



**HAL**  
open science

## **Groupement de Recherche MACS - Bilan 2019-2023 et Projet 2024-2028**

Dimitri Peaucelle, Damien Trentesaux, Gülgün Alpan, Romain Postoyan,  
Jean Auriol, Christophe Bérenguer, Eric Bonjour, Olivier Cardin, Vincent  
Cheutet, William Derigent, et al.

### ► To cite this version:

Dimitri Peaucelle, Damien Trentesaux, Gülgün Alpan, Romain Postoyan, Jean Auriol, et al.. Groupement de Recherche MACS - Bilan 2019-2023 et Projet 2024-2028. Rapport LAAS n° 23382. 2023. hal-04246559

**HAL Id: hal-04246559**

**<https://laas.hal.science/hal-04246559>**

Submitted on 17 Oct 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain



[gdr-macs.cnrs.fr](http://gdr-macs.cnrs.fr)

## Bilan 2019-2023 et Projet 2024-2028

Dimitri Peaucelle, Damien Trentesaux, Gülgün Alpan, Romain Postoyan

Jean Auriol, Christophe Berenguer, Eric Bonjour, Olivier Cardin, Vincent Cheutet,  
William Derigent, Valérie Dos Santos Martins, Sylvain Durand, Paolo Frasca,  
Laurent Geneste, Marion Gilson-Bagrel, Virginie Goepp, Mamadou Kaba Traoré,  
Jimmy Lauber, Michael di Loreto, Guillaume Mercère, Sylvie Norre, Elena Panteley,  
François Peres, Mihaly Petreczky, Franck Plestan, Nacim Ramdani, Evren Sahin,  
Reine Talj, Louise Travé-Massuyès

Version du 17 octobre 2023



# Introduction

Le GdR MACS (Modélisation, analyse et conduite des systèmes dynamiques) fédère la communauté française de l'Automatique au sens large. Ses objets d'étude sont les propriétés des interactions entre procédés (systèmes physiques de tous types mais aussi systèmes organisationnels et sociaux techniques) et systèmes de décision (commande, contrôle, planification, diagnostic. . .). Le GdR étudie collectivement la production de méthodes scientifiques pour ces objets d'étude, propose et encourage des travaux prospectifs, favorise les interactions avec les secteurs applicatifs et en interdisciplinarité.

Dans le document qui suit nous présentons en premier un bilan des activités menées sous la direction d'Isabelle Queinnec de 2019 à l'été 2021, puis par Dimitri Peaucelle. Ce bilan comprend la description d'une évolution significative du fonctionnement du GdR qui dorénavant investit ses efforts principalement selon trois axes : l'animation de sujets prospectifs par l'outil « Actions MACS » ; la mise en réseau de la communauté et la cartographie des activités de ce réseau constitué de 49 « équipes membres » et de plus de 1100 individus « affiliés » à jour de leur affiliation (plus de 2500 selon un décompte historique) ; l'intégration des jeunes chercheurs et chercheuses. Cette évolution place le GdR comme un interlocuteur central pour analyser et accompagner les évolutions de la communauté MACS. Il travaille conjointement en bonne entente avec la nouvelle société savante SAGIP créée sur le même contour scientifique pour assumer le rôle d'organisation d'un Congrès annuel, de Comité éditorial afférent et d'Organisation nationale membre de la fédération internationale de l'Automatique (IFAC). Les succès de cette nouvelle structuration, mais aussi quelques limites perçues, nous conduisent à proposer un projet de renouvellement du GdR sans bouleversement mais avec quelques inflexions.

