'allocation d'objectifs de sécurité pour les systèmes de localisation GNSS (Global Navigation Satellite Systems) dans le ferroviaire, ainsi que les méthodes d'optimisation de la maintenance en présence d'incertitudes [Qiu25, RI]. En effet, lors de la conception des trains autonomes, il est essentiel d'intégrer des capteurs, caméras et radars, pour permettre de détecter les éléments de signalisation et les obstacles sur les voies, ce qui crée de nouveaux besoins en termes de SdF de tels systèmes. L'IA est identifiée comme étant une discipline pouvant apporter de l'aide à ces systèmes avec tout ce que cela soulève comme problématiques par rapport à la fiabilité des mécanismes d'IA utilisés [Pli24, RI]. Dans ce cadre, l'équipe est impliquée dans le projet Ecotrain, démarré en 2023, qui vise à développer des navettes ferroviaires légères et autonomes. Par ailleurs, dans le cadre des méthodes d'allocation d'objectifs de sécurité pour les systèmes GNSS, les travaux sont poursuivis dans le projet Ecotrain et une thèse, démarrée en 2024, sur l'évaluation de la sûreté de fonctionnement des systèmes GNSS utilisés dans les navettes de trains autonomes. L'objectif de cette thèse est de proposer une méthodologie permettant de couvrir l'ensemble des exigences de sûreté de fonctionnement définies dans les normes ferroviaires EN 50126, EN 51028 et EN 50129 pour la composante GNSS utilisée dans un système de navettes de trains autonomes.

## 1.2 Tolérance aux fautes

Les travaux autour sur ce thème ont pour objectif de proposer de nouvelles architectures ou techniques utilisables dans des systèmes complexes. La tolérance aux fautes permet à un système de continuer son service, au moins sous forme dégradée, en dépit des fautes qui pourraient l'affecter et à éviter ainsi des défaillances. Les architectures proposées visent à répondre à plusieurs difficultés liées aux systèmes complexes. En particulier, le développement de composants indépendants de sécurité (*safety bag*) consiste à développer des composants assurant qu'un système respecte certaines propriétés (dites nécessités de sécurité) et d'intervenir au besoin par des inhibitions de commande ou des interventions de sécurité. De tels composants se retrouvent au laboratoire sur des véhicules intelligents, et des travaux portent sur l'utilisation conjointe de règles de sécurité-innocuité (*safety*) et de cybersécurité (*security*) dans des systèmes IoT (voir section 1.4).

## 1.3 Sécurité des systèmes et réseaux

L'équipe SCOP s'inscrit dans un contexte de transformation profonde des réseaux, marqué par une explosion du trafic de données liée à l'essor de l'IoT, des véhicules connectés, des drones et autres dispositifs intelligents. Cette évolution s'accompagne d'un défi majeur : la forte hétérogénéité des équipements et des contraintes, incluant la mobilité, l'intermittence de la connectivité et les ressources limitées. Face à ces enjeux, de nouveaux paradigmes émergent, tels que le *Fog computing*, le *Named Data Networking* (NDN), les réseaux tolérants aux délais (DTN), ou encore l'Internet social des objets (SloT). Dans ce paysage de systèmes hyperconnectés, l'équipe SCOP poursuit ses contributions selon deux axes principaux :

**Sécurité dans les architectures distribuées (IoT, Fog, NDN, DTN)** L'équipe poursuit ses travaux en proposant des solutions de sécurité pour l'Internet des objets à faible consommation énergétique [Bey24, RI]. Dans le cadre du projet de thèse « Architectures de communication sûres et durables pour les applications critiques et sensibles aux délais »



(2024-2027), nous avons proposé une architecture IoT participative basée sur le *Fog computing* [Ben24a, CI]. Ce projet soulève plusieurs verrous scientifiques liés à la sécurité, notamment dans des environnements mobiles, contraints ou sensibles. Nos recherches actuelles portent sur l'authentification et la sécurisation des communications avec traçabilité, anonymat, et une gestion efficace des clés.

**Confiance comme paradigme de sécurité** L'équipe a développé plusieurs modèles de confiance afin de pallier les limites des approches purement cryptographiques, notamment dans des environnements distribués et dynamiques. Ces travaux ouvrent la voie à une nouvelle approche de la sécurité, fondée sur l'évaluation du comportement des entités plutôt que sur les seuls mécanismes de chiffrement. Nous prévoyons de poursuivre ces recherches dans le contexte des architectures 5G et des environnements participatifs, où plusieurs nœuds du réseau mettent leurs ressources à disposition des nœuds voisins. Cette mutualisation permet de limiter le déploiement massif de nœuds, réduisant ainsi les coûts et la consommation énergétique. Toutefois, ce type d'architecture repose sur des relations de confiance dynamiques, qu'il est crucial de modéliser et de sécuriser. L'établissement et la gestion de modèles de confiance adaptés sont donc au cœur des verrous scientifiques à lever.

Enfin, l'équipe SCOP participe à un consortium entre des laboratoires et des industriels : Heudiaysc, TIDAV, CORNIS, VALEMO, l'ONERA et le GIPSA-lab dans le cadre d'un projet financé par Bpifrance (« Offre de robots et machines intelligentes d'excellence »), démarré fin 2025. Le projet vise à développer un drone autonome pour l'inspection d'éoliennes offshore. L'équipe SCOP contribue à la sécurisation des données et des communications, depuis la collecte en vol jusqu'au transfert sécurisé vers l'exploitant du parc, tout en travaillant sur l'optimisation et la fiabilité des communications.

#### 1.4 Approches conjointes « sûreté/sécurité »

Cette thématique, à l'origine de la création de l'équipe SCOP, vise à rapprocher les spécialistes de sûreté de fonctionnement (sécurité au sens « *safety* ») et les spécialistes de cyber-sécurité (sécurité au sens « *security* »). Sur cette thématique en pleine croissance, l'équipe a été l'une des premières visibles, notamment au travers du portage d'un projet PEPS en 2016-2017, en partenariat avec les laboratoires LORIA et CRAN, regroupant des chercheurs de sections et de disciplines différentes (27ème et 61ème section CNU).

Ces premiers travaux se sont poursuivis dans le cadre du projet région ARS2TA - Analyse des Risques de Sûreté de fonctionnement pour le Train Autonome, qui propose une étude quantitative approfondie de l'impact de la numérisation sur la *safety* pour les trains autonomes. Cette étude comprend une première tentative de quantification des risques de sûreté de fonctionnement en présence d'incertitudes. Par la suite, nous proposons une méthodologie permettant de minimiser cet impact ou du moins prendre en compte cet aspect dès la phase de vérification des exigences *safety*. Ces travaux font l'objet d'une thèse, démarrée en 2023, au cours de laquelle ont été développées des méthodes originales d'approche conjointe sûreté/sécurité [Ben24b, CI]. Plus spécifiquement, nous avons réalisé une étude approfondie des principales normes de cybersécurité applicables au domaine ferroviaire (notamment CENELEC TS 50701 et IEC 62443), ainsi que des approches existantes dans l'état de l'art, afin d'identifier leurs complémentarités et leurs limites opérationnelles, et de proposer des recommandations visant à améliorer l'intégration de la cybersécurité dans le cycle de vie des systèmes critiques [Ben25, RI]. Nous avons aussi proposé le framework S3G, un modèle quantitatif combinant la théorie des jeux stochastiques, l'optimisation de Stackelberg et la modélisation probabiliste des états du système afin de relier les décisions de cybersécurité à



leurs impacts *safety* sur des systèmes ferroviaires. Appliqué à l'architecture ERTMS/ETCS niveau 2, ce modèle permet d'identifier des configurations optimales améliorant la résilience du système et sa capacité de récupération face aux cyberattaques.

Par ailleurs, nous menons une collaboration internationale avec des enseignants-chercheurs de l'Université Libanaise dans les domaines de la sécurité-innocuité (*safety*) et de la cybersécurité (*security*) des réseaux IoT. Cette collaboration a donné lieu à deux projets de thèse en codirection, une terminée en avril 2025, portant sur une nouvelle analyse de risque et la conception d'un composant indépendant de cybersécurité [Bey24, RI, Bey24, CI], une seconde commençant en novembre 2025 et portant sur la validation formelle de règles conjointes de sécurité-innocuité et de cybersécurité dans un composant S2-Bag (*Safety and Security Bag*).

Enfin, dans le cadre de l'axe 3 du CPER RITMEA : « Automatisation des véhicules (routier, ferroviaire, fluvial et drones) », nous avons mis en place une plateforme d'émulation des communications radios pour les infrastructures de transport ferroviaire et routière. Elle incorporera des réseaux sans fil tels que Wi-Fi, 4G/5G, ainsi que des objets connectés et des nœuds Fog pour l'IoT. Ce développement permettra de tester et de simuler les communications dans un environnement réaliste et des cyber-attaques pour les infrastructures de transport, ce qui devrait favoriser de nouvelles collaborations entre les équipes SYRI et SCOP. Ces collaborations renforceront les synergies dans le domaine du transport intelligent et de la mobilité en explorant de nouvelles solutions innovantes.

## Axe 2 – Systèmes de communication

Nos travaux dans le domaine des réseaux se sont concentrés sur le développement de solutions efficaces et intelligentes pour l'économie d'énergie et la gestion de réseaux complexes.

### 2.1 Économie d'énergie dans les réseaux

Nous avons développé des solutions d'économie d'énergie dans la mise en place de services de sécurité adaptatifs pour les environnements IoT, en intégrant des approches basées sur le contexte, la confiance et l'intelligence artificielle. Dans ce cadre nous avons :

- proposé un modèle d'authentification adaptatif basé sur le risque pour les environnements Mobile IoT, permettant d'ajuster dynamiquement les mécanismes d'authentification en fonction du contexte et du niveau de risque afin d'améliorer la sécurité [Ara25a, CI],
- proposé une solution adaptative d'optimisation énergétique des mécanismes de sécurité dans l'IoT prenant en compte la mobilité des objets connectés [Ara24, CI].
- mené une étude comparative de différentes approches de *deep reinforcement learning* pour optimiser l'équilibre entre sécurité et consommation énergétique dans les réseaux IoT.
- proposé une solution sécurisée et économe en énergie pour l'IoT, avec une architecture de gestion de la confiance pour les environnements Mobile IoT [Jab25, CI].

Une des approches pour développer des solutions alternatives pour les économies d'énergie s'appuie sur le *fog computing*, qui permet le traitement des données plus près des dispositifs IoT, ce qui naturellement réduit la consommation énergétique et les délais de communication. Cependant, l'adoption à grande échelle du fog computing est freinée par les investissements nécessaires, en particulier dus au positionnement des nœuds de fog à proximité des appareils, ainsi que la complexité des processus de mise en œuvre. Des solutions intégrant des



nœuds participatifs ont été proposées pour améliorer les architectures fog en exploitant des ressources réseau sous-utilisées. Cependant, elles échouent souvent à gérer efficacement l'infrastructure fog, ce qui nécessite de déployer de nombreux nœuds fog proches des objets connectés et crée ainsi des goulots d'étranglement, malgré la disponibilité de ressources participatives. Pour remédier à ces problèmes, nous avons proposé une solution efficace basée sur le fog computing participatif, qui optimise l'utilisation des ressources de calcul sous-utilisées (smartphones, ordinateurs portables et ordinateurs de bureau) situées autour des dispositifs IoT [Ben24a, CI]. Cette approche permet de réduire la latence et la consommation d'énergie, tout en maximisant l'efficacité du réseau. Notre solution favorise une gestion durable et efficace des infrastructures IoT et fog, en diminuant la charge de transmission et la consommation énergétique. Nous avons également exploré les architectures Content-Centric Networking (CCN) pour l'IoT et la 5G, avec notamment une étude des avancées et des défis liés aux approches centrées sur le contenu dans les environnements IoT basés sur la 5G [Jab25b, CI], ainsi que la proposition de mécanismes de défense adaptatifs et sensibles au contexte contre les attaques Interest Flooding dans les réseaux CCN appliqués à l'IoT [Jab25a, CI].

## 2.2 Protocoles d'accès au canal dans les réseaux sans fil

Nous avons également contribué à l'amélioration des performances des réseaux sans fil, à travers la proposition d'un protocole efficace de récupération de créneaux temporels visant à optimiser l'utilisation du médium et la performance globale du réseau [Lak24, CI]. Ces contributions participent à l'émergence de réseaux IoT sécurisés, adaptatifs et économes en énergie, capables de répondre aux exigences des infrastructures numériques de nouvelle génération. Les systèmes de communication véhiculaires visent à assurer des échanges fiables et rapides entre véhicules pour garantir la sécurité routière. Toutefois, la forte mobilité, la topologie dynamique et la densité élevée des réseaux rendent la gestion des collisions particulièrement complexe au niveau du protocole d'accès au médium (MAC), ce qui entraîne des retards, pertes de paquets et perturbations réseau. Les solutions existantes reposent majoritairement sur la localisation des véhicules et des allocations aléatoires de créneaux temporels, générant souvent un surcoût important en énergie et en signalisation. Pour répondre à ces limitations, nous avons proposé une nouvelle solution d'allocation de canaux de communication qui, dans un premier temps, prédit le temps de séjour des véhicules entrant dans un segment routier. Sur la base de cette prédiction, notre protocole d'allocation de créneaux temporels attribue proactivement les ressources afin de réduire la probabilité de collisions futures et de les résoudre lorsqu'elles surviennent.

## 2.3 Gestion intelligente et distribuée de réseaux complexes

Les réseaux de communication de nouvelle génération — réseaux Beyond 5G/6G, infrastructures IoT massives, environnements de réalité étendue — font face à une complexité croissante : des topologies distribuées à grande échelle, des flux de trafic hétérogènes et imprévisibles, et des exigences de qualité de service (latence, débit, fiabilité) de plus en plus strictes. Cette complexité rend la gestion traditionnelle du trafic, essentiellement réactive et statique, insuffisante pour garantir des performances optimales en temps réel. L'intelligence artificielle distribuée, et en particulier l'apprentissage par renforcement multi-agents (MARL), offre une voie prometteuse : plutôt que de réagir aux incidents après coup, les agents apprennent en interagissant directement avec l'environnement réseau, sans nécessiter de modèle explicite ni de données étiquetées, et ce de manière coordonnée et décentralisée.



Dans ce cadre, nos travaux proposent un système complet de gestion distribuée du trafic, articulé autour de plusieurs contributions complémentaires :

- Nous avons conçu et évalué un cadre MARL de contrôle de congestion pour les réseaux complexes, dans lequel des agents distribués apprennent à ajuster dynamiquement les poids des liens et à répartir le trafic sur des chemins multiples, en optimisant conjointement latence, débit et taux de perte. Cette contribution a mis en évidence les compromis entre scalabilité et surcoût de coordination contrôlés par le nombre d'agents déployés [Alh25, CO].
- Nous avons proposé une approche de relaxation dynamique des contraintes de latence de bout en bout dans les environnements Système de Systèmes (SoS) sur 5G, où chaque sous-système dispose d'un agent capable de décider de manière autonome et binaire s'il doit assouplir ou maintenir ses exigences de latence selon les conditions réseau observées localement. Ce mécanisme léger permet d'éviter la sur-allocation de ressources tout en préservant la qualité de service pour les tâches critiques.
- Nous avons conduit une étude empirique comparative sur les stratégies de déploiement des agents MARL dans un réseau opérationnel, en confrontant un placement aléatoire à un placement guidé par la topologie (nœuds à forte connectivité). Les résultats montrent que le placement basé sur le trafic accélère la convergence et réduit significativement la congestion normalisée par rapport au déploiement aléatoire, fournissant ainsi des lignes directrices pratiques pour l'opérationnalisation de solutions MARL dans des réseaux réels.
- Nous avons proposé Fed-MARL, un cadre fédéré multi-agents intégrant trois innovations complémentaires : une récompense pondérée par « empathie », qui incite chaque agent à tenir compte des performances de ses pairs, évitant que certains nœuds monopolisent les ressources au détriment des autres ; une fédération événementielle, déclenchée par un indice de congestion composite ; et une agrégation adaptative via FedAdam pour gérer l'hétérogénéité des données locales. Évalué sur une topologie Fat-Tree représentative des réseaux de centres de données, Fed-MARL atteint une réduction significative de la latence, une livraison parfaite des paquets et un surcoût de coordination quasi nul comparé aux approches de l'état de l'art.

L'ensemble de ces contributions forme un système cohérent, allant de la conception de l'agent individuel jusqu'à la coordination fédérée à grande échelle, en passant par les stratégies de déploiement opérationnel, et couvre ainsi le cycle complet de mise en œuvre d'une intelligence distribuée pour la gestion des réseaux de nouvelle génération.

## 2.4 Routage dans les réseaux tolérants aux délais (DTN)

L'architecture des réseaux tolérants aux délais a profondément transformé le domaine des réseaux de communication. Elle permet d'envisager un large éventail d'applications, aussi bien dans des contextes terrestres contraints (zones isolées, réseaux mobiles opportunistes) que dans des environnements extrêmes ou interplanétaires, où les conditions de communication sont particulièrement dégradées. Contrairement aux réseaux traditionnels, les DTN se caractérisent par l'absence de connectivité continue. Les liaisons entre nœuds sont intrinsèquement intermittentes, avec des périodes fréquentes de déconnexion et des durées de contact limitées. Cette discontinuité du réseau remet en cause les hypothèses fondamentales des protocoles de routage classiques, qui reposent sur l'existence de chemins stables de bout en bout : le routage des informations constitue un véritable défi. Il ne s'agit plus simplement de trouver un chemin optimal entre une source et une destination, mais de gérer l'incertitude des contacts, d'exploiter des opportunités de communication sporadiques et de décider quand



transmettre, stocker ou relayer les messages. Les nœuds doivent ainsi adopter une stratégie de type store-carry-and-forward, consistant à stocker temporairement les données, les transporter physiquement, puis les transmettre dès qu'une opportunité de connexion se présente. Face à ces contraintes, les protocoles de routage dans les DTN doivent être capables de s'adapter dynamiquement à des conditions de réseau fortement variables, tout en optimisant des critères tels que le délai de transmission, la consommation d'énergie ou encore l'utilisation des ressources réseau. Dans ce contexte, nous avons proposé une stratégie d'optimisation du routage pour les réseaux [Tou25, RI] qui vise à sélectionner le chemin le plus court en temps, afin de garantir que les messages atteignent leur destination dans les délais les plus réduits possibles. Ce protocole permet d'intégrer explicitement la durée de connectivité des liens dans la stratégie de transmission. Les résultats de simulation montrent que le protocole proposé réduit significativement le temps de transmission des messages dans les réseaux DTN, améliorant ainsi l'efficacité du routage dans différents scénarios de communication. Enfin, la solution proposée présente des performances supérieures en termes d'efficacité énergétique et de ratio de surcharge (overhead), en comparaison avec les protocoles existants.

### Axe 3 – Optimisation des systèmes

L'axe 3 de l'équipe SCOP traite de problématiques en recherche opérationnelle en utilisant un large panel d'outils comme l'algorithmique des graphes, les méthodes arborescentes, la programmation mathématiques généralisée, les techniques d'optimisation robuste et les méthodes approchées comme des matheuristiques ou métaheuristiques. Plus précisément, nous développons des méthodes exactes, des modèles de programmation linéaire en nombre entiers (PLNE), des « Branch and Cut », qui combinées avec des règles de dominances et des bornes tentent de résoudre des problèmes de planification, d'ordonnancement et de transport. Nous développons aussi des méthodes avancées en programmation linéaire incluant de la décomposition, de la génération de contraintes/colonnes et de la programmation robuste. Le but est d'aborder à la fois des problèmes d'allocation de ressources et dimensionnement de réseaux ainsi que de transport. Pour traiter des instances de grande taille, nous développons des méthodes approchées de type matheuristiques et métaheuristiques. L'axe 3 développe ses travaux autour de trois thèmes et ses applications :

- planification et problèmes de transport,
- ordonnancement,
- optimisation.

Nous présentons nos activités ci-dessous.