La seconde partie du document porte sur le projet pour la période 2024-2028. Le GdR serait sous la responsabilité de Dimitri Peaucelle qui serait assisté de deux responsables adjoints : Gülgün Alpan responsable adjointe aux opérations et Romain Postoyan responsable adjoint aux prospectives. Un comité de pilotage assistera les responsables avec des réunions mensuelles. Il sera constitué d'une part d'un groupe de collègues en charge d'opérations précises (intégration des jeunes chercheurs, Europe, communication etc.) et d'autre part d'un groupe en charge du suivi des prospectives (suivi et lancement de nouvelles Actions MACS, sollicitations pour textes de positionnement scientifique, etc.). En complément, un nouveau Conseil scientifique sera mis en place pour assurer une réflexion de prospectives scientifiques dans la durée (réunions semestrielles). Il aura en particulier un rôle dans l'évaluation des Actions clôturées et le lancement de séminaires sur les méthodologies clés du domaine. Le conseil scientifique et la mise en place de ces séminaires MACS sont les deux évolutions principales pour la période 2024-2028. D'autres pistes d'évolution concernent la mise en place d'une politique vis-à-vis des entreprises ainsi qu'une réflexion sur la thématique de la science ouverte. Les activités en faveur des jeunes chercheurs et chercheuses continueront à être renforcées avec comme idée directrice l'intégration des jeunes collègues dans le réseau MACS. Le positionnement des thématiques de MACS au niveau de l'Europe de la recherche recevra une attention particulière. La diffusion de bonnes pratiques dans la création de codes et de logiciels sera prolongée. La communication interne au réseau et externe concernant les réussites des équipes membres et des affiliés continuera à recevoir une attention spécifique.

Une annexe complète le document. On y trouve des éléments ayant servi de support à l'élaboration du document principal.

# Table des matières

<b>1 Bilan 2019-2023</b>	<b>5</b>
1.1 Évolution de l'organisation du GdR entre 2019 et 2023	5
1.1.1 Organisation jusqu'en 2020	5
1.1.2 Organisation depuis 2021	6
1.1.3 Bilan	8
1.2 Positionnement scientifique	8
1.2.1 Périmètre	8
1.2.2 MACS vis-à-vis des sections du Comité national	11
1.2.3 MACS vis-à-vis des sections du CNU	11
1.2.4 Conférences et Journaux	12
1.2.5 Interactions entre GdR	12
1.3 Cartographie	13
1.3.1 Équipes membres	13
1.3.2 Affiliés à MACS	14
1.3.3 Collection HAL	15
1.4 Actions MACS	15
1.4.1 Fonctionnement des Actions MACS 2020-2023	15
1.4.2 Bilan	17
1.4.3 Cartographie et constitution d'un collectif scientifique	17
1.4.4 Identification de thématiques scientifiques autour d'un objet de recherche	20
1.4.5 Favoriser l'émergence de projets collaboratifs	22
1.5 Activités de prospective	23
1.6 Codes et logiciels	23
1.6.1 Cartographie des pratiques	23
1.6.2 Recensement des productions sur le site du GDR	23
1.6.3 Mise en place de webinaires	24
1.7 Accompagnement des jeunes chercheurs et chercheuses	24
1.7.1 Recensement des jeunes titulaires	24
1.7.2 École MACS et écoles thématiques	24
1.7.3 Préparation aux concours	25
1.7.4 Prix des meilleures thèses	26
1.7.5 Mobilités pendant la thèse	27
1.8 Communication	27
1.8.1 Site web	28
1.8.2 Annonces et Lettre d'information	28
1.8.3 Plaquettes	28
1.8.4 Réseaux sociaux	29
1.8.5 Bilan	29
1.9 Budget	29
<b>2 Projet 2024-2028</b>	<b>30</b>
2.1 Équipe de pilotage	30
2.2 Conseil scientifique	31
2.3 Prospectives scientifiques	31
2.3.1 Résultats marquants des dernières années	32
2.3.2 Enjeux disciplinaires	33
2.3.3 Enjeux inter-disciplinaires	35