#### 3.1 Planification et problèmes de transport

Dans le cadre d'une convention Cifre, nous nous intéressons à des problèmes de logistique de transport en partenariat avec le groupe Mobivia, acteur majeur de l'entretien et de l'équipement automobile multimarques. Intitulé « Optimisation de flux de transport dans un contexte collaboratif et multi-objectifs », ce travail de recherche vise à répondre à des problématiques logistiques concrètes, notamment l'absence de mutualisation des flux et des ressources entre les transporteurs affiliés au groupe. Avec un réseau de plus de 2000 centres répartis dans 18 pays, Mobivia est confronté à des coûts de transport élevés, des retards de livraison fréquents, ainsi qu'à une empreinte environnementale croissante. L'objectif est de concevoir une plateforme collaborative centralisée permettant l'optimisation conjointe des tournées de livraison entre partenaires, tout en intégrant des objectifs économiques (réduction des coûts), environnementaux (diminution des émissions polluantes) et opérationnels



(amélioration de la qualité de service). Les travaux sont menés en collaboration avec le laboratoire LISIC (ULCO), ainsi qu'avec les équipes opérationnelles du groupe.

Pour améliorer les flux logistiques et réduire les retards chez Mobivia, nous avons modélisé un cas courant sous forme d'un problème de collecte et livraison avec multiples points de ramassage et fenêtres de temps. Cette modélisation vise à limiter les perturbations en magasin en assurant une livraison unique de commandes provenant de plusieurs fournisseurs, tout en respectant les délais imposés. Nous avons proposé deux approches heuristiques. La première, basée sur une méthode de construction, exploite les relations de précédence pour identifier les incompatibilités entre requêtes et définir un ordre de visite efficace. Les fenêtres de temps sont ajustées dynamiquement pour garantir la faisabilité. Cette approche améliore les meilleurs résultats connus sur des instances de la littérature jusqu'à 100 nœuds, avec un gain de 0,2 % sur le coût. La seconde combine une procédure gloutonne avec recherche locale, une mémoire globale pour éviter les évaluations redondantes, et une post-optimisation via un modèle de couverture d'ensembles. Elle résout efficacement des instances jusqu'à 400 nœuds, avec une amélioration moyenne de 0,41% [Bou24, CI]. Une version étendue de cette contribution vient d'être acceptée dans *Computers and Operations Research*. Enfin, une extension bi-objectif du problème est également explorée, visant à minimiser simultanément les coûts de transport et le déséquilibre de charge entre véhicules. L'approche repose sur une décomposition du problème en sous-problèmes mono-objectifs, chacun résolu à l'aide des méthodes développées dans les travaux précédents. Cette stratégie permet de réutiliser efficacement les composants algorithmiques existants tout en générant un ensemble de solutions diversifiées. Les premiers résultats montrent que cette approche permet de construire une approximation satisfaisante du front de Pareto. Cette contribution répond directement à la demande du groupe Mobivia d'introduire la dimension multicritère dans l'optimisation des tournées collaboratives.

Nous nous sommes également intéressés au problème de tournées des véhicules électriques (GVRP, Green vehicle routing problem), où des véhicules à autonomie limitée doivent visiter des clients tout en se rechargeant dans des stations de carburants alternatifs. Nous proposons une approche de recherche tabou (multi-start) avec recombinaison des routes basée sur le problème de partitionnement d'ensembles (MSTS-SP) structurée en deux phases. Dans la première phase, MSTS-SP utilise une nouvelle heuristique constructive (sectorisation aléatoire avec réparation) pour générer diverses solutions initiales améliorées par plusieurs exécutions indépendantes de la recherche tabou. Les meilleures routes trouvées lors de ces exécutions sont ensuite combinées pour sélectionner la meilleure combinaison de routes (modèle linéaire). Des expérimentations menées sur une classe de 52 instances de référence GVRP montrent que MSTS-SP correspond à 46 des meilleures solutions de la littérature et améliore la meilleure solution connue pour une instance de grande taille [Dri25, CI].

## 3.2 Ordonnancement

Parmi les travaux de l'équipe SCOP en ordonnancement, on mettra en avant ceux sur le RCPSP (Resource Constrained Project Scheduling Problem), un problème fondamental de la Recherche Opérationnelle, à l'image du job-shop, du sac à dos et du voyageur de commerce. Il s'agit du problème d'ordonnancement cumulatif où on doit exécuter en une durée minimale des tâches soumises à des contraintes de ressource. Les ressources peuvent des êtres humains, de l'énergie, des outils, des machines, etc. Les tâches peuvent être des opérations de fabrication, de construction, de maintenance, d'emploi du temps, etc. Ce problème apparaît comme sous-problème de très nombreux problèmes industriels. L'approche classique, très efficace, consiste à le décomposer en autant de problèmes cumulatifs qu'il y a de ressources et en relâchant les contraintes de précédence pour obtenir des dates de disponibilité



et des durées de latence. Une instance du problème cumulatif est formée d'une ressource avec une capacité et un ensemble de tâches, chacune caractérisée par sa durée, sa durée de latence et sa demande en unités de ressource. Le problème consiste à affecter à chaque tâche une date de début de telle sorte que toutes les contraintes de temps sont satisfaites, qu'à aucun instant la capacité de la ressource n'est dépassée et que la durée totale de l'ordonnancement est minimisée. Les logiciels d'ordonnements utilisent tous le raisonnement énergétique, basée sur une borne destructive obtenue en remplaçant les durées de latence par des *deadlines*. Un algorithme testant la faisabilité du problème, de complexité quadratique, a été proposé par Baptiste, Le Pape and Nuijten en 1998. Les auteurs dans leur livre de 2001 posaient la question importante de savoir si cette complexité pouvait être améliorée. La question ouverte pendant vingt ans était de savoir si on pouvait faire mieux. Ouellet and Quimper en 2018 ont proposé un algorithme de complexité  $O(n \log(n) \log(n))$  pour le test de faisabilité ce qui améliore la complexité précédente. Cet algorithme très élaboré utilise des matrices de Monge. Nous avons fait mieux en 2021 avec un algorithme de complexité  $O(\alpha(n)n \log(n))$ , basé sur une caractérisation mathématique des intervalles critiques et un théorème de l'énergie. Par ailleurs, jusqu'à récemment, la complexité des ajustements de la littérature associés au raisonnement énergétique était cubique. Cela confirme l'actualité et l'importance de ce problème pour la recherche en ordonnancement. Nous avons élaboré pour ces ajustements un algorithme de complexité quadratique. Par ailleurs, nous nous intéressons plus directement au problème d'optimisation. Nous avons caractérisé mathématiquement les trois bornes inférieures classiques pour le problème cumulatif et avons établi un théorème de l'énergie caractérisant un intervalle critique. Nous montrons qu'ER diffère de JPPS quand des tâches différentes doivent s'exécuter avant et après l'intervalle. La borne préemptive diffère de JPPS car à l'optimum des périodes d'oisiveté obligatoires supplémentaires peuvent être nécessaires. Nous avons aussi réussi à borner théoriquement les écarts au pire entre les trois bornes. Ces écarts sont atteints et valent dans chaque cas la plus grande durée d'une tâche [Car24a, RI]. Enfin un algorithme de complexité quadratique pour le calcul effectif de la borne énergétique a été développé. L'algorithme consiste à augmenter incrémentalement une durée  $C_{\max}$  jusqu'à ce que notre checker accepte la donnée [Car24b, RI]. Des travaux proposant une nouvelle définition de l'énergie afin d'obtenir des meilleures bornes [Kum25a, CI] et un checker plus performant ont été élaborés.

### 3.3 Optimisation

Les travaux de l'équipe en optimisation concernent à la fois des problèmes de réseaux incluant les problèmes de localisation et de routage ([Bia24, RI]), la conception et le fonctionnement des réseaux d'eau, d'énergie, de télécommunication et des réseaux intermittents et aussi des problèmes de nature plus fondamentale, en lien avec l'équité et la robustesse. L'optimisation robuste a été au centre de travaux de l'équipe dans le passé et cela a repris les dernières années avec les travaux de thèse de A. Zyle, avec la caractérisation des ensembles d'incertitudes pour des cas généraux. À titre d'exemple, on peut relâcher les hypothèses d'indépendance et des écarts uniformes et symétriques de l'ensemble des incertitudes présentés par Bertsimas et Sim ce qui conduit à considérer les incertitudes basées sur les scénarios.

Nous considérons alors des patterns représentatifs des scénarios. Cela nous a conduit à une extension de la notion de hitting set, donnant lieu à un nouveau problème appelé P-K set cover pour lequel une méthode basée sur la génération de colonnes a été proposée et testée [Zyl25, CI].

L'équité est un domaine étudié depuis longtemps et enrichi récemment avec des modèles probabilistes ([Bal24, RI]). Enfin, nous montrons à travers de ce dernier travail le lien fort qui



existe entre équité et robustesse dans ces modèles. Des travaux récents avec Orange Labs concernent l'allocation de ressources dans les réseaux 5G. La problématique de placement des contrôleurs dans un réseau sujet à des attaques a fait l'objet d'une étude et d'une méthode efficace et très simple numériquement, de complexité  $o(n \log(n))$ , tandis que dans la littérature on retrouve des méthodes très complexes faisant usage de l'optimisation bi-niveaux, de la théorie des jeux ou du *machine learning*. Les simulations montrent que notre solution procure presque systématiquement la même couverture du réseau en cas d'attaques avec un coût de calcul extrêmement faible en comparaison avec la littérature.

L'équipe a établi un partenariat industriel très fort, toujours d'actualité, avec des thèses en convention Cifre en cours impliquant Savoye et SNCF. On illustrera ces collaborations avec des travaux sur la problématique d'optimisation de la planification horaire des sillons en simultanée avec des roulements matériels basé sur la simulation microscopique (SNCF) [Mal24, CI], [Mal25a, CI], [Mal25b, CI] et la problématique d'affectation des emplacements de stockage axé sur l'optimisation du placement des produits afin de rationaliser les processus de préparation des commandes (Savoye) [Bel24, CO], [Bel25, CI], [Bel25, CO]. Cette étude a pour objectif de minimiser le nombre de postes de travail par lesquels une commande doit transiter, améliorant ainsi l'efficacité opérationnelle et réduisant les temps de préparation.

Des travaux plus récents concernent l'utilisation de la méthode de génération de colonnes pour la résolution de problèmes de job shop flexible avec objectif la minimisation des sommes dates de fins de tâches [Boz25, CI]. Il s'agit d'une collaboration avec le laboratoire Dibris de l'Unige.

## 3. PROJETS ET COLLABORATIONS

---

### 1 Bilan des projets et des ressources propres de l'équipe

La Figure 16 présente sous forme d'une frise chronologique les projets de l'équipe entre 2023 et 2025, leurs budgets globaux ainsi que leurs dates de début et de fin. On observe une forte activité de projets industriels (en rouge), notamment avec IRT Railenium et plusieurs thèses en convention Cifre, qui représentent une part importante des financements récents.

### 2 Collaborations nationales et internationales

L'équipe entretient des collaborations nationales et internationales attestées par des co-publications. Au niveau international, à signaler une collaboration qui se poursuit depuis plusieurs années sur les réseaux FSO (Free Space Optics) avec l'université de technologie Varsovie, ainsi que plusieurs collaborations avec les universités de Gênes et de Tirana. Un projet PEPS a permis d'établir une collaboration suivies avec le laboratoire dibris d'UNIGE. A signaler aussi des collaborations avec des universités Algériennes (ESI-Alger, Univ. Béjaia, Univ. Biskra, CERIST) dans le domaine des réseaux et cybersécurité, avec des universités Italiennes (Rome, Pise, Bologne, Modene, Cassino), Allemandes (Chemnitz), Belges (ULB), Suédoises (Karlstad), Danoises (DTU, Copenhagen), Croates (Zagreb), Australiennes (RMIT Melbourne) dans le domaine de l'optimisation et avec une université Chinoise (Shangai Jiao Tong) dans le domaine de la sûreté de fonctionnement. Enfin une collaboration engagée depuis plusieurs années avec l'université Libanaise et qui se développe dans le cadre de l'IRP Adonis, donne lieu à des thèses en co-tutelle sur des sujets liés à la tolérance aux fautes des drones aériens ainsi que sur la sécurité dans les réseaux IoT. Au niveau national à signaler plusieurs collaborations avec les laboratoires LORIA (Nancy), IRISA (Rennes), CITI (INSA



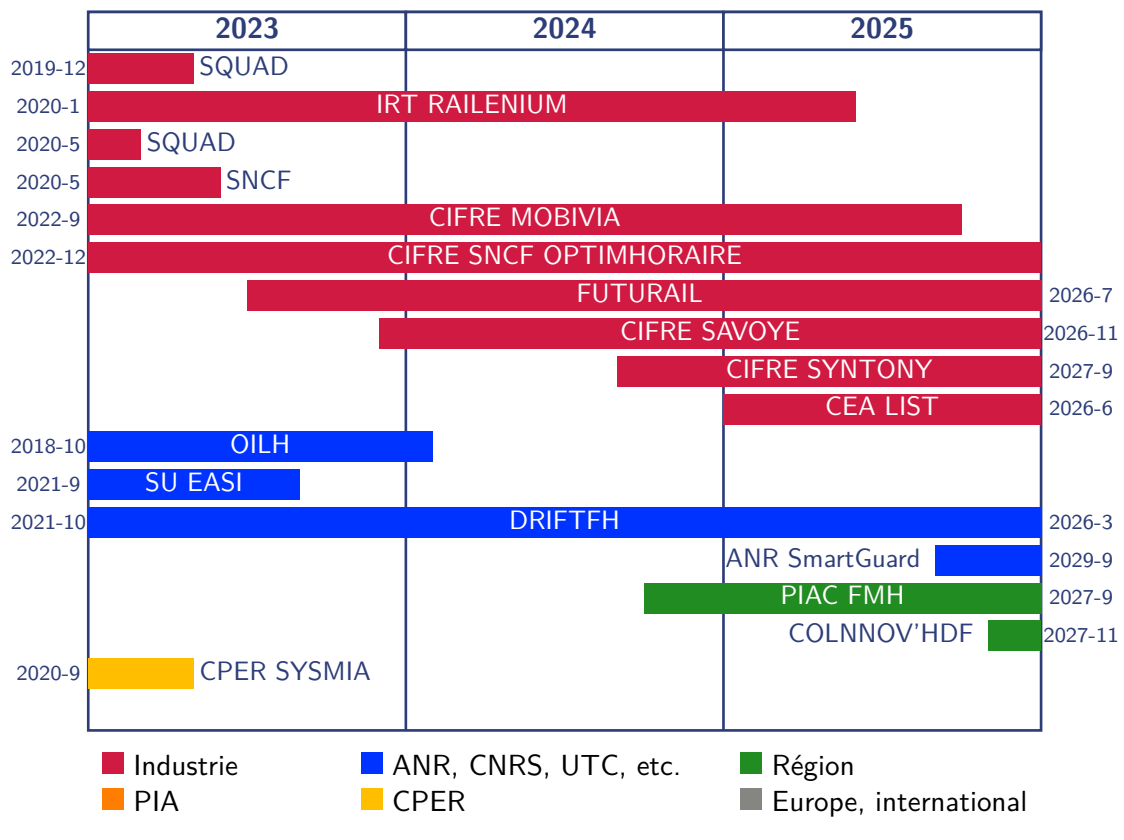


Figure 16 – Projets de l'équipe SCOP sur la période 2023-2025. Les montants indiqués correspondent au budget global alloué au projet. Le projet MS2T est un projet inter-laboratoire, dont le budget propre au laboratoire a été équiréparti sur les trois équipes.



Lyon), ENS Lyon, LAAS (Toulouse), LAMIH (UPHF), LM2S (UTT), INRIA (Lille), IGM UMR CNRS 8049 (Université Paris-Est-Marne-La-Vallée), LARIS (Université Catholique de l'Ouest, Angers), Université du Littoral Côte d'Opale, l'UGE, LAMSADE (Paris Dauphine) dont certaines ont donné lieu à des projets communs (comme le projet SU-Emergence EASI avec LIP6, 2021-2023), sur les algorithmes efficaces pour l'ordonnancement et à des co-encadrements de thèse.

### 3 Collaborations locales

Au niveau du laboratoire, l'équipe SCOP collabore avec l'équipe SyRI sur la tolérance aux pannes des drones aériens et l'évaluation de la sûreté de fonctionnement des systèmes GNSS dans le domaine ferroviaire, ainsi qu'avec l'équipe CID pour la sûreté de fonctionnement des mécanismes d'intelligence artificielle.

## 4. RAYONNEMENT

---

### Responsabilités et instances d'évaluation

- A. Jouglet est co-animateur du groupe de recherche GoTha (Groupe de recherche en Ordonnancement Théorique et Appliqué) du GDR RO.
- M. Sallak est co-animateur du groupe de travail GT ASHM (Automatique et Systèmes Homme-Machine) de la SAGIP.
- M. Sallak est membre du Comité de Labellisation (COLAB) de I-TRANS (pôle français pour l'industrie ferroviaire).
- W. Schön est membre du COSS (Conseil d'Orientation Scientifique et Stratégique) de l'IRT Railenium.
- D. Nace est membre du comité d'accréditation des établissements de l'enseignement supérieur mis en place par le gouvernement de la République d'Albanie (équivalent de l'HCERES en France).
- D. Nace est membre du Haut Conseil de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche auprès du gouvernement albanais 2024-2025.
- D. Nace est membre du CIFA (Conseil d'Innovation Franco-Albanaise).

### Organisation de conférences

- L'équipe a participé à l'organisation de la conférence internationale SOSE'2025 qui a eu lieu en juin 2025.

### Comités de rédaction et de programme de conférences

Les membres de l'équipe ont participé à des comités de programme de nombreuses conférences internationales et nationales. Parmi les plus importantes :

- Congrès international Lambda-Mu 2024,
- IEEE International Conference on Communications : Communication and Information Systems Security Symposium (IEEE ICC'24),
- IEEE Intelligent Cybersecurity Conference (ICSC2024),



Des membres de l'équipe sont également membres des comités scientifiques, éditeurs invités ou évaluateurs pour de nombreuses revues dont Ad Hoc Networks, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Journal of Computer and System Science, Array, Applied Soft Computing, Omega pour ne citer que les plus importantes.

### Séjours à l'étranger

- Dritan Nace effectue de façon régulière des séjours de deux semaines à l'Université Polytechnique de Tirana. Deux séjours de deux semaines ont eu lieu en 2024.

### Expertises diverses

- W. Schön est expert agréé par l'état pour l'évaluation de la sécurité de projets de transport ferroviaire.
- M. Sallak est expert auprès de la Commission européenne (Agence CINEA - European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency).

## 5. FAITS MARQUANTS

---

- D. Nace a été reconduit au conseil d'accréditation des universités (Albanie) Pitt (2025-2029).
- D. Nace a été nommé directeur du campus ICCT à Tirana.
- Y. Bouvet et M. Sallak ont participé à la nuit de la recherche organisée par l'UTC en 2024 et 2025.

## 6. VALORISATION

---

- Une thèse CIFRE avec la société SYNTONY sur l'évaluation de la sûreté de fonctionnement des systèmes GNSS co-encadrée par Mohamed Sallak et Joelle Al Hage a démarré en septembre 2024 dans le cadre du projet ECOTRAIN.
- Un projet collaboratif a été réalisé en 2024 par Mohamed Sallak avec la société suisse AlivedX dans le domaine de la maintenance prévisionnelle des systèmes de santé.
- D. Nace co-dirige une thèse de Erison Ballasheni (UPT) depuis 2024.



## 7. LISTE DES PUBLICATIONS

---

### Publications majeures dans des revues (ACL +)

- [Ben25, RI] **Benghename, Y., Lounis, A., Sallak, M., et Schön, W.** Cybersecurity Standards Across Industries : A Critical Analysis of Current Practices and Future Directions in the Railway Sector. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, pages 1–22, 2025.
- [Lye25, RI] Lye, A., Vechgama, W., **Sallak, M.**, Destercke, S., Ferson, S., et Xiao, S. Advances in the Reliability Analysis of Coherent Systems under Limited Data with Confidence Boxes. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A : Civil Engineering*, volume 11(1), 2025.
- [Qiu25, RI] Qiu, S., Tu, D., et **Sallak, M.** Joint Scheduling of Production and Condition-Based Maintenance Activities for Make-To-Order Deteriorating Manufacturing Systems Under Repairmen Constraint. *Naval Research Logistics*, 2025.
- [Tar25, RI] **Tarhan, I.**, Hanen, C.C., Munier-Kordon, A., **Carlier, J.**, et **Jouglet, A.** FPT implicit enumeration of active schedules. *Discrete Applied Mathematics*, volume 376 :235–250, 2025.
- [Tou25, RI] Touazi, D., Mohammedi, M., Omar, M., et **Bouabdallah, A.** Predictive Road Optimization Strategy for Efficient Message Delivery in Delay-Tolerant Networks. *Wireless Personal Communications*, volume 144(3-4) :337–375, 2025
- [Bal24, RI] Ballasheni, E., **Nace, D.**, Tomaszewski, A., et **Zyle, A.** A Probabilistic Optimisation Approach to the Equitable Controller Location Problem. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, volume 22(2) :1812–1824, 2024.
- [Bey24, RI] **Beyrouiti, M., Lounis, A., Lussier, B., Bouabdallah, A.**, et Samhat, A.E. Vulnerability-oriented risk identification framework for IoT risk assessment. *Internet of Things*, volume 27 :101333, 2024.
- [Bia24, RI] Biallach, H., Bouhtou, M., **Kumbria, K., Nace, D.**, et Tomaszewski, A. Virtual network function reconfiguration in 5G networks : An optimization perspective. *Networks*, volume 83(4) :673–691, 2024.
- [Car24a, RI] **Carlier, J.** et Hanen, C.C. Measuring the slack between lower bounds for scheduling on parallel machines. *Annals of Operations Research*, volume 338 :347–377, 2024
- [Car24b, RI] **Carlier, J., Jouglet, A.**, et Sahli, A. Algorithms to compute the energetic lower bounds of the cumulative scheduling problem. *Annals of Operations Research*, volume 337 :683–713, 2024
- [Dav24, RI] Davot, T., Vu, T.A., Destercke, S., et **Savourey, D.** On the enumeration of non-dominated matroids with imprecise weights. *International Journal of Approximate Reasoning*, volume 174 :109266, 2024.
- [Gar24, RI] Garcia, I.B., Daaboul, J., **Jouglet, A.**, et Le Duigou, J. Comparing sequential and integrated models in Reconfigurable Manufacturing Systems optimization. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, volume 15(2) :140–155, 2024.
- [Zor24, RI] **Zormati, M.A.**, Lakhlef, H., et Ouni, S. Review and analysis of recent advances in intelligent network softwarization for the Internet of Things. *Computer Networks*, volume 241 :110215, 2024.



### Autres publications en revues (ACL)

- [Car25, RI] **Carlier, J.**, Pinson, E., Sahli, A., et **Jouglet, A.** Comparison of three classical lower bounds for the Parallel Machines Scheduling Problem. *RAIRO - Operations Research*, volume 59(3) :1475–1500, 2025.
- [Pli24, RI] Plissonneau, A., Jourdan, L., Trentesaux, D., Abdi, L., **Sallak, M.**, Bekrar, A., Quost, B., et **Schön, W.** Deep reinforcement learning with predictive auxiliary task for autonomous train collision avoidance. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, volume 31 :100453, 2024.

### Communications majeures avec actes dans des conférences (ACTI+)

- [Bal25, CI] Ballasheni, E., Shinko, I., **Nace, D.**, **Zyle, A.**, et Kolici, V. Strategic Placement of Access Points for Maximizing Wi-Fi Quality. In *20th Annual System of Systems Engineering Conference (SoSE 2025)*, pages 1–6. Tirana, Albania, 2025.
- [Bel25, CI] **Belul, E.**, **Nace, D.**, **Jouglet, A.**, et Bouznif, M. Optimizing Automated Warehouse Operations : A Novel Approach to the Correlated Storage Location Assignment Problem (CSLAP). In *20th Annual System of Systems Engineering Conference (SoSE 2025)*. Tirana, Albania, 2025.
- [Boz25, CI] Bozzi, A., **Zyle, A.**, **Nace, D.**, et Zero, E. A System-of-Systems Approach to Flexible Job-Shop Scheduling Using Column Generation. In *20th Annual System of Systems Engineering Conference (SoSE 2025)*, pages 1–6. Tirana, Albania, 2025.
- [Jab25, CI] **Jaber, G.**, Vergnol, C., et **Bouabdallah, A.** A Trust Management Architecture for Energy Efficient Mobile IoT. In *Proceedings of the IEEE International Symposium on Service-Oriented System Engineering (SOSE)*, pages 1–5. Tirana, Albania, 2025
- [Kum25a, CI] **Kumbria, K.**, **Carlier, J.**, **Jouglet, A.**, et Sahli, A. Lower Bounds for the Cumulative Scheduling Problem Based on Energetic Reasoning. In *20th Annual System of Systems Engineering Conference (SoSE 2025)*, pages 1–6. Tirana, Albania, 2025.
- [Mal25a, CI] **Maliqari, E.**, **Nace, D.**, **Jouglet, A.**, et Barbarino, G. Integrated Optimization of Railway Timetables and Rolling Stock Scheduling. In *20th Annual System of Systems Engineering Conference (SoSE 2025)*, pages 1–6. Tirana, Albania, 2025.

### Autres communications avec actes dans des conférences (ACTI)

- [Ara25a, CI] **Arab, A.**, **Jaber, G.**, et **Bouabdallah, A.** A Risk-based Adaptive Authentication Model for Mobile IoT. In *Proceedings of the IEEE International Symposium on Local and Metropolitan Area Networks (LANMAN)*, pages 1–6. Lille, France, 2025
- [Ara25b, CI] **Arab, A.**, **Jaber, G.**, et **Bouabdallah, A.** Energy Optimization in IoT Adaptive Security : a Performance Comparison of Deep Reinforcement Learning Approaches. In *33rd International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM 2025)*, pages 1–6. Split, Croatia, 2025.
- [Ben25a, CI] **Benghename, Y.**, **Lounis, A.**, et **Sallak, M.** Cybersecurity Risk Assessment of Wheel Slide Protection System in Railways. In *IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT 2025)*, pages 431–438. Beijing, China, 2025
- [Ben25b, CI] **Benghename, Y.**, **Lounis, A.**, et **Sallak, M.** Toward Secure and Safe Railway Operations : Embedding Safety in Cybersecurity Frameworks. In *IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. Gold Coast, Australia, Australia, 2025.



- [Cle25, CI] Clerc, J., Lourdeaux, D., **Sallak, M.**, Barbier, J., et Ravaine, M. Modeling Interactive Narrative Systems : A Formal Approach. In *8th International Workshop on Computational Models of Narrative (CMN'25)*. Genève, Switzerland, 2025.
- [Dri25, CI] Dridi, A., Tayachi, D., **Moukrim, A.**, et Said, L.B. A Multi-Start Tabu Search with Set Partitioning for the Green VRP. In *11th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT 2025)*, pages 2828–2833. Split, Croatia, 2025.
- [Jab25a, CI] **Jaber, G.**, Bouchard, R., Bruniaux, A., Garcher, T., Kebli, S., Guan, M., et Zhang, Z. Adaptive and Context-Aware Defenses Against Interest Flooding Attacks in CCN-based IoT. In *Proceedings of the International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*, pages 1–6. Split, Croatia, 2025.
- [Jab25b, CI] **Jaber, G.**, **Zormati, M.A.**, Cavalius, W., Chapiro, L., et El Ahmadi, M. Toward Secure Content-Centric Approaches for 5G-Based IoT : Advances and Emerging Trends. In *Proceedings of the International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*, pages 1–6. Split, Croatia, 2025.
- [Kum25b, CI] **Kumbria, K.**, **Carlier, J.**, **Jouglet, A.**, et Sahli, A. A constructive lower bound for the cumulative scheduling problem. In *26ème congrès annuel de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision (ROADEF 2025)*. Champs Sur Marne, France, 2025.
- [Lak25, CI] Lakhlef, H., **Zormati, M.A.**, Abid, K., et Ahmed, T. Probabilistic Time Slot Leasing in TDMA-Based IoT Networks for Enhanced Channel Utilization. In *27th International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWIM 2025)*, pages 679–686. Barcelona, Spain, 2025.
- [Mal25b, CI] **Maliqari, E.**, **Nace, D.**, **Jouglet, A.**, Barbarino, G., et Hamelin, L. Optimization of railway resource planning process in a multi-level scale. In *12th Triennial Symposium on Transportation Analysis conference (TRISTAN XII)*. Okinawa, Japan, 2025.
- [Zyl25, CI] **Zyle, A.**, **Nace, D.**, et Tomaszewski, A. A Column Generation Approach for the P-K Set Cover Problem. In *26ème congrès annuel de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision (ROADEF 2025)*. Champs Sur Marne, France, 2025.
- [Ara24, CI] **Arab, A.**, Mahamat, M., **Jaber, G.**, et **Bouabdallah, A.** Optimizing Energy Consumption for IoT Adaptive Security : A Mobility-Based Solution. In *Lecture Notes in Networks and Systems*, volume 956, pages 280–291. Madrid, Spain, 2024.
- [Ben24a, CI] Bendaouia, S., **Lounis, A.**, et **Bouabdallah, A.** Green, scalable and efficient IoT architecture. In *9th International Conference on Fog and Mobile Edge Computing (FMEC 2024)*, pages 237–244. Malmö, Sweden, 2024.
- [Ben24b, CI] **Benghename, Y.**, **Lounis, A.**, **Sallak, M.**, et Bouvet, Y. Applying Penetration Testing Techniques to Strengthen ERTMS Communication Security. In *4th ERA-ENISA Conference on Cybersecurity in Railways*. Lille (France), France, 2024.
- [Bey24, CI] **Beyrouti, M.**, **Lounis, A.**, **Lussier, B.**, **Bouabdallah, A.**, et Samhat, A.E. Security-Bag : A Specification-based Intrusion Detection System Applied to Star Topology BLE Networks. In *11th International Conference on Internet of Things : Systems, Management and Security (IOTSMS 2024)*, pages 169–176. Malmö, Sweden, 2024.
- [Bou24, CI] Bouhlla, S., Guibadj, R.N., et **Moukrim, A.** Efficient Heuristic to Solve the Multi-Pickup and Delivery Problem with Time Windows. In *International Conference on Applied Mathematics and Computer Science (ICAMCS 2024)*, volume 1311. Hanoi, Vietnam, 2024.
- [Kum24, CI] **Kumbria, K.**, **Carlier, J.**, **Jouglet, A.**, et Sahli, A. A New Energetic Reasoning



for the Cumulative Scheduling Problem : A Dynamic Programming Approach. In *25e congrès annuel de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision (ROADEF 2024)*. Amiens, France, 2024.

- [Lak24, CI] Lakhlef, H., Abid, K., **Jaber, G.**, et d'andreagiovanni, F. Efficient Time Slot Recovery Protocol for Wireless Networks. In *39th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing (SAC 2024)*, pages 1742–1748. Avila Spain, Spain, 2024.
- [Mal24, CI] **Maliqari, E.**, **Nace, D.**, **Jouglet, A.**, et Barbarino, G. Optimisation des plans de transport ferroviaire dans une échelle microscopique. In *25e congrès annuel de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision (ROADEF 2024)*. Amiens, France, 2024.
- [Zyl24, CI] **Zyle, A.**, **Nace, D.**, Ballasheni, E., et Kolic, V. Ensuring Equitable Controller Placement : A Probabilistic Optimization Framework. In *25e congrès annuel de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision (ROADEF 2024)*. Amiens, France, 2024.

### Communications dans des conférences françaises (ACTN)

- [Ben25, CN] **Benghename, Y.**, **Lounis, A.**, **Sallak, M.**, **Schön, W.**, **Bouabdallah, A.**, et Bouvet, Y. Pinpoint Security Protocols and Unveiling Vulnerabilities in the ERTM-S/ETCS Transmission Systems. In *Congrès Lambda Mu 24*, volume Congrès Lambda Mu 24. l'INSA Centre Val de Loire, Bourges, France, 2025.

### Communications sans actes (COM)

- [Alh25, CO] **Alhachem, C.**, Kellil, M., et **Bouabdallah, A.** A Multi-Agent Deep Reinforcement Learning Approach for Traffic Management in Complex Communication Networks. In *21st International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC 2025)*. Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2025.
- [Bel25, CO] **Belul, E.**, **Nace, D.**, **Jouglet, A.**, et Bouznif, M. Novel Approach to the Correlated Storage Location Assignment Problem (CSLAP) in Automated Warehouse Environments. In *26ème congrès annuel de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision (ROADEF 2025)*. Champs sur Marne, France, France, 2025.
- [Mal25, CO] **Maliqari, E.**, **Nace, D.**, **Jouglet, A.**, et Barbarino, G. Planification intégrée des sillons et des matériels roulants dans une échelle microscopique. In *26ème congrès annuel de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision (ROADEF 2025)*. Marne-là-Vallée, France, 2025.
- [Ara24, CO] **Arab, A.**, **Jaber, G.**, et **Bouabdallah, A.** Towards adaptive security for mobile IoT. In *Technological Systems, Sustainability and Safety (TS3)*. Paris, France, 2024.
- [Bel24, CO] **Belul, E.**, **Nace, D.**, **Jouglet, A.**, et Bouznif, M. Strategic Solutions for Warehouse Optimization : Tackling the Storage Location Assignment Problem. In *25e congrès annuel de la Société Française de Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision (ROADEF 2024)*. Amiens, France, 2024.
- [Kel24, CO] Kellil, M., **Bouabdallah, A.**, et **Alhachem, C.** Towards a Multi-Agent Deep Reinforcement Learning Approach for End-to-End Latency Minimization in Complex Communication Networks. In *7th International Conference on Machine Learning for Networking (MLN'2024)*. Reims, France, 2024.



- [Kum24a, CO] **Kumbria, K., Carlier, J., Jouglet, A.**, et Sahli, A. More powerful energetic reasoning using redundant resources for the Cumulative Scheduling Problem. In *33rd European Conference on Operational Research (EURO 2024)*. Copenhagen, Denmark, 2024.
- [Kum24b, CO] **Kumbria, K., Carlier, J., Jouglet, A.**, et Sahli, A. A more powerful checker for the cumulative scheduling problem. In *19th International Workshop on Project Management and Scheduling (PMS 2024)*. Bern, Switzerland, 2024.
- [Zor24, CO] **Zormati, M.A.**, Lakhlef, H., et Ouni, S. Routing Optimization Based on Distributed Intelligent Network Softwarization for the Internet of Things. In *39th ACM/SI-GAPP Symposium on Applied Computing (SAC 2024)*, pages 1757–1764. Avila Spain, Spain, 2024.



# SyRI

## Systèmes Robotiques en Interaction

### 1. DESCRIPTION DE L'ÉQUIPE

---

#### Objectifs scientifiques

L'idée directrice de l'équipe SyRI est d'étudier et de développer des systèmes robotiques coopératifs. Notre objectif de recherche est de doter ces systèmes d'un système de contrôle-perception précis leur permettant un haut degré d'autonomie décisionnelle pour naviguer en toute sécurité dans des environnements dynamiques et non structurés, ou pour interagir ou coopérer avec d'autres robots ou avec des humains.

Cet objectif est articulé en trois axes. Le premier porte sur la commande, la planification et la prise de décision du système robotique. Le deuxième porte sur la perception, la fusion de données et l'estimation d'état en attachant une grande importance à la propagation des incertitudes depuis la perception jusqu'aux étapes finales de décision/action. Enfin, le troisième axe s'intéresse à la coopération entre robots et à l'interaction des robots avec l'humain.

#### Membres

Au 31 décembre 2025, l'équipe était constituée de 12 chercheurs et enseignants-chercheurs permanents, 1 directeur de recherche émérite, 1 ECC CDD, 9 membres associés dont 8 externes, 2 IRs, 3 Postdoctorants et 19 doctorants, soit 47 personnes au total. La responsabilité de l'équipe a été confiée à Pedro Castillo en 2025, avec Reine Talj comme adjointe.

L'équipe a subi des changements en 2024 avec la mise en disponibilité de deux membres et le départ d'un chercheur CNRS, la mutation d'un permanent de l'équipe SCOP et l'arrivée de deux nouveaux collègues en 2024 (MdC) et 2025 (ECC CDD).

Les enseignants-chercheurs titulaires relèvent majoritairement de la section 61 du CNU (un membre est de la section du CNU 27), et les chercheurs CNRS de la section 3 du CoNRS.

Les membres permanents de l'équipe sont répartis en 61% de rang A (5 PR, 2 DR, 1 ECC-HDR) et 39% de rang B (4 MCF, 1 ECC CDD) dont 1 a une habilitation à diriger des recherches.



Table 5 – Membres permanents et émérites de l'équipe SyRI en 2024-2025

Nom	Prénom	Statut	2024	2025
<b>Permanents, ECC CDD</b>				
<b>Adouane</b>	Lounis	PR	■	■
<b>Al Hage</b>	Joëlle	MCF	■	■
<b>Bonnifait</b>	Philippe	PR	■	■
<b>Carino</b>	Jossué	ECC CDD		■
<b>Castillo</b>	Pedro	DR CNRS	■	■
<b>Charara</b>	Ali	PR	■	■
<b>Cherfaoui</b>	Véronique	PR	■	■
<b>Correa Victorio</b>	Alessandro	MCF HDR	■	■
<b>Ducourthial</b>	Bertrand	PR	■	■
<b>Moreau</b>	Julien	MCF	■	■
<b>Setitra</b>	Insaf	MCF	■	■
<b>Talj</b>	Reine	DR CNRS	■	■
<b>Thouvenin</b>	Indira	ECC HDR	■	■
<b>Boukerroui</b>	Djamal	MCF HDR <sup>1</sup>	■	■
<b>De Miras</b>	Jérôme	MCF HDR <sup>2</sup>	■	■
<b>Xu</b>	Philippe	MCF HDR <sup>3</sup>	■	■
<b>Émérites</b>				
<b>Lozano</b>	Rogelio	DR CNRS	■	■
<b>Associés</b>				
<b>Armand</b>	Alexandre	IR Ampère	SIVALab	■
<b>Benloucif</b>	Amir	IR Ampère	SIVALab	■
<b>Camarda</b>	Federico	IR Ampère	SIVALab	■
<b>Davoine</b>	Franck	DR CNRS	LIRIS	■
<b>Ibanez Guzman</b>	Javier	IR Ampère	SIVALab	■
<b>Mittet</b>	Marie-Anne	IR Ampère	SIVALab	■
<b>Vidolov</b>	Boris	MCF		■
<b>Xu</b>	Philippe	PR	ENSTA	■
<b>Zinoune</b>	Clément	IR Ampère	SIVALab	■

<sup>1</sup>En disponibilité depuis 2014

<sup>2</sup>En disponibilité depuis 2023

<sup>3</sup>En détachement depuis 2023

### Responsabilités locales significatives

- L. Adouane est membre élu du conseil de département Génie Informatique depuis 2019. Il est responsable de la filière INES (INformatique Embarquée et Systèmes autonomes) du Génie Informatique depuis septembre 2020.
- J. Al Hage est, depuis novembre 2021, membre élue au conseil du département GI, membre du conseil disciplinaire UTC et du conseil de l'école doctorale. Elle a été membre élue au conseil scientifique de l'UTC (Nov. 2021 - Nov. 2025). Elle est également responsable du parcours de master ARS depuis septembre 2023. Elle est membre élue au conseil d'administration de l'UTC depuis novembre 2025. Depuis 2025, elle



assure la co-responsabilité de la tâche WP4.2 du projet européen Alliance SUNRISE de l'UTC.