2.4	Actions MACS	39
2.5	Séminaires MACS	40
2.6	Accompagnement des jeunes chercheurs et chercheuses	40
2.7	Codes et logiciels	41
2.8	Science ouverte	41
2.9	Entreprises	41
2.10	Europe	42
2.11	Communication	42
<b>A</b>	<b>Compléments</b>	<b>45</b>
A.1	Mots-clés MACS	45
A.1.1	Mots-clés relatifs aux processus	45
A.1.2	Mots-clés relatifs aux systèmes de décision	46
A.1.3	Mots-clés relatifs aux propriétés de l'interaction entre processus et système de décision	47
A.1.4	Mots-clés relatifs aux méthodes	47
A.1.5	Mots-clés relatifs aux outils numériques, codes et logiciels	48
A.1.6	Mots-clés relatifs aux domaines d'application et d'interaction	48
A.2	Compléments sur le positionnement de MACS	49
A.2.1	MACS vis-à-vis des sections du Comité national	49
A.2.2	MACS vis-à-vis des sections du CNU	50
A.2.3	Conférences et Journaux	51
A.3	Dépôt d'une proposition d'Action	55
A.4	Activités de prospective en 2021-2023	56
A.4.1	Groupes de réflexion - MACS et l'IA	56
A.4.2	Contribution pour les prospectives du CNRS	56
A.4.3	Prospectives Interdisciplinaires	58
A.4.4	Correspondant Europe	59
A.5	Actions MACS	59
A.5.1	Amélioration de la résilience des systèmes complexes dans un contexte de perturbations	59
A.5.2	Commande décentralisée des systèmes multi-agents sous contraintes	62
A.5.3	Commande des EDPs, mathématique et ingénierie	63
A.5.4	Epidemics : modeling, identification, control	64
A.5.5	Étude du rapprochement de communautés scientifiques autour du thème "Systèmes d'Information"	65
A.5.6	L'automatique au service de la santé : de la modélisation aux thérapies en boucle fermée	67
A.5.7	Les enjeux de la soutenabilité et leurs impacts sur la recherche en conception et contrôle des systèmes techniques	70
A.5.8	Les Jumeaux Numériques pour les systèmes de production	72
A.5.9	Les outils MACS appliqués aux drones aériens	75
A.5.10	Les réseaux sociaux et l'Automatique	76
A.5.11	Obsolescence et raréfaction : freins inévitables ou niches d'innovation. Perspectives de recherche en prédiction de l'obsolescence	77

# Chapitre 1

## Bilan 2019-2023

### 1.1 Évolution de l'organisation du GdR entre 2019 et 2023

#### 1.1.1 Organisation jusqu'en 2020

Le GdR était organisé historiquement autour de Groupes de travail (GT) regroupés par des Axes. Les Groupes de travail au fil des ans étaient devenus des structures pérennes avec une diversité de pratiques et peu de regard de la part du comité de direction du GdR. Ce fonctionnement avec des GT pérennes a sa cohérence pour ce qui est de l'existence et de l'organisation de communautés thématiques (sous-disciplines). Il limite cependant les capacités d'animation du GdR qui eu égard à son budget ne peut pas intervenir efficacement vis-à-vis d'un nombre élevé de groupes de travail (27 GT dénombrés en 2019). L'intervention du GdR était dès lors surtout orientée dans l'animation des interactions entre GT, ainsi que des interactions entre les GT et d'autres disciplines. Cette animation passait entre autres par le biais des Axes.

Historiquement, le domaine scientifique couvert par le GdR s'est défini comme l'alliance entre Automatique d'une part, qui traiterait de la commande des systèmes dynamiques à états continus, thématique relevant de la section 07 du Comité national, et Génie Industriel et Productique, qui traiterait de la conduite de systèmes de production décrits par des états discrets en nombre fini, relevant au moins pour partie de la section 06. Cette distinction se retrouvait dans l'organisation du GdR jusqu'en 2019. Cette organisation comprenait :

- Un axe "Systèmes de commande" dédié à l'analyse, l'observation, l'identification, la commande, l'optimisation, la prédiction pour une large classe de systèmes : les systèmes dynamiques à temps continu ou discret, hybrides, en réseau, cyber-physiques, ou multi-agent ;
- Un axe "Systèmes de production de biens et de services" spécifique aux questionnements de Productique.