- P. Bonnifait est directeur du laboratoire Heudiasyc depuis janvier 2018. En tant que directeur d'unité, il est membre du comité de direction de l'UTC. Il est également membre nommé du conseil de département de Génie Informatique de l'UTC. Il a été directeur adjoint de la fédération SHIC jusqu'en décembre 2025. P. Bonnifait est aussi représentant des enseignants-chercheurs de l'UTC au conseil de surveillance d'UTEAM. Il a été membre du comité de pilotage du laboratoire commun Renault-UTC-CNRS SIVALab. Il est responsable de la thématique « robotique mobile terrestre » de l'EQUIPEX+ TIRREX depuis son lancement en 2021.
- P. Castillo est responsable de l'équipe SyRI (Systèmes Robotiques en Interaction) du laboratoire depuis janvier 2025. Il est responsable scientifique de l'activité drone au laboratoire depuis 2018. Depuis 2025, il coordonne la responsabilité de la tâche WP4.3 (recherche) du projet européen Alliance SUNRISE de l'UTC.
- V. Cherfaoui a été directrice du laboratoire commun SIVALab de octobre 2018 (avec J. Ibanez- Renault) à juin 2025. Elle a été membre élue au CEVU de l'UTC et membre du FSDIE (2020-2025). Elle est responsable de la formation doctorale (RFD) au laboratoire depuis septembre 2024. Véronique est la responsable scientifique de la plateforme véhicules du laboratoire.
- A. Correa Victorino a pris en 2021 la responsabilité de correspondant aux relations internationales du Génie Informatique et depuis 2022 il est responsable-adjoint de la formation par apprentissage au Génie Informatique. Il est coordinateur de la fête de la science 2024 et 2025 au laboratoire Heudiasyc (Département du Génie Informatique). Il a participé avec la DRI de l'UTC au montage du programme Erasmus+ SUSEE "Smaller Universities for Sustainability in Engineering Education". Il est membre élu au Conseil Scientifique de l'UTC dans le collège des enseignants-chercheurs HDR (2025-2029) et membre élu au Conseil du Département GI en qualité de représentant des Enseignants-Chercheurs (2025-2029).
- B. Ducourthial est co-référent du laboratoire Heudiasyc sur les questions de « durabilité » avec Cyprien Gillet. Il a été chargé d'une mission avec Valentin Le Gauche (TE&ES) pour élaborer le volet numérique responsable du plan stratégique de l'UTC. Depuis novembre 2025, il est vice-président du CEVU de l'UTC. Il participe également depuis cette date à la cellule de Qualité de Vie et Condition de Travail (QVCT) du laboratoire.
- J. Moreau est référent GdR IASIS du laboratoire depuis 2023. Il est également référent sur les Logiciels libres, Jeux de données et Sciences ouvertes depuis 2023. Il a participé à la rédaction d'une FAQ pour les "Science ouverte, logiciels libres et jeux de données".
- R. Talj est responsable adjointe de l'équipe SyRI, depuis janvier 2025, et membre du comité de direction du laboratoire Heudiasyc.
- I. Thouvenin est représentante du laboratoire de l'EQUIPEX+ CONTINUUM, membre du COMEX de CONTINUUM depuis janv. 2022.

### Implication dans les tâches collectives et la vie de l'unité

Les membres de l'équipe participent à la vie interne du laboratoire dans ses différentes phases ; participation au conseil de laboratoire, animation de groupes de travail, groupes de réflexion sur le plan de recrutement pluriannuel du laboratoire, implication dans les diverses actions initiées au sein du laboratoire (Egalité-parité, soutenabilité, etc...) et responsabilités



scientifiques des plateformes expérimentales. J. Moreau et Rhandy Cardenas (doctorant) ont été responsables des séminaires de l'équipe de 2020 - 2024. Depuis 2025, Insaf Setitra et Alejandro Tevera (doctorant) assurent l'organisation des séminaires de l'équipe.

### Formation par la recherche

Les membres de l'équipe sont fortement impliqués dans le master « Ingénierie des Systèmes Complexes » (ISC) de l'UTC dans le parcours « Automatique et Robotique des Systèmes intelligents » (ARS) avec la responsabilité de 4 cours.

L'encadrement des stagiaires de master a doublé cette année, tandis que des doctorants est resté stable sur la période. L'équipe a encadré 6 étudiants en projet de master en 2024, et 12 étudiants en 2025.

Les financements de thèse sont variés. Au 31 décembre 2025 l'équipe comptait 19 doctorants financés par des allocations MESR ( $2\frac{1}{2}$ ), des conventions CIFRE ou contrats industriels (5), des (co)-financements des gouvernements étrangers (3), des projets nationaux ou internationaux (5), organismes publiques (1), et (1) de l'UTC et deux co-financement de la région. 4 thèses en cotutelle (Université de Genes, CINVESTAV- Mexico / Saltillo), dont 3 ont démarré en 2024. Plusieurs thèses sont co-encadrées avec des collègues extérieurs locaux (lab. Roberval, UTC), nationaux (INRIA-Sofia) et internationaux (université de Tokyo, IIT- Istituto Italiano di Tecnologia). Deux thèses en co-direction avec des membres des équipes SCOP et CID respectivement ont démarré en 2024. La thèse avec l'équipe CID est une thèse CIFRE avec Renault.

La table 6 montre l'évolution des encadrements sur la période. 5 thèses ont été soutenues en 2024 et 6 en 2025.

Table 6 – Bilan des membres temporaires de l'équipe SyRI en 2024 - 2025

	2024	2025
<b>Stagiaires master</b>	6	12
<b>Thèses soutenues</b>	5	6
<b>Thèses abandonnées</b>	2	0
<b>CDD Recherche/Enseignement</b>	1	5
<b>Doctorants</b>	18	19

## 2. AVANCEMENT SCIENTIFIQUE

### Axe 1 – Commande, Planification et Décision

Cet axe vise à assurer la navigation sûre de robots mobiles autonomes dans des environnements dynamiques et incertains, sous contraintes. Cet axe s'articule autour de trois parties principales et complémentaires, qui adressent la commande, la planification de trajectoire et la décision.



## 1.1 Commande

La commande de systèmes robotiques constitue une activité importante de l'équipe. Nous avons des travaux en commande non linéaire appliquée à des systèmes robotiques comme les mini-drones aériens et les véhicules terrestres, avec des approches adaptatives et robustes aux perturbations et aux changements de dynamique. Des approches comme le mode glissant, la commande prédictive (MPC), le LPV/ $H_\infty$  sont développées, avec des preuves de stabilité par la théorie de Lyapunov. Des approches hybrides de contrôle basé données sont récemment introduites. L'équipe travaille aussi sur la planification de trajectoire et la prise de décision pour la navigation de systèmes robotiques en environnement dynamique et incertain. A noter que l'économie d'énergie est un objectif que nous adressons de plus en plus à travers nos différents développements. Ces sujets seront décrits dans les paragraphes suivants. Les développements théoriques développés sont validés numériquement et en temps réel sur nos plateformes expérimentales. Notre équipe SyRI utilise fortement trois plateformes expérimentales du laboratoire et plus exactement les véhicules intelligents, les drones et le CAVE pour la réalité virtuelle.

**Contrôle adaptatif pour la stabilisation de la charge suspendue avec un drone multirotor entièrement actionné** Nous avons proposé une nouvelle configuration complètement actionnée d'un multi-rotor (hexacoptère) avec des rotors non parallèles. Elle permet au drone d'exercer des forces horizontales sans avoir besoin de changer leur orientation. Dans la littérature sur le transport de charges utiles par drone aérien, peu de recherches sont menées avec des drones entièrement actionnés. Après la modélisation du système avec la charge, nous avons proposé un observateur à gain élevé étendu (EHGO- extended high-gain observer), qui utilise les mesures d'état de l'hexacoptère pour estimer le mouvement de la charge utile. Le contrôle du drone se fait par la combinaison de l'EHGO avec un contrôleur par mode glissant adaptatif (ASMC- adaptive sliding mode controller) (EHGO-ASMC). Une analyse de stabilité en boucle fermée est faite pour l'algorithme EHGO-ASMC, en utilisant la théorie de Lyapunov [Ari24, RI]. Un prototype a été construit et des validations expérimentales ont été réalisées, ces résultats peuvent être vus à travers le lien suivant : <https://youtu.be/G7dkQoP7gQk>.

**Conception d'un neuro-contrôle pour le rejet de perturbations d'un système non linéaire** Des études récentes sur la commande de systèmes non linéaire se sont concentrées sur les mécanismes adaptatifs, en particulier les réseaux de neurones (RN) associés à des contrôleurs robustes, pour améliorer le rejet des perturbations des drones. Les approches hybrides combinent des techniques adaptatives avec une commande robuste, comme les contrôleurs à modes glissants (SMC). Bien que ces approches soient très prometteuses, l'utilisation d'approximateurs, spécifiquement conçus pour les signaux périodiques ou quasi-périodiques, courants dans les effets aérodynamiques, reste moins explorée.

La contribution de ce travail porte sur deux propriétés adaptatives, en complément d'un SMC algorithmique, lorsque les conditions opérationnelles surviennent sans connaissance préalable. Les perturbations externes restantes, non compensées par le contrôleur à réseau de neurones, sont approchées par un terme de gain intégral adaptatif. Enfin, un superviseur d'erreur est proposé pour piloter le processus d'adaptation. À partir de la solution de sous-actionnement, un contrôleur d'attitude adaptatif à base de quaternions et sans oscillations est proposé pour les conditions opérationnelles changeantes avec des garanties théoriques, en considérant la stabilité en boucle fermée au sens de Lyapunov [TR25, CI].



**Estimation, contrôle et diagnostic des systèmes dynamiques** Des travaux ont été poursuivis sur l'estimation des paramètres de la dynamique de véhicules par une méthode hybride, basée sur des techniques d'apprentissage machine et des techniques à base de modèle. L'idée est de compenser les limitations des méthodes à base de modèles dynamiques, dues à leur dépendance à des paramètres incertains, par la connaissance générale apportée par les méthodes à base d'apprentissage. D'un autre côté, la continuité de représentations physiques apportées par les méthodes à base de modèles doit compenser les limitations associées aux méthodes à base d'apprentissage machine, dues à un entraînement incomplet [Kat24, RI]. Ces travaux sont menés en collaboration avec l'Université Fédérale de Lavras (UFLA) au Brésil. D'autres travaux ont consisté à synthétiser une loi de commande basée sur la "commande prédictive à base de modèle (MPC)" en intégrant le coefficient d'adhérence pneumatique-chaussée dans la boucle de commande.

**Architecture MPC holistique, adaptative et éco-énergétique pour le contrôle multi-objectif des véhicules autonomes à 4-roues motorisées IWM, et modélisation analytique pour l'allocation du couple sur les roues** Des architectures de commande multi-niveaux ont été développées pour le contrôle d'un véhicule électrique autonome, à 4-roues motorisées indépendamment. Ces architectures contiennent deux niveaux principaux : un haut niveau pour le contrôle du châssis, et un bas niveau pour l'allocation des couples moteur/-freinage sur les 4 moteurs des roues. Le haut niveau assure plusieurs objectifs de commande et génère des consignes pour le bas niveau, qui à son tour calcule les entrées de commande des actionneurs. Après le développement des architectures décentralisées basées mode glissant et centralisées basées LPV/ $H_\infty$  [Tar24a, RI], deux nouvelles architectures de commande prédictive (MPC) pour véhicules autonomes à 4-roues motorisées ont été développées, visant à améliorer l'efficacité énergétique, la stabilité et les performances de contrôle. La première architecture introduit un cadre MPC hiérarchique qui utilise un modèle d'ordre minimal pour intégrer les objectifs de suivi de trajectoire, de contrôle de vitesse et de stabilité. La seconde propose un MPC holistique, intégrant une allocation directe et éco-énergétique du couple et un critère de stabilité des pneumatiques. Un nouveau mécanisme de pondération adaptative multi-critère a été proposé. Ce mécanisme résout les conflits potentiels entre les objectifs, et améliore la robustesse face aux imprécisions de modélisation, aux incertitudes, aux perturbations et aux variations d'adhérence, tout en améliorant significativement les performances de contrôle. Ces développements ont été validés sur le simulateur SCANeR Studio, démontrant des améliorations significatives en termes de performances de contrôle en conditions difficiles, et d'économie d'énergie [Tar25, RI] [Tar25, CI].

## 1.2 Planification

La planification de trajectoire est une étape clé pour garantir une navigation sûre et optimisée dans un environnement dynamique. La trajectoire est composée d'un chemin et d'un profil de vitesse associé. Elle vise à assurer la sécurité et à être réactif aux évolutions dynamiques de l'environnement, tout en considérant les incertitudes et les contraintes diverses de l'environnement et des systèmes dynamiques en question.

**Planification de trajectoire pour véhicule autonome en environnement incertain** En se basant sur la méthode de planification de trajectoire réactive par tentacules, précédemment développée dans nos travaux antérieurs, nous avons proposé une nouvelle approche hybride économe en énergie, en intégrant la méthode échantillonnée par tentacules avec une méthode de raffinement de chemin basée sur l'optimisation. Cela permet à la fois de réduire le temps



de calcul et la consommation d'énergie, produisant une trajectoire contrôlée par le "jerk". Les résultats montrent d'importantes économies d'énergie tout en assurant la sécurité dans l'environnement évolutif et dynamique [Tar24, CI].

**Planification de profil de vitesse, sûre, confortable et en temps réel pour la conduite autonome urbaine** Pour la planification de profil de vitesse, nous avons développé une nouvelle approche éco-énergétique et contrôlée en terme de "jerk" (dérivée de l'accélération), basée sur la génération de polynômes quintiques. Une méthode générique est proposée pour déterminer la vitesse en fonction de plusieurs facteurs, tels que la vitesse relative avec les obstacles dynamiques, la courbure du chemin, l'adhérence de la chaussée et la pente de la route. Cela rend l'approche très robuste et améliore la sécurité. Une analyse comparative avec des méthodes de la littérature montre l'impact significatif de la régularité du "jerk" sur l'efficacité énergétique et le confort. Des simulations ont été effectuées sur le simulateur de véhicules SCANeR Studio, et sur un jeu de données réel, montrant les performances et l'efficacité computationnelle pour une large gamme de situations critiques [Tar24b, RI].

**Planification de profil de vitesses optimisées en énergie** Dans le cadre de la collaboration que nous menons avec l'Université de Tokyo depuis quelques années sur la navigation des véhicules électriques automatisés, nous avons en 2025 développé une méthodologie de navigation automatisée de véhicules électriques multi-actionnés avec une stratégie d'économie d'énergie en milieu urbain. En associant une approche de planification de profil de vitesses optimisées en énergie, développée à l'Université de Tokyo, à une méthode de navigation autonome en interaction avec le conducteur développée au Laboratoire Heudiasyc, nous avons mis en œuvre une approche visant à minimiser globalement la consommation d'énergie des véhicules électriques exécutant des tâches de navigation en milieu urbain [Hos25, CI].

### 1.3 Décision

La décision est une étape complémentaire à la planification de trajectoire, et permet d'adresser des contraintes à un niveau amont. Elle tient compte par exemple de l'évaluation du risque pour un système robotique navigant dans un environnement dynamique et incertain, en présence d'autres agents ou obstacles. Elle peut également considérer des règles sémantiques de l'environnement.

#### **Prise de décision basée sur l'évaluation des risques dans un environnement dynamique**

La garantie de la sécurité en environnement dynamique et en présence d'autres occupants de la route (véhicules, piétons, cyclistes, ...) reste un défi. Pour cela, nous avons développé un module de prise de décision tenant compte des risques, intégré au planificateur de trajectoire des véhicules autonomes. Ce module établit une fonction d'évaluation dynamique des risques, en considérant à la fois les aspects longitudinaux et latéraux et en intégrant divers facteurs tels que la vitesse et la position relative. La fonction proposée permet au véhicule d'anticiper et de réagir de manière proactive aux dangers potentiels. Ce travail s'appuie sur nos travaux antérieurs sur un système de régulation de vitesse adaptatif (ACC) modulaire basé sur l'IA, doté de capacités de généralisation robustes. Les résultats démontrent l'efficacité de l'approche proposée pour améliorer la sécurité, l'évitement des collisions et l'adaptabilité dans des environnements de conduite hautement interactifs, permettant au véhicule de replanifier dynamiquement ses trajectoires et ses profils de vitesse lors des manœuvres de changement de voie [Ghr24, CI]. De plus, nous avons développé une approche intégrée de changement de



voie qui combine la prise de décision et la planification de trajectoire, en utilisant un apprentissage par renforcement profond dans un cadre de processus décisionnel de Markov (MDP) à action discrète. Les résultats en simulation montrent la grande flexibilité et la réactivité des mouvements dans un grand nombre de scénarios variés d'interaction routière.

**Navigation sûre et flexible de véhicules autonomes (VAs) en présence de piétons en mobilité douce (e.g., trottinettes, gyropodes)** Nous avons mené des travaux pour évaluer et gérer les risques de navigation d'un VA parmi des Véhicules Électriques Légers Personnels (VELP) [Ala24b, CI][Ala25, RI]. Les approches proposées s'appuient sur une analyse et une gestion multi-risques caractérisant les multiples comportements possibles des VELP. Ces comportements sont modélisés avec des systèmes multi-modaux probabilistes [Ala24a, CI]. Les méthodes d'analyse et de contrôle/commande reposent sur l'utilisation conjointe d'une métrique spatio-temporelle probabiliste, utilisant une version stochastique de la PIDP (Predictive Inter-Distance Profile) et de techniques de commande basées SMPC (Stochastic Model Predictive Control) [Ala24a, CI]. Plus spécifiquement, une architecture globale de contrôle/commande (intitulée MiRA-MOC, pour Multi-Risk Assessment and Multi-level Motion Optimization & Control) a été proposée, permettant d'évaluer simultanément plusieurs risques possibles et agir en conséquence via des processus d'optimisation et de contrôle hiérarchique [Ala25c, CI]. Ces travaux ont également introduit une stratégie de décision et de contrôle fondée sur une méthode d'optimisation du mouvement multi-niveaux, capturant les incertitudes multi-modales via une F-sPIDP (Fusion of stochastic PIDP) [Ala25a, CI]. F-sPIDP étend la métrique spatio-temporelle d'évaluation des risques PIDP pour une version stochastique (sPIDP), intégrant l'incertitude dans l'état prédit des agents. La prédiction multi-modale est traitée par la fusion de plusieurs sPIDPs. Les actions de contrôle, minimisant le risque de collision et respectant la dynamique du VA sont calculées par une optimisation du contrôle local. Les stratégies posées ont été validées par des simulations intensives et des essais sur un véhicule autonome réel [Ala25, RI] [Ala25c, CI] [Ala25a, CI] [Ala25b, CI].

**Surveillance de l'ODD (Operational Design Domain) et prise de décision robuste pour les véhicules intelligents** Dans le cadre du laboratoire commun SIVALab nous avons engagé une nouvelle recherche sur la surveillance du domaine opérationnel de conception (ODD) des aides à la conduite. L'étude des travaux existants nous a permis de dégager une problématique sur la modélisation des ODD et la gestion des incertitudes lors de la surveillance. Nous avons proposé un langage formel de description de l'ODD sous la forme d'un langage dédié à deux niveaux, lisible à la fois par l'homme et par la machine. Cette représentation repose sur une taxonomie d'attributs décrivant l'environnement de conduite. Nous avons également développé une méthode qui quantifie le degré de conformité à l'ODD tout en tenant compte de l'incertitude des mesures à l'aide de fonctions d'appartenance et de la logique floue. Cette approche fournit un raisonnement interprétable sur la non-conformité par rapport à la description de l'ODD. L'approche présentée permet une représentation nuancée des limites de l'ODD, allant au-delà du géo-repérage conventionnel. En estimant le temps nécessaire pour sortir de l'ODD (TTE - *Time to Exit*) sur la base d'observations prédites, ce cadre améliore les capacités d'autonomie des ADAS. Les premières expériences ont été réalisées à l'aide du simulateur Carla [Cha24a, CI, Cha24b, CI]. Une validation avec des scénarios et des données de conduite réelles provenant d'un prototype de véhicule, ont démontré sa faisabilité technique et sa viabilité industrielle [Cha25, CI]. Ce travail de recherche contribue au déploiement sûr des véhicules intelligents en permettant une surveillance en temps réel de l'ODD tenant compte des incertitudes, ce qui est essentiel tant pour garantir la sûreté que pour assurer la confiance des utilisateurs.