Et deux axes combinant Automatique et Productique :

- Un axe "Modélisation, aide à la décision et supervision" regroupant les deux points de vue continu/discret sur les aspects de modélisation, identification paramétrique, analyse des propriétés et comparaison des modèles, supervision, diagnostic, maintenance ;
- Un axe "Domaines applicatifs - objets d'études" nécessairement transverse.

La partition se trouvait également dans l'organisation disjointe de "journées de l'Automatique" d'une part (novembre 2018 à Nantes [JAMACS'18](#), novembre 2020 en ligne depuis Orléans [JNA'20](#)) et "Journées STP" d'autre part (novembre 2018 à Clermont-Ferrand [JSTP'18](#), décembre 2019 à Nantes [JSTP'19](#)), décembre 2020 en ligne depuis Paris [JSTP'20](#)). La communauté entière ne se regroupait que de façon bisannuelle à l'occasion des Journées doctorales MACS (mini conférence dédiée aux étudiants en thèse) qui était précédée d'une école thématique et combinée à des Journées nationales MACS centrées sur une assemblée générale du GdR. Les dernières [JD/JN/École MACS 2019](#) se sont tenues en juin 2019 à Bordeaux.

Dans un objectif de renforcement des interactions entre les GT et visant une articulation moins centrée sur une partition entre Automatique et Productique, les porteurs du projet de renouvellement du GdR déposé en 2018 ont proposé un nouveau découpage en huit axes inspirés par un travail de prospectives

réalisé à un niveau international au sein de l'International Federation of Automatic Control (IFAC) <sup>1</sup>. Les huit axes se structuraient par types de systèmes :

- données, information, connaissance ;
- systèmes cyber-physiques ;
- systèmes connectés ;
- systèmes complexes ;
- systèmes durables ;
- systèmes sûrs ;
- systèmes multi-agents, cognition et autonomie ;
- systèmes en interaction ou centrés sur l'Humain.

Il était prévu que chaque GT se rattache à plusieurs de ces Axes.

Suite aux remarques pertinentes de la section 07 sur les faiblesses de cette structuration, remarques reprises dans la lettre de mission de l'INS2I, elle n'a pas été mise en oeuvre. Durant l'année 2019 des réflexions ont été menées pour envisager une autre façon d'aborder le contour scientifique du GdR. Ces réflexions ont été menées au sein du comité de direction et partagées avec les laboratoires au cours de l'année 2020 par des rencontres en présentiel, puis en ligne avec un grand nombre de collègues des différents laboratoires.

Conformément au projet déposé en 2018, le GdR MACS a fonctionné de 2019 à 2021 avec le comité de direction suivant.

- Directrice : Isabelle Queinnec (LAAS-CNRS)
- Directeurs adjoints : Luc Jaulin (LAB-STICC), Damien Trentesaux (LAMIH)
- Prospectives en Automatique : Franck Plestan (LS2N)
- Prospectives en sciences et technologies de la production Emmanuel Caillaud (ICUBE)
- Responsables des axes : Marion Gilson-Bagrel (CRAN), Vincent Cheutet (DISP), Paolo Frasca (GIPSA-lab), Eric Bonjour (ERPI), Nadège Troussier (ICD), Christophe Berenguer (GIPSA-lab), Olivier Cardin (LS2N), Mariana Netto (IFSTTAR)
- Responsable des actions jeunes chercheurs et chercheuses : Gülgün Alpan (G-SCOP)
- Partenariats industriels : Serge Boverie (Continental Automotive), Samir Lamouri (ENSAM)
- Prix des meilleures thèses : Dimitri Lefebvre (GREAH)
- Valorisation scientifique : Evren Sahin (LGI)
- Valorisation par les logiciels : Laurent Geneste (LGP)
- Communication : Valérie Dos Santos Martins (LAGEPP)
- Site Web : Etienne Cocquebert (LAMIH)
- Relations internationales : Louise Travé-Massuyes (LAAS-CNRS)
- Activités IFAC : Janan Zaytoon (CRÉSTIC)

Les sections du comité national, tout comme l'INS2I, ont estimé que ce comité de direction était trop nombreux pour être pleinement opérationnel. Associé à une pratique de réunions en présentiel de l'ensemble du comité tous les 2 mois à Paris cela engendrait des coûts élevés. Ils ont également pointé comme une difficulté la part importante des activités IFAC, dont leur financement, qui, pour être utiles à la communauté de l'Automatique, ne sont pas du ressort d'un GdR.