Dans la continuité du système de surveillance de l'ODD, nous cherchons à développer une architecture décisionnelle robuste pour un véhicule intelligent (VI) qui tient compte de ses capacités et de l'ensemble des manœuvres possibles pour rester toujours dans l'ODD. L'objectif est d'assurer que le VI puisse fonctionner efficacement ou passer à un autre domaine en cas de défaillance. Après une étude des concepts de "Context-Awareness" et de "Self-Awareness" et leur relation avec l'ODD, différentes approches en prise de décision au niveau tactique ont été étudiées et classées [Car25, RI][Car25, RI]. Les travaux de recherche se sont focalisés par la suite sur la définition d'une méthodologie d'évaluation des capacités décisionnelles long-terme du VI, basés sur un MDP (Processus de Décision de Markov) tout en prenant en compte l'ODD (e.g., météo, état de la perception, géométrie de la route). Les décisions prises permettent ainsi de prévoir les manœuvres futures possibles et anticiper, le cas échéant, les limitations opérationnelles du VI, grâce par exemple à des manœuvres de repli adaptées aux changements de l'ODD [CC25a, CI] [CC25b, CI].

## Axe 2 – Perception, Fusion, Estimation d'état

Les méthodes de fusion de données pour la perception et la localisation doivent considérer des capteurs hétérogènes, asynchrones produisant des données imparfaites. Dans la continuité des travaux des années précédentes, nous étudions différents formalismes de représentation des incertitudes (probabiliste, évidentiel et à erreur bornée) pour fusionner des informations hétérogènes provenant de plusieurs capteurs embarqués ou de cartes numériques. Notre principal objectif dans cet axe est d'utiliser la fusion de données pour estimer les états du système qui seront utilisés dans les architectures de contrôle. Cet axe de recherche s'articule en deux parties : doter les systèmes de capacités de perception et compréhension de scène, et la fusion de données pour la localisation et l'estimation d'état.

### 2.1 Perception et compréhension de scène

La compréhension de scènes complexes telles que les scènes routières requiert des méthodes d'analyse plus ou moins fines permettant de se localiser et de reconstruire l'environnement dynamique dans lequel il évolue. Le système de perception doit pouvoir détecter, identifier et suivre les principaux objets de la scène afin de prédire leurs comportements ou leurs intentions. L'équipe a investi plusieurs axes de recherche dans ce domaine : l'étude de la vision par caméras à événement pour la perception robotique, la perception multimodale, l'analyse d'image et l'intégrité des systèmes de perception.

**Apprentissage profond pour fusionner les informations de caméra à événements avec lidar** Nous avons travaillé dans le calibrage en ligne sans relief (*featureless*) de caméra à événements avec lidar pour des applications de robotique mobile, comme par exemple le véhicule intelligent. Notre méthode utilise un réseau de neurones basé sur une architecture MobileViT et une tête de régression pour les paramètres de pose. Nous avons obtenu le premier réseau de ce type appliqué à ces capteurs, avec un temps d'inférence  $< 0,1s$ , permettant un usage en embarqué [Coc24, CI, Coc25, CI]. Nous continuons à travailler sur une extension de ces travaux, visant à appliquer cette méthode et à utiliser les incertitudes pour décider quand utiliser le calibrage ou non, dans une application d'odométrie visuelle.

Nous avons également travaillé sur un réseau de neurones de fusion vision événementielle et LiDAR, en utilisant des mécanismes d'attention pour associer les motifs spatiaux et des modules GRU comme mémoires pour propager les estimations à la fréquence la plus rapide, pour estimer des profondeurs denses à échelle réelle [Bre25, CI]. Nous démontrons que notre



architecture DELTA établit un nouvel état de l'art dans le domaine de l'estimation de profondeur basée sur les événements, et qu'elle est capable de réduire les erreurs jusqu'à quatre fois pour les courtes distances par rapport à l'état de l'art précédent.

**Détection, segmentation et analyse de mouvements d'objets 3D par vision événementielle** Nous avons travaillé sur la fusion d'un réseau de neurones profond de prédiction des profondeurs de la scène, et d'un réseau de compensation du mouvement majoritaire pour extraire un masque des objets mobiles, comportant une deuxième tête de segmentation sémantique. Notre premier résultat a été obtenu en utilisant le dataset evimo2, et des métriques complémentaires adaptées à la détection des objets indépendants [Jia24, CI].

**Métriques de performance d'un système de perception** Les systèmes de perception actuels dans les véhicules de tourisme s'appuient principalement sur des caméras vidéo intégrées aux systèmes avancés d'aide à la conduite (ADAS) et aux technologies de conduite automatisée (AD). Son objectif principal est de percevoir leur environnement et prendre des décisions. Nous avons étudié la relation entre les indicateurs conventionnels de vision par ordinateur et ceux requis pour les applications ADAS/AD, lors de la caractérisation du système de perception du point de vue de l'application. Notre travail a présenté des résultats expérimentaux qui révèlent des convergences et des divergences entre les mesures standard de vision par ordinateur et les exigences des cas d'utilisation des systèmes ADAS/AD. Dans notre contribution, nous avons démontré comment l'adoption d'une perspective unifiée sur les métriques peut fournir des informations plus approfondies sur les performances du système de perception, et peut guider la sélection de critères d'évaluation appropriés pour améliorer le déploiement d'algorithmes d'apprentissage automatique dans la perception des véhicules intelligents [CU25, CI].

**Désambiguïsation des mots dans les images** Nous présentons une approche bidirectionnelle (texte-image et image-texte) pour la désambiguïsation des mots dans les images [Set25, RI]. La méthode repose sur deux piliers : a) Conversion texte-image et b) Conversion image-texte. La hiérarchie des classificateurs du plus explicable au moins explicable permet une diminution de transparence des algorithmes tout en analysant le compromis transparence/performance. Cette architecture multimodale ouvre des perspectives en robotique, notamment pour la conduite autonome. En effet, des travaux récents étendent la perception vers une compréhension de scène en langage naturel. Dans ce contexte, notre approche de désambiguïsation est exploitable pour relier finement une scène routière à des descriptions textuelles précises (par exemple distinguer « véhicule lent » de « véhicule à l'arrêt créant un obstacle »). Combinée aux *Vision Language Models* (VLM) appliqués aux scènes routières, cette capacité d'alignement image-texte peut ainsi améliorer la qualité sémantique des jeux de données, la détection de situations rares ou critiques et la fiabilité des décisions prises par les systèmes de conduite autonome.

**Interprétation des comportements** Nous avons proposé un système d'intelligence artificielle dédié à l'analyse des interactions lors de séances de brainstorming [Fuj25, E]. Cette thématique est commune avec l'équipe CID. Le prototype conçu combine des réseaux de neurones profonds pour la détection de caractéristiques visuelles avec un système de traitement symbolique permettant l'interprétation des comportements. Ces travaux trouvent une application directe en robotique pour la conduite autonome, où l'analyse des dynamiques entre usagers de la route est essentielle. Cette capacité d'analyse comportementale consti-



tue un levier pour améliorer la sécurité, la fluidité du trafic et la robustesse des systèmes autonomes dans des environnements complexes et ouverts. Ce travail a reçu le prix du "best paper" de la conférence CSCWD 2025.

**Interprétabilité des forêts aléatoires** Le concept de "raisons  $k$ -majoritaires" est défini comme des implicants minimaux soutenant la décision d'une majorité d'arbres au sein de la forêt. Afin de pallier la longueur excessive de ces explications, nous proposons les "explications majoritaires probabilistes" (raisons majoritaires  $\delta$ -probables) [Bou25, CI]. Ces dernières permettent de produire des interprétations plus concises tout en garantissant qu'une majorité stricte d'arbres soutient la décision. Dans un deuxième temps, nous examinons l'utilisation des explications probabilistes pour améliorer l'intelligibilité des modèles de prédiction, en nous concentrant sur les arbres de décision [Bou25b, RI]. L'étude démontre que les "raisons  $\delta$ -probables" permettent d'obtenir des explications plus courtes que les raisons suffisantes de taille minimale (explications abductives). Ces contributions sont particulièrement pertinentes pour la robotique explicable (XAI embarquée), où les systèmes doivent justifier leurs décisions en temps réel. Dans des applications critiques telle que la conduite autonome, la capacité à fournir des explications compréhensibles et concises est essentielle pour renforcer la confiance des utilisateurs et faciliter le diagnostic en cas d'erreur.

## 2.2 Fusion de données et estimation d'état pour la localisation

Cette partie aborde la conception de schémas de fusion de données provenant de différents capteurs afin de créer un ensemble de données exploitables pour la prise de décision ou pour la boucle de commande d'un système autonome. Nous incluons dans cette problématique les données cartographiques, l'analyse de l'intégrité, l'optimisation de paramètres et la sensibilité des données (fausses détections, biais, etc.). Nos schémas de fusion s'appuient sur des méthodes d'estimation d'état qui fournissent une localisation du système face à des mesures de mauvaise qualité, erronées ou bruitées avec une quantification de l'incertitude associée.

**Systèmes de localisation GNSS avec contraintes cartographiques** Les systèmes GNSS (Global Navigation Satellites Systems) constituent un composant essentiel pour la localisation absolue des véhicules en environnement extérieur. La détection de caractéristiques géoréférencées dans les cartes vectorielles constitue un moyen efficace de compenser les erreurs des systèmes GNSS. Les systèmes de perception modernes basés sur l'apprentissage profond ont besoin d'une quantité importante de données annotées. L'annotation automatique permet d'éviter les annotations manuelles coûteuses en temps et en argent. Les poteaux routiers, tels que les panneaux de signalisation ou les lampadaires, peuvent servir de repères stables pour la localisation basée sur des cartes. Lorsqu'elles sont géoréférencées dans des cartes vectorielles haute définition, ces caractéristiques permettent une localisation fiable grâce à des pipelines de détection et des méthodes d'association de données. Dans cette thématique, nous avons étudié et validé expérimentalement, la fusion de trois méthodes d'annotation automatique de poteaux dans des images : la projection de caractéristiques à partir d'une carte vectorielle de haute précision combinée à un lidar, la segmentation d'images et la segmentation lidar [Noi24, CI, Noi25, CI]. En combinant les groupes de poteaux annotés de la carte avec la segmentation sémantique, les erreurs d'annotation peuvent être minimisées. Cela permet d'entraîner un classificateur spécifique à la carte, optimisé pour détecter les poteaux cartographiés tout en filtrant les structures non pertinentes. Il élimine le besoin d'étiquetage manuel et adapte le système de perception à la carte utilisée en ligne pour la localisation. Grâce



à des données réelles acquises dans des scénarios urbains dans la ville de Compiègne, nous avons montré expérimentalement que cette approche améliore considérablement la précision de la localisation.

**Systèmes de localisation hautement intègres pour la navigation robotique** La localisation à haute intégrité est un enjeu critique pour assurer la sécurité des véhicules intelligents. Dans une telle application, les erreurs d'estimation d'état doivent être correctement bornées. Le choix de l'utilisation des méthodes ensemblistes combinées aux méthodes bayésiennes s'est montré pertinent pour combler le problème d'estimation des incertitudes sur-confiantes posé par le filtre de Kalman et l'estimation des incertitudes pessimistes des méthodes ensemblistes. Le filtre de Kalman avec zonotopes (ZGKF) montre l'avantage de combiner ces deux approches suivant une structure analogue à celle du filtre de Kalman grâce aux propriétés mathématiques des zonotopes. Nous avons proposé la forme informationnelle de ce filtre (Zonotopic and Gaussian Information Filter-ZGIF) plus adaptée dans le contexte de fusion de données et permettant notamment de simplifier l'implémentation de l'architecture de détection et d'exclusion de défauts (FDE). Dans notre solution, l'opération de réduction classique a été remplacée par une méthode basée sur l'analyse en composantes principales (PCA). Egalement, nous avons proposé une méthode de calcul des rayons de protection (PLs) pour prendre en compte à la fois l'incertitude modélisée par l'ensemble zonotope et l'incertitude modélisée par une distribution Gaussienne [Sal24, CI].

**Optimisation Bayésienne pour le réglage des paramètres des filtres** L'utilisation du filtre ZGIF est souvent modélisé suivant des incertitudes ensemblistes et bayésiennes sur le modèle d'évolution et d'observation, ce qui résulte en un nombre de paramètres non négligeable à régler. Ces paramètres ont une incidence importante sur la qualité des estimations, aussi bien sur la précision que l'intégrité. Nous avons prêté une attention particulière au réglage de ces derniers.

L'optimisation bayésienne est bien adaptée aux fonctions de coût non convexes et stochastiques avec des minima locaux. La méthode que nous avons proposée vise à optimiser la matrice de covariance de mesure et les seuils utilisés lors de l'étape de détection et d'exclusion des défauts. Une nouvelle fonction objective a été également proposée pour améliorer la précision et garantir l'intégrité des estimations, en garantissant des régions d'incertitude consistantes [Sal25, CI]. Des expérimentations comparatives avec le filtre informationnel ont été réalisées, montrant que le ZGIF, grâce à l'optimisation bayésienne, est capable de trouver des valeurs de paramètres améliorant à la fois la précision et l'intégrité, alors que le filtre informationnel est contraint à un compromis plus limité entre ces deux objectifs. Des campagnes d'acquisitions de données avec les véhicules du laboratoire ont été réalisés pour créer les jeux de données nécessaires à l'apprentissage.

**Maintenance et mise à jour des cartes de navigation** Les cartes de navigation sont sujettes à diverses erreurs provenant du processus de cartographie ou survenant au fil du temps en raison des changements de l'environnement. Pour vérifier la qualité des données cartographiques avant de les utiliser, en particulier dans la couche de localisation d'une carte haute définition (HD), nous avons proposé et comparé expérimentalement deux méthodes qui prennent en compte les informations fournies par les capteurs en temps réel pendant que le véhicule se déplace lors d'un premier passage [Des24, CI].

La cartographie collaborative a pour but principal de mettre à jour une carte a priori (par exemple OpenStreetMap). Nous nous sommes intéressés aux façades des bâtiments pour



la navigation en environnement urbain avec comme capteur de perception des Lidars 3D embarqués. Nous avons effectué une étude expérimentale pour évaluer une méthode de segmentation que nous avons développée et ainsi quantifier sa capacité à détecter correctement les façades tout en limitant les fausses détections.

Nous avons étudié des métriques permettant d'évaluer la qualité des cartes vectorielles et d'orienter des décisions de maintenance. Notre objectif est d'identifier quand et où les mises à jour des cartes doivent être déclenchées (par exemple à l'aide de données issues du crowdsourcing) et dans quelles conditions une nouvelle compilation de cartes doit être déployée. Nous avons présenté une nouvelle métrique appelée GOSPAM, conçue pour évaluer la similarité entre des cartes en termes d'erreurs de localisation, d'existence et d'exhaustivité [BK25, CI]. Grâce à des simulations détaillées sur des cartes de points et de polygones, nous avons analysé sa sensibilité aux dégradations courantes des cartes, telles que les biais, les faux positifs, les faux négatifs et les erreurs de coordonnées. Les résultats nous ont permis de démontrer que le GOSPAM est une métrique unifiée et interprétable qui capture efficacement diverses formes d'erreurs cartographiques, ce qui en fait un candidat solide pour l'évaluation de la qualité des cartes dans les applications automobiles.

### Axe 3 – Coopération entre robots, Interaction avec l'humain

#### 3.1 Coopération entre robots

L'enjeu est d'étendre nos approches à plusieurs robots afin d'augmenter la performance par le nombre et d'exploiter les comportements et fonctionnalités émergents par leur coopération dans le cadre méthodologique et théorique des systèmes de systèmes. La coopération entre systèmes robotiques est une thématique que nous adressons dans nos travaux à plusieurs niveaux, comme la perception coopérative pour augmenter le champs de perception d'un robot, la localisation coopérative pour renforcer l'intégrité, et la commande et la décision coopératives pour gérer des manoeuvres complexes d'interaction d'une façon efficace et sécurisée, lorsque les robots partagent le même environnement ou bien lorsqu'ils réalisent des tâches en collaboration.

**Perception collaborative LiDAR entre véhicules et autres agents** En milieu urbain, les véhicules autonomes (VA) sont confrontés à divers défis, notamment la gestion des occlusions. Nous avons travaillé sur la coopération véhicule-à-tout (V2X) pour améliorer la perception des VA dans la tâche de détection d'objets 3D. Nous avons proposé une méthode de fusion aval pour la perception collaborative sur laquelle nous nous concentrons plus particulièrement sur la fusion tardive des flux de données LiDAR, en utilisant un algorithme de recherche en largeur (BFS) pour regrouper les boîtes englobantes avec un IoU (Intersection sur Union) élevé. Cette méthode pondérée basée sur BFS est simple, efficace en termes de calcul et nécessite un minimum de communication, ce qui la rend parfaitement adaptée aux scénarios de conduite urbaine en temps réel [Oub25b, CI].

Nous avons également travaillé sur une méthode de perception pour assurer la détection d'utilisateurs vulnérables de la route lors de la navigation de véhicules autonomes dans les environnements urbains. Nous avons proposé une méthode de fusion hybride par apprentissage profond, focalisée sur une détection des usagers de la route vulnérables (piétons, cyclistes, etc) qui est largement plus performante que l'état de l'art. Notre méthode exploite les informations de fin de traitement provenant des agents communicants pour enrichir le nuage de points de l'agent principal, puis applique une stratégie de fusion intermédiaire standard, suivie d'une étape d'affinage qui améliore encore la précision de la détection de divers objets [Oub25a, CI].



**Collaborative décentralisée pour la localisation et la mise à jour de cartes** Dans les environnements urbains où les performances du GNSS sont dégradées, la localisation peut être effectuée à l'aide de caractéristiques cartographiques stables et géoréférencées détectées par des capteurs embarqués. En échangeant les caractéristiques observées et en partageant leurs cartes, des véhicules coopératifs peuvent simultanément améliorer leur localisation et mettre à jour la carte. Nous avons proposé une méthode collaborative décentralisée (base sur l'utilisation du filtre de Schmidt-Kalman) pour améliorer la localisation et la mise à jour des cartes en profitant de l'échange entre des robots communicants selon une architecture de collaboration et de fusion décentralisée. Nous avons traité le cas de la collaboration indirecte, où les robots ne s'observent pas directement, mais collaborent via l'observation d'amers en commun. La fusion des états estimés par les robots lors des phases de collaboration est réalisée avec une moyenne de Kullback-Leibler pour maintenir une bonne consistance. Afin d'assurer l'intégrité de l'estimation d'état, l'approche met en œuvre une étape de détection et d'isolation des défauts. Grâce à la collaboration, les défauts de la carte peuvent être détectés, ce qui n'est pas possible lorsqu'ils sont observés séparément en navigation isolée. La méthode a été testée en simulation et sur des données réelles utilisant trois véhicules expérimentaux [Esc24, CI].

**Coopération de véhicules autonomes dans les intersections** Une architecture de contrôle/commande coopérative pour véhicules autonomes et connectés (CAVs) a été proposée pour franchir des intersections non signalisées et incertaines. L'objectif est d'optimiser les flux du trafic routier dans des villes denses en agissant sur deux niveaux : microscopique (entre plusieurs véhicules locaux) [He25b, CI], et macroscopique (en fonction des flux routiers dans les différentes directions) [He25, CI] [He25a, CI]. Au niveau microscopique, une approche d'Optimisation Coopérative de Gestion Multi-Risques basée sur des Profils de Distance Inter-Véhiculaire Prédit (MRMCO-PIDP) est développée pour gérer efficacement, et d'une manière distribuée le risque de collision entre les CAVs. L'optimisation multi-objectives et la méthode de prise de décision proposées s'attachent à garantir en priorité la non-collision des véhicules en s'appuyant sur une métrique de PIDP coopérative, optimisant à la fois le temps de franchissement de ces intersections et la consommation énergétique du CAV [He24, CI, He24a, CI, He24b, CI]. Pour répondre aux incertitudes provenant de divers facteurs environnementaux, tels que les erreurs de localisation, les délais et la perte de communication, une méthode d'Intervalle d'Incertitude Probabiliste basée sur la PIDP (PIDP-PU) est proposée pour soutenir une prise de décision collaborative robuste dans des conditions de communication dégradées [He25b, CI]. Au niveau macroscopique, étant donné le grand volume de véhicules en interaction, une méthode basée sur un graphe de gestion des risques et de vérification des chemins de conflit est introduite pour réduire substantiellement la charge de calcul de la gestion de l'intersection, rendant ainsi l'approche viable pour une mise en œuvre dans le monde réel [He25a, CI]. Dans des scénarios de trafic complexes, l'atténuation de la congestion demeure un défi important. À cette fin, un modèle de Fusion de Flux Sensible à la Congestion (CSFF) est proposé pour analyser les causes de la congestion du point de vue de la théorie des flux afin d'attribuer des vitesses cibles/consignes pour les différentes directions de l'intersection dans l'objectif de minimiser les risques de congestion [He25, CI]. En intégrant les niveaux macroscopique et microscopique, l'approche MRMCO-PIDP et le modèle CSFF proposé sont fusionnés pour réaliser à la fois l'évitement des collisions et l'atténuation de la congestion, réduisant ainsi les délais d'attente moyens et les taux de congestion. Un grand nombre de résultats de simulations démontrent l'efficacité et la robustesse des méthodes proposées.



**Comportement de poursuite-évasion basé sur l'énergie** Nous avons concentré nos travaux dans la conception d'algorithmes de commande inspirés par les systèmes biologiques pour la capture d'une cible dynamique en utilisant une flotte d'agents. L'architecture proposée utilise un schéma de contrôle basé sur la dissipation d'énergie et la robustesse pour éviter les approximations numériques, contrairement aux solutions qui résolvent le Hamilton-Jacobi-Isaacs (HJI) de manière numérique. De plus, le contrôleur proposé assure une stabilité asymptotique en utilisant la théorie de Lyapunov, avec des changements doux garantissant la capture de la cible. La capture coopérative et l'évitement des collisions sont rendus possibles par la conception et la mise en œuvre de fonctions de stockage d'énergie spécialement conçues et basées sur le comportement bio-inspiré des groupes d'animaux chassant ensemble, où l'état de l'intrus et l'état des agents locaux sont utilisés et la stabilité est préservée [Car24, CI].

**Coopération d'agents pour le transport de charge** Le transport d'une charge utile suspendue par un câble à l'aide de véhicules aériens est également un défi scientifique et un sujet d'actualité. Nous avons étudié le problème de contrôle d'un point de vue différent et notre solution vise à contrôler la charge en la considérant virtuellement actionné. Notre solution a été de proposer un contrôleur hiérarchique en boucle fermée en utilisant la méthode de l'ellipsoïde attractif, où la résultante des tensions des câbles est utilisée comme contrôleur virtuel pour assurer le suivi de la trajectoire de la charge, puis, la tension souhaitée sur chaque câble du drone est obtenue à partir du contrôleur de charge virtuel, résultant en un système sous-déterminé, à partir duquel des contraintes supplémentaires peuvent être imposées pour obtenir une solution unique [OP24, RI]. Les résultats peuvent être vus à travers le lien suivant : <https://youtu.be/Toz68urQtwY>. Nous avons étudié également la possibilité de modifier le nombre de drones en cours de mission grâce à une commande de type leader-suiveur. Nous nous sommes focalisés sur la reconfiguration de la formation en modifiant le nombre d'agents transportant la charge afin de respecter de nouvelles contraintes environnementales, comme le vol à travers un couloir étroit [PB25, RI].

**Navigation coopérative aéroterrestre** Nous avons travaillé sur le développement d'un système de navigation autonome coopératif entre des véhicules aériens et terrestres. Dans ce cadre, nous avons développé une méthodologie de navigation coopérative, en considérant un environnement dynamique avec des cibles mobiles. L'architecture étudiée prend en compte les deux dynamiques des systèmes pour concevoir des algorithmes de commande basé capteur. Une première architecture a été développée dans le but de faire atterrir un drone aérien sur un véhicule terrestre (VT) en mouvement en utilisant une caméra pour détecter la position du VT et calculer une trajectoire dynamique pour la phase d'atterrissage. Dans la partie expérimentale, nous avons utilisé deux marqueurs ArUco emboîtés pour estimer la position dans le plan  $xy$  [Mor24, CI]. Une deuxième architecture a été proposée pour établir une collaboration passive d'un drone terrestre. Dans cette architecture, le drone aérien aidée d'une caméra estime la position relative du VT et calcule ses positions futures pour le faire naviguer de façon autonome. Le VT est dépourvu des capteurs et seule l'information provenant du drone aérien sera utilisée dans son algorithme de navigation. Un nouvel algorithme de contrôle pour le VT a été proposé et développé en utilisant la méthode de modes glissants fractionnaires [San24, CI].

**Navigation d'une flotte de drones autonomes** Nous avons développé un algorithme de navigation multicouche pour une flotte de drones. L'architecture proposée repose sur une fusion de contrôleurs de points virtuels et de techniques de champ potentiel. D'une part,



une fonction de potentiel est construite pour chaque drone afin que sa position converge de manière fluide et robuste vers un point de guidage virtuel tout en évitant les collisions avec les autres drones. D'autre part, les points virtuels sont contrôlés pour atteindre un objectif de contrôle d'essaim, tel que le suivi de cible, le maintien de station ou les missions de recherche et de sauvetage. Le système proposé comporte donc deux niveaux hiérarchiques, mais l'algorithme peut être généralisé à plusieurs niveaux. La dynamique de translation et de rotation du drone est contrôlée par une boucle interne basée sur le suivi de gradient et des contrôleurs à modes glissants. L'architecture est validée par des simulations et des expériences en temps réel, démontrant de bonnes performances pour le système en boucle fermée [Aba25, RI].

**Services coopératifs *vehicle-to-Everything* (V2X)** Les véhicules utilisent de plus en plus de fonctionnalités logicielles et celles-ci ne peuvent s'exécuter toutes simultanément. Les "Véhicules Définis par Logiciel" ("*Software-Defined Vehicles*", SDV) intègrent une gestion dynamique des services embarqués pour gérer la grande variété de services demandés par les utilisateurs pendant le fonctionnement du véhicule. Nous avons proposé un algorithme dynamique d'orchestration des services embarqués basé sur les ressources. Cet algorithme prend en compte en temps réel l'état du réseau intra-véhicule et V2X, ainsi que les contraintes de ressources embarquées, pour sélectionner globalement les modes dégradés pour les applications embarquées. Il maximise également l'expérience utilisateur globale à tout moment tout en étant embarqué pour une prise de décision en temps réel. Un élément clé de cette approche est l'introduction du Niveau d'Intégrité de l'Expérience Automotive (AXIL), une métrique exprimant la priorité en temps d'exécution pour les applications non critiques pour la sécurité. Nous avons évalué les performances de l'algorithme pour démontrer sa faisabilité industrielle [Lac24, CI, Lac25, RI]

### 3.2 Interaction avec l'humain

Des travaux sont menés par l'équipe pour gérer l'interaction avec l'humain lors du contrôle et la navigation des systèmes robotisés. Des études sont faites sur l'observation de l'humain et l'analyse de son état cognitif, et sur son interaction avec un agent virtuel.

**Modèle de décision pour le toucher social dans l'interaction humain-agent** Dans cette étude, nous avons continué nos travaux en collaboration avec l'ISIR de Sorbonne Université afin de déterminer ce qui est nécessaire pour ressentir un toucher social significatif initié par un agent virtuel (AV) dans des environnements virtuels immersifs (IVE). Nous avons conçu, développé et validé un modèle de décision visant à déterminer quand un contact social par un agent socialement interactif (SIA) serait considéré comme socialement 'correct' : à la fois cohérent et acceptable pour l'interlocuteur humain. Ces décisions sont calculées en prenant en compte le contexte de l'interaction et le niveau estimé de relation entre l'humain et l'agent. Nous présentons ensuite une étude basée sur un protocole vicariant où les participants ont évalué des interactions enregistrées entre un avatar (un personnage 3D contrôlé par l'humain) et notre agent. Les résultats indiquent que les estimations faites par notre modèle de décision concernant l'état de la situation reflètent celles faites par les observateurs humains. Notre hypothèse initiale selon laquelle le niveau de relation influencerait positivement l'acceptabilité d'un toucher reçoit un soutien mitigé. Des pistes d'amélioration pour les interactions homme-agent, y compris le toucher social, sont discutées. Ces résultats ont été publiés dans [Bou25a, RI].



**Sonification de l'interaction humain-agent pour le toucher social** Nous avons proposé une nouvelle modalité d'interaction pour le toucher social humain-agent en proposant un retour sonore. Le toucher social est multimodal : en plus d'un retour haptique (tactile et kinesthésique), il se compose d'un retour d'information visuel (gestes) et audio (son du mouvement de la main sur le corps) [dL24, CO]. Les agents virtuels (AV) peuvent percevoir les utilisateurs et interagir avec eux en utilisant la multimodalité pour exprimer des attitudes et des comportements complexes [Ric24, CO, Ric25, RI]. Il existe encore peu d'études sur l'intégration du son dans les interactions avec le toucher social des AV. Nous avons réalisé trois expériences qui explorent les contributions respectives de différentes combinaisons de modalités (animations visuelles, audio et tactiles) à la sensation d'être touché socialement et à la reconnaissance des gestes tactiles. Dans l'ensemble, nos résultats [Auv24, CO] montrent que le feedback multisensoriel améliore l'expérience du toucher social. Le niveau d'animation et la distance interpersonnelle sont essentiels pour déterminer dans quelle mesure l'AV est ressenti comme un outil de communication. Alors que le retour visuel et le retour tactile sont les principaux facteurs qui contribuent à ce que les participants se sentent touchés par l'AV, mais le feedback audio a également un impact significatif.

**Analyse de l'état émotionnel du conducteur pour une navigation sûre** Dans nos travaux récents, nous explorons l'analyse de l'état émotionnel et cognitif du conducteur afin d'adapter la transition entre les cinq niveaux d'autonomie des véhicules. En parallèle, nous nous intéressons à l'analyse de l'environnement externe auquel le conducteur fait face, en détectant et interprétant les éléments externes pouvant influencer la prise de décision du système autonome. Cette approche permet au système autonome d'anticiper les conflits décisionnels. En cas d'incertitude ou d'incapacité à prendre une décision, le système évalue l'état du conducteur. Si son état le permet, il lui demande de reprendre le contrôle. Nous présentons, en collaboration avec l'équipe CID, une méthode d'analyse de l'empathie faciale utilisant l'apprentissage profond et la vision par ordinateur en environnement de réalité mixte [Set25, CI]. L'objectif est de détecter et de quantifier les réponses empathiques à partir des expressions du visage afin d'établir leur corrélation avec l'empathie. L'approche repose sur un réseau de neurones convolutif profond avec fonction d'activation exponentielle linéaire (ELU-DCNN). Parallèlement, une plateforme de réalité augmentée a été développée pour assurer deux fonctions : a) L'immersion de l'utilisateur dans un environnement virtuel grâce au casque HTC Vive. b) La reconnaissance des émotions faciales malgré le port du casque. Cette étude évalue la capacité des utilisateurs à manifester de l'empathie au sein d'environnements immersifs spécifiques. Les résultats montrent le degré de précision de ces modèles pour quantifier l'empathie par une simple analyse faciale.



### 3. PROJETS ET COLLABORATIONS

---

**Projets** L'équipe a globalement une forte activité partenariale. Comme indiqué sur la figure 17, les ressources propres proviennent de projets nationaux, projets européens, contrats industriels, collaborations internationales, projets régionaux et projets académiques.

L'équipe est impliquée dans deux projets EquipEX+ (TIRREX et CONTINUUM) sur la robotique et la réalité mixte. Ph. Bonnifait coordonne la robotique terrestre autonome de TIRREX et I. Thouvenin est impliquée dans le comex de CONTINUUM. Il est à noter que CONTINUUM et Robotex 2.0 sont devenus infrastructures nationales de recherche.

L'équipe est impliquée dans plusieurs PEPR, tels que le projet AVATOUCH dans le PEPR eNSEMBLE, le projet ciblé PERSEO dans le PEPR Robotique (accepté en 2025 et commencé début 2026), et le projet COMET dans le PEPR ICCARE, dans lequel nous avons obtenu le projet "Résidence d'artiste – la Forêt Virtuelle". L'équipe porte le projet CAP Twinning, dans le cadre du projet cluster IA PostGenAI@Paris (2025-2029) coordonné par Sorbonne Université, et débuté en janvier 2025. Ce CAP est porté par V. Cherfaoui et R. Talj, et est en collaboration entre Heudiasyc, ISIR, IRCAM et Renault.

A l'Europe, l'équipe est partenaire du consortium du projet Européen Marie Curie RISE OWheel coordonné par TUIL (Allemagne), 2020-2024, la contribution Heudiasyc étant portée par A. Correa Victorino. D'autre part, l'équipe est également partenaire du projet Européen HORIZON Marie-Curie Staff Exchange (SE) MOCO (2025-2028) coordonné par VGTU (Lituanie). Le consortium est composé de 14 partenaires, issus de plusieurs pays en Europe, en Afrique du Sud, au Japon, au Mexique et en Corée du Sud ; la contribution d'Heudiasyc est portée par A. Correa Victorino. Le projet européen ERASMO (EUSPA agence spatiale de l'UE) dont la contribution était portée par P. Xu, s'est terminé en 2024. Une revue finale a été réalisée à l'UTC en juin 2024. A l'international, l'IRP ADONIS (Liban), en partenariat entre le CNRS et l'UTC en France, et l'Université Lbanaise au Liban, coordonné par R. Talj, s'est terminé en décembre 2024. Un projet de renouvellement a été accepté, mais il est momentanément en arrêt par le FSD, pour des raisons de sécurité.

Huit projets ANR (dont 3 portés par des membres de l'équipe, R. Talj, J. Al Hage et J. Moreau) sont en cours en 2024 et 2025 (V3EA, JCJC TOICAR, JCJC Reve-BNN, ANNA-POLIS, INARI, Succen, MATCH et ITS-STORY). Tous les membres de SyRI sont impliqués dans le CPER RITMEA (2021-2027) de la région Hauts-de-France, porté par la FR CNRS TTM. L'axe 3 « Automatisation des Véhicules : automobile, ferroviaire, fluvial, drones » (qui implique 9 laboratoires) est coordonné par L. Adouane.

Concernant les projets industriels, le laboratoire commun SIVALab, dirigé par V. Cherfaoui s'est arrêté en juin 2025. Des discussions sont en cours pour son renouvellement. Concernant les thèses en collaboration avec les industriels, les membres de l'équipe dirigent en 2024 et 2025, 7 thèses CIFRE avec Renault (4 thèses), Stellantis (2 thèses) et CETIM (1 thèse).

Les membres de l'équipe coordonnent ou participent dans plusieurs autres projets, comme ROB-TREE (2026-2027, SFRI, initiative REAL@SU), bourse projet SOUND.AI (2024-2027) et A3IV (financé par le CNPq Brésil, en collaboration avec UFLA, University of Waterloo, University of Jilin, University of Alberta, CEFET-MG).

Il est important de noter enfin que tous les membres de l'équipe sont impliqués dans au moins un projet de recherche avec généralement une tâche de responsabilité (porteur, coordinateur, responsable de WP).



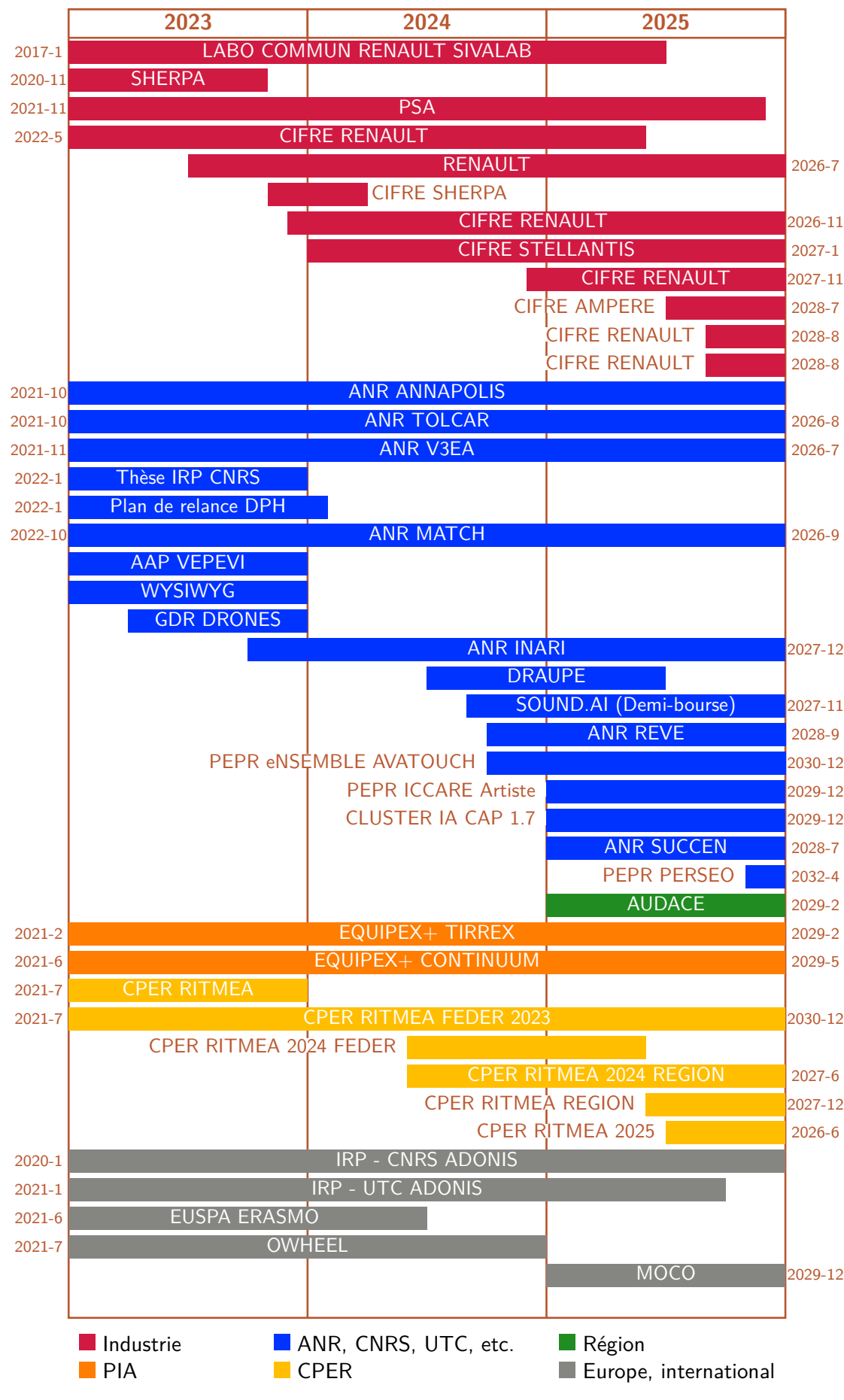


Figure 17 – Projets de l'équipe SyRI sur la période 2023-2025. Les montants indiqués correspondent au budget global alloué au projet.



**Collaborations nationales et internationales** L'équipe entretient des collaborations nationales et internationales, dont plusieurs sont attestées par des co-publications. Au niveau international, nous collaborons avec de nombreux partenaires universitaires : CINVESTAV, CIMAT et ITESM (Mexique), UNICAMP, UFMG et UFES (Brésil), Université Libanaise et CRSI (Liban), IIT Gênes et Université de Gênes (Italie), Université de Tokyo (Japon), TU Ilmenau (Allemagne), TU Delft (Pays-Bas), University of Louisiana (Lafayette, USA), Université de Neuchâtel (Suisse), Cranfield Univ (UK), KIT (Allemagne), SKKU (Corée du Sud), VILNIUS TECH (Lituanie), HAPTOLAB Université de Bentley (Massachusetts, USA).

Nous avons eu plusieurs thèses en co-tutelle (Japon, Italie, Mexique). Actuellement, nous avons cinq thèses en co-tutelle, dont 2 démarrées en 2024 (CINVESTAV-IPN -Mexique et avec l'Université de Gênes - Italie) et 3 en 2025 (CINVESTAV-IPN, Mexique et Univ. de Neuchâtel, Suisse). Les collaborations nationales avec MIS (Amiens), IREENA (Nantes), ESEO (Angers), LITIS (Rouen), IRIMAS (Mulhouse), COSYS (UGE), CEREMA, ISIR (SU), LIPN (Paris), LIRIS (Lyon), ENSTA Paris, Institut Pascal (Clermont-Ferrand), CentraleSupélec, IRCAM (Paris), SCALAB (Lille), ENS (Lyon), Inria (Sophia Antipolis et Grenoble), LS2N (Nantes), sont en cours ou ont mené récemment à des publications communes.

**Collaborations locales** Enfin, nous menons des collaborations scientifiques avec les autres équipes du laboratoire et d'autres laboratoires de l'UTC, ce qui se traduit par des projets et des co-encadrements d'étudiants (master et/ou doctorat).

Au niveau du laboratoire, nous travaillons avec l'équipe CID sur la prise en compte de la connaissance sémantique et du contexte de l'environnement pour la prise de décision dans la navigation, autonome ou non. Nous avons aussi démarré une thèse avec cette équipe pour démontrer la nécessité d'employer des métriques liées à l'application finale de la vision (contexte ADAS détection et estimation de la distance d'un piéton) et l'intégration de la gestion de l'incertitude. Toujours avec CID, nous étudions l'explicabilité des modèles de classification des émotions, en développant des méthodes permettant de justifier leurs décisions tout en simplifiant les modèles. Par ailleurs, dans le cadre de SIVALab, nous avons travaillé avec des membres de l'équipe CID sur des questions d'intégrité de localisation et de perception. Également, nous travaillons avec des membres de l'équipe CID dans le cadre du projet CAP Twinning (cluster IA) pour développer la conduite partagée entre un conducteur et un système autonome (augmenter les capacités de conduite collaborative).

Avec l'équipe SCOP, une thèse a démarrée en septembre 2024 sur la sûreté de fonctionnement de systèmes de localisation par GNSS en ferroviaire. De plus, nous travaillons avec cette équipe sur l'étude des délais inter-paquets dans les réseaux véhiculaires, plus précisément la sûreté des applications coopératives basées sur des communications inter-véhicules. Récemment, et dans le cadre de la participation au challenge Européen UTAC 2025 sur les véhicules autonomes, plusieurs chercheurs de SyRI et de SCOP ont participé aux encadrements de 23 étudiants.

Concernant nos collaborations avec d'autres laboratoires de l'UTC, un projet de drone acoustique est développé en collaboration avec le laboratoire Roberval. De plus, un projet sur la localisation laser d'un robot mobile a démarré avec ce laboratoire en 2024. Nous avons deux co-encadrements de doctorants sur la détection de cibles acoustiques en utilisant un drone aérien. Une coopération avec le laboratoire TIMR a démarré en 2025, dans le cadre du projet Succen et d'une thèse en cours, en cotutelle avec Neuchâtel Suisse, sur l'analyse de cycles de vie appliquée à l'informatique. Nous menons également une collaboration avec le laboratoire COSTECH et l'Institut de technologie de Chiba CIT sur l'analyse de comportement dans des séances de brainstorming.



## 4. RAYONNEMENT

### Responsabilités et instances d'évaluation

- L. Adouane est expert depuis 2020 de la commission de normalisation AFNOR (Association Française de Normalisation) sur les AGVs (Automated Guided Vehicles). Il est vice-président (Vice-chair) du comité technique IFAC «TC7.5. Intelligent Autonomous Vehicles (IAV) » en charge des interactions avec l'industrie, depuis octobre 2020. Deux mandats (2020 à 2023 et de 2024 à 2027). Il est également membre du comité industrie IFAC (IFAC Industry Committee member), depuis juin 2021. Il participe comme membre du bureau du CPER RITMEA et membre du bureau du DAS (Domaines d'Activités Stratégiques) Mobilités de la région Hauts-de-France (HdF), depuis septembre 2024. Il est expert SRESRI (Schéma Régional de l'Enseignement Supérieur de la Recherche et de l'Innovation) / G2RP (Groupe de Réflexion Régional Prospective) Électromobilité au niveau des HdF, depuis octobre 2024. Il est membre du comité d'évaluation ANR, CE38 de l'Axe H.15 "Interfaces : mathématiques, sciences numériques – sciences humaines et sociales", 2024-2025. Il est également expert scientifique du FNRS (Fonds de la Recherche Scientifique) - Belgique. Il est expert scientifique/-technique, membre SAE (Society of Automotive Engineers), group de travail ORAD (On-Road Automated Driving), depuis décembre 2025.
- J. Al Hage participe à l'animation de l'axe « mobilité autonome, » thème : capteurs et perception, au sein de FR-TTM.
- P. Bonnifait a été membre du comité de montage PEPR d'accélération 'Robotique' (de juillet 2024 à août 2025). Il est responsable de l'axe Rob@t, robotique autonome terrestre du projet Equipex+ TIRREX. Il est Président du « comité des sages » du GdR robotique depuis janvier 2025.
- P. Castillo a été membre du comité ANR-AAPG24-CE33 et ANR-AAPG25-CE33.
- A. Correa Victorino est coordinateur à l'UTC du Projet Européen H2020 Marie-Curie RISE "Benchmarking of Wheel Corner Concepts Towards Optimal Comfort by Automated Driving - OWheel" (2020-2024). Actuellement, il est coordinateur à l'UTC du Projet Européen HORIZON SE Marie-Curie "Motion Control Systems of Multi-Actuated Ground Vehicles" (MOCO) (2025-2028)
- A. Charara est le coordinateur de Carnot pour l'ensemble du CNRS : interlocuteur interne au CNRS (instituts, délégations régionales, etc.) et interlocuteur externe (organismes, universités, ANR, ministère... ). Il pilote le dossier d'un Carnot autour de la Robotique. Il co-préside, depuis le lancement, le comité stratégique de CNRS alumni.
- V. Cherfaoui est membre du conseil scientifique du CEESAR (European Center for Safety Studies and Risk Analysis) (dec-2018), du conseil scientifique de l'institut INS2I du CNRS (nov-2023), du conseil d'orientation scientifique de l'institut VEDECOM (dec-2023) et du conseil scientifique du GdR Robotique (déc-2024). Elle a participé au jury de concours DR INRIA et au comité HCERES pour l'évaluation du DTIS de l'ONERA en 2025.
- B. Doucourthial a été membre du comité de pilotage du GdR Réseaux et Systèmes Distribués (RSD) et il est en charge de l'organisation des conférences et des écoles. Il a expertisé une équipe INRIA.
- R. Lozano est membre IFAC technical committee 'Nonlinear control Systems'.
- R. Talj est membre du comité de direction du GDR MACS, 2020 - 2025, et responsable de l'organisation du prix des meilleures thèses (PMT) du GDR MACS, de la Section



Automatique du Club EEA et de la SAGIP. Organisation de la session 2024 du PMT. Elle est également membre nommée au comité national du CNRS, section 3, pour le mandat 2025-2029.

- I. Thouvenin est co-responsable Coscient et membre du Comex Equipex CONTINUUM 2022 -2027. Elle est membre comité de pilotage du sous projet COMET du PEPR ICCARE.

### Comités de rédaction

- R. Lozano est *Senior Editor* de la revue Journal of Intelligent and Robotic Systems depuis 2012.
- L. Adouane est éditeur invité pour une édition spéciale (Guest Editor), Robotics and Autonomous Systems (RAS), Elsevier. Il est membre du comité de rédaction (Senior Editor-at-Large) du Journal of Intelligent & Robotic Systems, Springer, depuis janvier 2018. Il est également éditeur invité pour une édition spéciale (Lead Guest Editor of Topical Collection) : "Reliability and Safety of Intelligent, Robotic, and Autonomous Vehicles in Complex Conditions ", Journal of Intelligent & Robotic Systems, Springer, 2022-2026.
- A. Correa-Victorino est éditeur associé au Journal of Mechanical Engineering Science depuis 2020 et du IEEE Transaction on Vehicular Technology depuis novembre 2022.
- I. Thouvenin est éditrice associée de la revue internationale Computers & Graphics Journal.

### Organisation de conférences

L'équipe a contribué en 2024 et 2025 à l'organisation de diverses manifestations scientifiques en lien avec les GdR MACS et Robotique. Voici par ordre chronologique inverse, les principales implications des membres de l'équipe :

- L. Adouane a été chairman et co-organisateur au congrès IROS 2024 (Abu Dhabi, EAU, 14-18 October 2024) et 2025 (Hangzhou, China, 19-25 October) du workshop intitulé SIAV-FM2L " Safety of Intelligent and Autonomous Vehicles : Formal Methods vs. Machine Learning approaches for reliable navigation". Il a été également chairman et co-organisateur du workshop intitulé «Véhicules intelligents» regroupant les principaux laboratoires des Hauts-de-France (HdF), travaillant dans le domaine des véhicules intelligents (VI), 28 juin 2024, Compiègne, France.
- R. Talj a organisé une plénière du projet international de recherche IRP Adonis, le 11 juillet 2024 en visio.
- A. Correa a organisé et coordonné du 27 au 29 mars 2024 à l'UTC l'International Workshop - The OWHEEL European H2020 MSCA - RISE Project » avec l'université de Tokyo.
- B. Ducourthial a été chair en binôme avec B. Parrein de la conférence Cores 2024, 9èmes Rencontres Francophones sur la Conception de Protocoles, l'Évaluation de Performance et l'Expérimentation des Réseaux de Communication.
- I. Thouvenin a participé à l'organisation de la journée PEPR ICCARE, COMET ET STYX le 13 Juin 2025 (Réflexion enjeux Gen AI sur les ICC Impact de l'IA générative sur les métiers des ICC pour les univers métaversiques, Avatars et univers métaversiques, impact de l'apprentissage massif de l'IA générative sur des données protégées par



des droits de propriété intellectuelle) à l'IMI UTC Paris. Elle a participé également à l'organisation des journées CONTINUUM 9 juillet 2025 Marseille.

## Comités de programmes

Nous avons participé à des comités de programme de conférences internationales et nationales. Parmi les plus importantes :

- International Symposium on Mixed and Augmented Reality - IEEE ISMAR 2024
- Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces - IEEE VR 2024
- Symposium on Virtual Reality Software and Technology - IEEE VRST 2024
- Conference on Human Computer Interaction Theory and Applications - Hucapp 2024
- EuroXR & IEEE Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD) 2024.
- IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) en 2024, 2025.
- FAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles (IAV) en 2025.
- IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC) en 2024, 2025.
- IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) en 2024, 2025.
- SAGIP congrès 2024, 2025.
- Mediterranean Conference on Control and Automation - MED 2025,

Nous avons également participé à d'autres comités de programme de conférences nationales et internationales. 2024 et 2025.

## Conférences invitées

### 2024

- P. Castillo a donné une visio conférence au *2do Foro de Investigación en Automatización, Control, y Robótica 2024, Universidad Autonoma de Pachuca*, le 3 juillet 2024 (Mexique).
- P. Castillo a été à donner une conférence ainsi qu'à dispenser un cours sur la commande nonlinéaire de véhicules aériens au *Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo* du 04-08 novembre 2024, Brésil.

### 2025

- L. Adouane à fait plusieurs présentations plénières (Keynot seaker) à :
  - ICCII-ERA'25 (International Conference on the Cooperation and Integration of Industry, Education, Research and Application), Tianjin - China, 17-18 October 2025.
  - IMCOOM'25 (19th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication), Bangkok, Thailand, 3-5 January 2025.
  - VAMS'25 (International Symposium on Verification of Autonomous Mobile Systems), Paris - France, 26-28 June 2025.
  - T-ATT'25 (Journées du Comité Technique Automatique et Transports Terrestres), Amiens, France, 2-3 avril 2025.



- P. Castillo a donné une visio conférence au symposium SIMEVANT 2025 (CINVESTAV - Mexico) le 27 novembre 2025.
- J. Moreau a été invité à présenter aux JNRR 2025, à Rennes : "LiDAR, caméra à événements : Orgueil et préjugés"

### Expertises diverses

Parmi les nombreuses expertises réalisées, on peut citer des projets européens, des projets internationaux (Australie, Mexique, Espagne, Belgique, Italie, etc.), des projets ANR (expertises et revues finales) et des dossiers ANRT.

En 2024, les membres de l'équipe ont été rapporteurs de 12 thèses (dont 3 étrangères) et ont participé à 9 jurys de thèse en tant qu'examineur et 4 en tant que président, 1 HDR en tant que président, et à 8 comités de sélection.

En 2025, les membres de l'équipe ont été rapporteurs de 9 thèses (dont 1 étrangère) et ont participé à 15 jurys de thèse en tant qu'examineur et 6 en tant que président, 3 HDR dont 2 comme rapporteur, et 4 comités de sélection, 1 participation au concours DR Inria et 1 participation au comité HCERES.

### Diffusion auprès du grand public, démonstrations

L'équipe SyRI est très souvent sollicitée pour réaliser des démonstrations de véhicules autonomes et de drones aériens. Nous essayons de répondre favorablement à la majorité des sollicitations. Nous donnons dans la suite des exemples d'événements organisés en 2024 et 2025.

Nous participons tous les ans au village de la technologie de l'UTC lors de la fête de la science pour montrer nos travaux au grand public. A. Victorino est le coordinateur au département du Génie Informatique (GI).

Nous avons aussi participé à l'organisation des « Nuits de la recherche » (2024 et 2025). Cet événement vise l'accueil des étudiants de l'UTC et permet de leur faire découvrir ce qui se fait au sein des laboratoires de recherche.

En 2024, nous avons poursuivi le processus collaboratif qui a permis d'aboutir à la charte environnementale du laboratoire. Nous avons également récolté les informations nécessaires à l'établissement du bilan des gaz à effet de serre 2023, et nous avons participé aux groupes nationaux Labo1.5 (partage d'expériences, présentation de nos activités), Expé1.5 (étude des changements d'habitudes).

En 2025, I. Thouvenin a fait une interview sur « Retour sur les métavers » pour l'émission « Internet exploreuses », une émission mensuelle sur la culture numérique, diffusée sur Twitch, Youtube et en podcast.



## 5. FAITS MARQUANTS

### 2024

- Participation soutenue à la Fête de la science et à diverses actions de communication grand public.
- L'article "Multi-Risk Assessment and Management in the Presence of Personal Light Electric Vehicles" (Alao, E., **Adouane, L.**, et Martinet, P.) a eu le prix de "Best student paper" à la conférence ICINCO 2024 [Ala24b, CI].

### 2025

- Yuki HOSOMI, doctorant à l'Université de Tokyo avec co-encadrement (assuré par **A. Victorino**) à l'UTC dans le cadre du programme SFRi, a reçu le "Best Paper Award" dans la conférence IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (IEEE VPPC 2025), pour ses travaux réalisés au laboratoire Heudiasyc sur la modélisation de la gestion énergétique des véhicules électriques [Hos25, CI].
- L'article "Recognition of group actions from individual actions in brainstorming sessions (Fujita, S., Sugawara, K., Gidel, T., Moulin, C., et **Setitra, I.**) a eu le prix du "best paper" de la conférence internationale on Computer Supported Cooperative Work in Design, CSCWD 2025 [Fuj25, E].
- Challenge UTAC 2025: 1er prix sur l'épreuve libre
- Ali Charara a reçu la distinction « Chevalier de l'Ordre National du Mérite », 11 décembre 2025
- Dans le cadre du projet PEPR ICCARE et l'appel du projet COMET ' Conceptions et usages de univers métaversiques', nous avons obtenu le projet 'Résidence d'artiste – la Forêt Virtuelle'. Cette forêt virtuelle s'inscrit dans le cadre d'une utopie narrative qui remet en jeu notre rapport à la technologie au travers d'une expérience interactive originale. L'objectif du projet sera réalisé grâce à une nouvelle forme de communication entre la forêt et l'humain au travers d'une idée poétique basée sur une interprétation sensorielle de la photosynthèse.
- Le laboratoire Heudiasyc porte le projet CAP Twinning (01/2025-12/2029), dans le cadre du projet PostGenAI@Paris porté par Sorbonne Université. Le CAP Twinning, intitulé "TrustWorthy Interactive augmeNted autoNomous drivING", est en collaboration entre Heudiasyc, ISIR, IRCAM et Renault. Il porte sur la conduite partagée dans un environnement routier dynamique et incertain, et il vise à augmenter les capacités de conduite collaborative du conducteur, par des fonctionnalités performantes et fiables de perception, de decision et de contrôle, basées IA.
- Le laboratoire Heudiasyc est impliqué dans le projet PERSEO du PEPR Robotique (CNRS) dans l'Axe 2, avec une expertise en fusion de données collaboratives robustes et quantification des incertitudes. Les travaux de recherche portent sur la localisation, cartographie et perception temps réel en environnements incertains, validés par des expérimentations sur véhicules intelligents, robots mobiles et drones, avec production de datasets et logiciels.
- Promotion de Reine Talj à DR CNRS



## 6. VALORISATION

---

### SIVALab

SIVALab, laboratoire commun avec le groupe Renault, a démarré en mars 2017 et a été renouvelé pour 4 ans sur la période juillet 2021-juin 2025. Huit enseignants-chercheurs et chercheurs (dont sept de SyRI) et 2 ingénieurs d'Heudiasyc ont été impliqués dans ce projet et participaient activement à l'encadrement de doctorants, masters et postdocs avec les ingénieurs de recherche Renault. Afin de faciliter les échanges, ces derniers ont demandé le statut de membre associé externe au laboratoire. Le projet scientifique était construit sur l'étude des méthodes et des systèmes tels que les véhicules soient capables d'élaborer des informations intègres (avec des indicateurs de confiance fiables) concernant la localisation, la perception et les cartes afin d'augmenter la disponibilité des services de navigation autonome. 14 thèses ont été soutenues et 5 sont en cours. Depuis juillet 2025, le partenariat avec Renault continue à travers l'encadrement des thèses en cours et une participation commune au projet CAP TWINNING (cluster IA PostGenAI@Paris). Un nouveau projet scientifique est en cours d'élaboration et devrait conduire à une nouvelle collaboration.

### Datasets

Deux jeux de données ont été acquis, mis en forme, documentés et mis à disposition sur la plateforme dédiée du laboratoire [datasets.hds.utc.fr](https://datasets.hds.utc.fr). Ces jeux de données ont un but de reproduction et de comparaison de nos résultats. Ils ont des publications associées. Par exemple, le project/15 contient les annotations automatiques de détecteurs de poteaux dans des images et des données lidar (avec une vérité terrain GNSS PPK et une extraction de la carte HD de Compiègne). Cela correspond à plus de 50 km parcourus dans la ville de Compiègne sur deux ans.

## 7. LISTE DES PUBLICATIONS

---

### Publications majeures dans des revues (ACL +)

- [Aba25, RI] Abaunza, H., **Castillo Garcia, P.**, et Drakunov, S. Quadrotor Fleet Autonomous Navigation ; Fusing Virtual Points Control and Nonlinear Potential Fields. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, volume 33(3) :903–914, 2025.
- [Bou25a, RI] Boucaud, F., Pelachaud, C., et **Thouvenin, I.** Vicarious Evaluation of a Decision Model for Human-Agent Social Touch Interactions. *IEEE Transactions on Affective Computing*, volume 16(1) :277–289, 2025.
- [Car25, RI] Cardenas, R., **Adouane, L.**, Zinoune, C., et Benloucif, M.A. Context-aware and Reliable Long-term Decision-Making for Safe Intelligent Vehicles : A survey. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, volume 10(12) :5288–5307, 2025.
- [Lac25, RI] **Laclau, P.**, **Bonnet, S.**, **Ducourthial, B.**, Li, X., et Lin, T. Enhancing Automotive User Experience with Dynamic Service Orchestration for Software Defined Vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, volume 26(1) :824–834, 2025.
- [PB25, RI] Pacheco Bacheti, V., Villa, D.K.D., **Lozano, R.**, Sarcinelli-Filho, M., et **Castillo Garcia, P.** Tension-based reconfigurable multi-agent formation for aerial load transportation. *IEEE Access*, volume 13 :114098–114116, 2025.



- [Ric25, RI] **Richard, G.**, Boucaud, F., Pelachaud, C., et Mouttapa Thouvenin, I. "Did she just tap me?" : Qualifying Multisensory Feedback for Social Touch during Human-Agent Interaction in Virtual Reality. *Frontiers in Virtual Reality*, 2025.
- [Tar25, RI] **Tarhini, F., Talj, R.**, et Doumiati, M. Holistic adaptive energy-efficient MPC architecture for multi-objective control in over-actuated autonomous vehicles. *Control Engineering Practice*, volume 164 :106464, 2025.
- [Ari24, RI] Arizaga, J., Miranda-Moya, A., Castañeda, H., et **Castillo Garcia, P.** Observer-based Adaptive Control for Slung Payload Stabilization with a Fully-actuated Multirotor UAV. *ISA Transactions*, volume 147 :109–117, 2024.
- [IA24, RI] Iben Ammar, I., Doumiati, M., **Talj, R.**, Chokor, A., et Machmoum, M. Analysis and control of the vehicle roll dynamics using Sum Of Squares polynomial approach. *Journal of Systems Science and Complexity*, volume 37 :2318–2346, 2024.
- [OP24, RI] Oliva-Palomo, F., Mercado-Ravell, D., et **Castillo Garcia, P.** Aerial Transportation Control of Suspended Payloads with Multiple Agents. *Journal of The Franklin Institute*, volume 361(7) :106787, 2024
- [Tar24a, RI] **Tarhini, F., Talj, R.**, et Doumiati, M. Dual-Level Control Architectures for Over-Actuated Autonomous Vehicle's Stability, Path-Tracking, and Energy Economy. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, volume 9(1) :287–303, 2024.
- [Tar24b, RI] **Tarhini, F., Talj, R.**, et Doumiati, M. Safe and Energy-Efficient Jerk-Controlled Speed Profiling for On-Road Autonomous Vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, pages 610–626, 2024

### Autres publications en revues (ACL)

- [Ala25, RI] **Alao, E., Adouane, L.**, et Martinet, P. Multi-Priority-Based Strategy for Risk Assessment and Management in the Presence of Multiple Personal Light Electric Vehicles. *SN Computer Science*, volume 7(7), 2025.
- [Bou25b, RI] Bounia, L. et **Setitra, I.** Enhancing the intelligibility of decision trees with concise and reliable probabilistic explanations. *Data and Knowledge Engineering*, volume 156 :102394, 2025.
- [Set25, RI] **Setitra, I.**, Rajapaksha, P., Myat, A.K., et Crespi, N. Leveraging ensemble deep models and llm for visual polysemy and word sense disambiguation. *Multimedia Tools and Applications*, volume 84 :35727–35759, 2025
- [Kat24, RI] Kat, C.J., Skrickij, V., Shyrokau, B., Kojis, P., Dhaens, M., Mantovani, S., Gherardini, F., Strano, S., Terzo, M., Fujimoto, H., Sorniotti, A., Camocardi, P., **Corrêa Victorino, A.**, et Ivanov, V. Vibration-induced discomfort in automated driving : OWHEEL case study. *SAE International Journal of Vehicle Dynamics, Stability, and NVH*, volume 8(2) :139–153, 2024.
- [MR24, RI] Mercado Ravell, D., Oliva-Palomo, F., Sanahuja, G., et **Castillo Garcia, P.** Control and real-time experiments for a multi-agent aerial transportation system. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, volume 46(10) :616, 2024.

### Communications majeures avec actes dans des conférences (ACTI+)

- [Ala25a, CI] **Alao, E., Adouane, L.**, et Martinet, P. Stochastic and Safe Multi-Risk Fusion for Autonomous Navigation in the presence of PLEVs. In *36th IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV 2025)*, pages 1942–1949. Cluj - Napoca, Romania, 2025.



- [Ala25b, CI] **Alao, E., Adouane, L.**, et Martinet, P. Hybrid Optimization Method for Safe Autonomous Navigation under Uncertainty. In *12th IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles*, volume 59, pages 121–126. Phoenix, United States, 2025.
- [Ala25c, CI] **Alao, E., Adouane, L.**, et Martinet, P. Reliable Multi-Level Optimization for Safe Predictive Control of Autonomous Vehicles to Avoid Uncertain Multimodal PLEVs. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2025)*. Hang Zhou, China, China, 2025.
- [Bre25, CI] **Brebion, V., Moreau, J.**, et Davoine, F. DELTA : Dense Depth from Events and LiDAR using Transformer's Attention. In *2025 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW 2025)*, pages 4898–4907. Nashville, TN, United States, 2025.
- [CC25a, CI] **Cardenas Curo, R.P., Adouane, L.**, Zinoune, C., et Benloucif, M.A. ODD-Based Long-Term Decision-Making for Intelligent Vehicles. In *36th IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV 2025)*, pages 1215–1221. Cluj-Napoca, Romania, 2025.
- [CC25b, CI] **Cardenas Curo, R.P., Adouane, L.**, Zinoune, C., et Benloucif, M.A. Assessing the Decisional Capability for an ODD-Compliant Automatic Lane Change System via Sense-Think-Act Paradigm. In *12th IFAC Symposium on Intelligent Autonomous Vehicles (IAV 2025)*, volume 59, pages 162–167. Phoenix, United States, 2025.
- [Cha25, CI] **Charmet, T., Cherfaoui, V.**, Ibanez-Guzman, J., et Armand, A. Monitoring Operational Design Domain Compliance in Intelligent Vehicles. In *36th IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV 2025)*, pages 754–760. Cluj-Napoca, Romania, 2025.
- [Coc25, CI] **Cocheteux, M., Moreau, J.**, et Davoine, F. Uncertainty-Aware Online Extrinsic Calibration : A Conformal Prediction Approach. In *IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV 2025)*, pages 6167–6176. Tucson, United States, 2025.
- [CU25, CI] **Cornejo Urquieta, G.F., Moreau, J.**, Grandvalet, Y., Camarda, F., et Ibanez-Guzman, J. Perception Metrics for Intelligent Vehicles : An Application-Focused Evaluation. In *28th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2025)*. Gold Coast, Australia, 2025.
- [He25a, CI] **He, S.** et **Adouane, L.** Contextual-Graph Topology for Efficient and Real-Time Cooperative Intersection Management. In *IFAC Intelligent Autonomous Vehicles Symposium (IAV 2025)*. Phoenix, United States, 2025.
- [He25b, CI] **He, S.** et **Adouane, L.** Safe Cooperative Decision-Making in Uncertain Unsignalized Intersection based on Probabilistic and Predictive Risk Assessment Strategy. In *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. Cluj-Napoca, Romania, 2025.
- [Noi25, CI] **Noizet, M.**, Xu, P., et **Bonnifait, P.** Lidar Pole Detection Training using Vector Maps for Localization. In *36th IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV 2025)*, pages 529–534. Cluj-Napoca, Romania, 2025.
- [Oub25a, CI] Oubouabdellah, S., Dao, M.Q., Malis, E., Héry, E., **Moreau, J.**, et Frémont, V. Improving Vulnerable Road-Users Detection through Hybrid Collaborative Perception and Detection Refinement. In *28th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2025)*. Gold coast, Australia, 2025.
- [Sal25, CI] **Salhi, M.** et **Al Hage, J.** High Integrity Localization with Bayesian Optimization for Information Filter Tuning with Fault Detection. In *28th International Conference on Information Fusion (FUSION 2025)*, pages 1–8. Rio de Janeiro, Brazil, 2025.
- [Tar25, CI] **Tarhini, F.**, Masry, G., **Talj, R.**, et Doumiati, M. Optimal Multi-Objective Adaptive Coordinated Control via Hierarchical MPC Framework for Autonomous Vehicles. In *European Control Conference (ECC 2025)*, pages 2229–2236. Thessaloniki, Greece, 2025.



- [TR25, CI] **Tevera-Ruiz, A.**, Sanchez-Orta, A., **Castillo Garcia, P.**, Chazot, J.D., et Muñoz-Vázquez, A.J. Adaptive Integral-Gain Controller for Robust Quadrotor Navigation with Fourier Neural Network Compensation. In *64th IEEE Conference on Decision and Control (CDC 2025)*. Rio de Janeiro, Brazil, 2025.
- [Ala24a, CI] **Alao, E.**, **Adouane, L.**, et Martinet, P. Reliable Risk Assessment and Management using Probabilistic Fusion of Predictive Inter-Distance Profile for Urban Autonomous Driving. In *22nd European Control Conference (ECC 2024)*, pages 3747–3753. Stockholm, Sweden, 2024.
- [Car24, CI] **Carino, J.**, **Castillo Garcia, P.**, **Vidolov, B.**, et **Lozano, R.** Multi-aerial pursuit of an intruder drone using a behavioral approach based on energy. In *63rd IEEE Conference on Decision and Control (CDC 2024)*, pages 5478–5483. Milan, Italy, 2024.
- [Cha24a, CI] **Charmet, T.**, **Cherfaoui, V.**, Ibanez-Guzman, J., et Armand, A. Operational Design Domain Monitoring with Uncertain Measurements. In *27th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2024)*, pages 1023–1030. Edmonton, Canada, 2024
- [Coc24, CI] **Cocheteux, M.**, **Moreau, J.**, et Davoine, F. MULi-Ev : Maintaining Unperturbed LiDAR-Event Calibration. In *IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW 2024)*, pages 4579–4586. Seattle (USA), United States, 2024.
- [Esc24, CI] **Escourrou, M.**, **Al Hage, J.**, et **Bonnifait, P.** Decentralized Collaborative Localization and Map Update with Buildings. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2024)*, pages 5696–5703. Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2024
- [Ghr24, CI] **Ghraizi, D.**, **Talj, R.**, et Francis, C. Decision Making for Autonomous Vehicles based on Risk Assessment in a Dynamic Environment. In *27th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2024)*, pages 3271–3278. Edmonton, Canada, 2024
- [He24, CI] **He, S.** et **Adouane, L.** A Hybrid Coordinated Decision-Making Method for CAVs at Unsignalized Intersection. In *22nd European Control Conference (ECC 2024)*, pages 3769–3776. Stockholm, Sweden, 2024.
- [Iba24, CI] Ibarra, E. et **Castillo Garcia, P.** Trajectory tracking for aerobatics maneuvers in quadrotors vehicle. In *American Control Conference (ACC 2024)*, pages 785–790. Toronto, Canada, 2024.
- [Lac24, CI] **Laclau, P.**, **Bonnet, S.**, **Ducourthial, B.**, Lin, T., et Li, X. Experimental Validation of User Experience-focused Dynamic Onboard Service Orchestration for Software Defined Vehicles. In *27th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2024)*, pages 490–496. Edmonton, Canada, 2024.
- [Noi24, CI] **Noizet, M.**, Xu, P., et **Bonnifait, P.** Automatic Image Annotation for Mapped Features Detection. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2024)*, pages 9367–9373. Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2024
- [Sal24, CI] **Salhi, M.** et **Al Hage, J.** Zonotopic and Gaussian Information Filter for High Integrity Localization. In *27th International conference on Information Fusion (FUSION 2024)*, pages 1–8. Venice, Italy, 2024.
- [San24, CI] **Santos, M.F.**, **Castillo Garcia, P.**, et **Corrêa Victorino, A.** Aerial Vision Based Guidance and control for Perception-Less Ground Vehicle. In *22nd European Control Conference (ECC 2024)*, pages 2780–2785. Stockholm, Sweden, 2024.
- [Tar24, CI] **Tarhini, F.**, **Talj, R.**, et Doumiati, M. Hybrid Energy-Efficient Local Path Planning for Autonomous Vehicles in Dynamic Environments. In *27th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2024)*, pages 1835–1841. Ed-



monton (Canada), Canada, 2024.

### Autres communications avec actes dans des conférences (ACTI)

- [BK25, CI] **Badibanga Kalenda, M.N., Bonnifait, P.**, et Mittet, M.A. Vector Map Quality Metrics for Contextual Autonomous Driving Systems. In *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES 2025)*. Coventry, UK, United Kingdom, 2025.
- [Bou25, CI] Bounia, L. et **Setitra, I.** Computing Improved Explanations for Random Forests : k-Majoritary Reasons. In *17th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART 2025)*, pages 188–198. Porto, France, 2025.
- [Bra25, CI] Brandão, A., Fagundes-Júnior, L., et **Castillo Garcia, P.** Adaptive Load-Carrying Control using Quadrotors in a Tandem Configuration. In *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS 2025)*, pages 557–564. Charlotte, United States, 2025.
- [GM25, CI] García-Mosqueda, I., **Tevera-Ruiz, A.**, Abaunza, H., **Castillo Garcia, P.**, Sanchez-Orta, A., et Chazot, J.D. Full state quaternion-based observer control for multirotor aerial grasping. In *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS 2025)*, pages 170–176. Charlotte, United States, 2025.
- [He25, CI] **He, S.** et **Adouane, L.** Energy-Efficient Cooperative Decision-Making for CAVs : A Traffic Flow Optimization Approach. In *System of Systems Engineering Conference (SOSE 2025)*. Tirana,, Albania, 2025.
- [Hos25, CI] Hosomi, Y., **Corrêa Victorino, A.**, Nguyen, B.M., et Fujimoto, H. Practical Method for Estimating Energy Consumption Model of Electric Vehicles Using Real-World Driving Data. In *2025 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)*, pages 1–6. Hangzhou, China, 2025.
- [Mor25, CI] **Morando, A.E.S.**, Bozzi, A., Zero, E., Sacile, R., et **Castillo Garcia, P.** Robust Control Architecture for Fleet Formation Based on LMI and Artificial Potential Fields. In *20th Annual System of Systems Engineering Conference (SoSE 2025)*, pages 1–6. Tirana, Albania, 2025.
- [Oub25b, CI] Oubouabdellah, S., Héry, E., **Moreau, J.**, et Frémont, V. BFS-Based Weighted Late Fusion for 3D Object LiDAR Detection in V2X Systems. In *International Conference on the AI Revolution : Research, Ethics, and Society (AIR-RES 2025)*. Las Vegas, United States, 2025.
- [Set25, CI] **Setitra, I.**, Lourdeaux, D., et Bounia, L. Facial Empathy Analysis Through Deep Learning and Computer Vision Techniques in Mixed Reality Environments. In *17th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (ICAART 2025)*, pages 31–39. Porto, Portugal, 2025.
- [SM25, CI] Stoica Maniu, C., Visioli, A., Guzmán, J.L., Rossiter, J.A., Douglas, B., Braiton, A.C., Venturino, A., Varagnolo, D., Mcdonald, J., **Castillo Garcia, P.**, Knorn, S., et Ung, M. Hand-drawn animated cartoons for Control Education : insights from the oosCaR project. In *14th IFAC Symposium on Advances in Control Education (ACE 2025)*, pages 165–170. Budapest, Hungary, 2025.
- [Vaz25, CI] Vazquez, L., Oliva-Palomo, F., Mercado-Ravell, D., et **Castillo Garcia, P.** SQP-Based Cable-Tension Allocation for Multi-Drone Load Transport. In *XX Congreso Latinoamericano de Control Automático (CLCA 25)*. Cancun, Mexico, 2025.
- [Ala24b, CI] **Alao, E., Adouane, L.**, et Martinet, P. Multi-Risk Assessment and Management in the Presence of Personal Light Electric Vehicles. In *21st International Confe-*



- rence on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO 2024), volume 1, pages 137–145. Porto, Portugal, 2024.
- [Ari24, CI] Arizaga, J., Cariño, J., Castañeda, H., Mercado, D., et **Castillo Garcia, P.** Adaptive quaternion control for a quadcopter vehicle : real-time validation in presence of wind gusts. In *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS 2024)*, pages 1261–1266. Chania - Crete, Greece, 2024.
- [Cha24b, CI] **Charmet, T., Cherfaoui, V.**, Ibanez-Guzman, J., et Armand, A. Operational Design Domain Monitoring through Uncertain Observations. In *Vehicule and Infrastructure Safety Improvement in Adverse Conditions (SIA VISION 2024)*. Paris, France, 2024.
- [Des24, CI] Desjardins, M., Nguyen, R., **Huet, R., Bonnifait, P.**, et Mittet, M.A. Automatic checking and correction of localization signs in HD maps with onboard perception systems. In *Vehicule and Infrastructure Safety Improvement in Adverse Conditions (SIA VISION 2024)*. Paris, France, 2024.
- [Fuj24, CI] Fujimoto, K., Fujimoto, H., **Corrêa Victorino, A.**, et **Castillo Garcia, P.** Optimal Energy Trajectory Generation Based on Pitch-Dependent Mutual Inductance Model for In-Flight Inductive Power Transfer of Drones. In *18th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control (AMC 2024)*, pages 1–6. Kyoto, Japan, 2024.
- [Gan24, CI] Gandulfo, D., Varela, A., **Castillo Garcia, P.**, et Abaunza, H. Quaternion-based observer control for multicopter UAVs, an application to unactuated grasping. In *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS 2024)*, pages 1347–1353. Chania, Greece, 2024.
- [He24a, CI] **He, S.** et **Adouane, L.** Energy Efficiency of CAVs in Unsignalized Intersections based on Cooperative Risk-Assessment Strategy. In *Technological Systems, Sustainability and Safety (TS3 2024)*. Paris, France, 2024.
- [He24b, CI] **He, S.** et **Adouane, L.** Reactive Cooperation of Multi-Vehicle System for Efficient Intersection Crossing based on PIDP Speed Space Assessment. In *13th International Workshop on Robot Motion and Control (RoMoCo 2024)*, pages 142–148. Poznan, Poland, 2024.
- [He24c, CI] **He, S.** et **Adouane, L.** A Dynamic Multi-Risk Management based on Cooperative Optimization Architecture for CAVs at Unsignalized Intersection. In *8th IFAC Conference on Nonlinear Model Predictive Control (NMPC 2024)*, volume 58, pages 71–77. Kyoto, Japan, 2024.
- [Jia24, CI] **Jiang, C., Moreau, J.**, et Davoine, F. Event-based Semantic-aided Motion Segmentation. In *19th International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP 2024)*, volume 4, pages 159–171. Rome, Italy, 2024.
- [JF24, CI] Jimenez-Flores, A., Tellez-Belkotosky, P., Ollervides-Vazquez, E.J., **Castillo Garcia, P.**, Reyes-Osorio, L., et Garcia-Salazar, O. A design modification of a quadrotor frame based on fused deposition modeling. In *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS 2024)*, pages 800–806. Chania, Greece, 2024.
- [Mor24, CI] **Morando, A.E.S., Santos, M.F., Castillo Garcia, P.**, et **Corrêa Victorino, A.** Vision-based algorithm for autonomous aerial landing. In *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS 2024)*, pages 652–657. Chania - Crete, Greece, 2024.
- [PB24, CI] Pacheco Bacheti, V., Santos Brandão, A., **Castillo Garcia, P., Lozano, R.**, et Sarcinelli-Filho, M. Multiple formations control using distinct virtual structures. In *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS 2024)*, pages 740–747. Chania, Greece, 2024.



## Communications sans actes (COM)

- [Auv24, CO] Auvray, M., de Lagarde, A., Boucaud, F., Kirsch, L.P., **Thouvenin, I.**, et Pelachaud, C. Sonifying tactile interactions and their underlying emotions : experimental studies and applications in virtual reality. In *7th European Society for Cognitive and Affective Neuroscience (ESCAN 2024)*. Ghent, Belgium, 2024.
- [dL24, CO] de Lagarde, A., Boucaud, F., Kirsch, L.P., **Thouvenin, I.**, Pelachaud, C., et Auvray, M. Paving the way for social touch sonification : behavioral studies and applications in virtual reality. In *18th European Workshop on Imagery and Cognition (EWIC 2024)*. Naples, Italy, 2024.
- [Ric24, CO] **Richard, G.**, Boucaud, F., **Thouvenin, I.**, et Pelachaud, C. Qualification des Modalités du Toucher Social dans les Interactions Humain-Agent en Réalité Virtuelle. In *Workshop sur les "Affects, Compagnons Artificiels et Interactions" (WACAI 2024)*. Bordeaux, France, 2024.

## Directions d'ouvrage ou de revue (DO)

- [Fuj25, E] Fujita, S., Sugawara, K., Gidel, T., Moulin, C., et **Setitra, I.** *Recognition of Group Actions from Individual Actions in Brainstorming Sessions*. Compiègne, France, France, 2025.