### 1.1.2 Organisation depuis 2021

Les remarques et critiques judicieuses rappelées ci-dessus avaient conduit le CNRS à demander une évaluation à mi-parcours. Le dossier a été déposé début 2021 et évalué lors de la session de printemps. Il comportait un projet avec deux évolutions majeures :

- Une nouvelle formulation du positionnement scientifique du GdR indépendamment de toute structuration historique en Axes et GT. Ce positionnement scientifique est rappelé dans la section 1.2 qui suit.
- La décision de concentrer les moyens du GdR sur trois activités principales :
  - La cartographie et l'animation en réseau des équipes de recherche ayant des activités relevant du périmètre scientifique de MACS. Voir la section 1.3.
  - Des groupes de réflexion scientifique sur des sujets prospectifs ou en évolution. Cette activité a pris le nom d'Actions MACS. Voir la section 1.4.
  - Le soutien aux jeunes chercheurs et chercheuses. Voir la section 1.7.

---

1. Systems & Control for the Future of Humanity, Research agenda : current and future roles, impact and grand challenges, Annual Reviews in Control, 43, 2017, pp. 1-64.



En parallèle de cette évolution de MACS, la communauté scientifique a pris la décision en juin 2019 de créer une société savante ayant le même périmètre que le GdR. Formellement, la Société d'Automatique, de Génie Industriel et de Productique (SAGIP) a déposé ses statuts d'association en mai 2020. Les moyens pour le soutien à la communauté mis en œuvre par la SAGIP sont statutairement :

1. L'organisation régulière de colloques réunissant les spécialistes français et étrangers du domaine disciplinaire couvrant ;
2. La structuration et l'organisation en sous disciplines et sous-champs en accord avec l'évolution constatée de l'avancée des connaissances ;
3. La production d'ouvrages et de recueils en vue d'archivage et de promotion des produits de la recherche ;
4. La production de documents et l'organisation de réunions visant à promouvoir le domaine dans sa diversité ;
5. L'organisation des activités de l'IFAC (International Federation of Automatic Control) en France et des interactions avec celle-ci dans le cas où l'association est acceptée comme représentant la France (National Member Organisation) à l'IFAC<sup>2</sup> ;
6. L'interaction avec d'autres sociétés savantes, nationale ou internationales, relevant en tout ou partie du domaine de l'automatique, le génie industriel et la productique.

L'item 1 a conduit à ce que la SAGIP remplace le GdR dans l'organisation concrète des grands rassemblements du domaine. La plus value du GdR dans l'organisation de ce type d'événement n'était pas évidente d'autant que les GdR n'ont pas de personnel IT propre en mesure d'aider à cette organisation. C'est ainsi que des journées SAGIP (sans distinction entre Automatique et STP) ont eu lieu en [juillet 2021](#) en ligne depuis Toulouse, puis en [mai 2022](#) à Bidart. A compter de 2023 cet événement annuel aura le nom de Congrès de la SAGIP. Il s'est tenu en [juin 2023 à Marseille](#). Le GdR MACS apporte son soutien scientifique à l'événement et y organise une Assemblée générale pour échanger avec l'ensemble de la communauté ainsi rassemblée. L'évolution de "Journées" en "Congrès" va dans le sens de l'item 3 des moyens que se donne la SAGIP, à savoir la publication d'actes.

L'item 2 a été réalisé par le transfert des anciens GT MACS devenus "Comités techniques" de la SAGIP. Leur fonction est dorénavant clarifiée en tant que structuration pérenne au sein d'une société savante dont la pérennité n'est pas dépendante du renouvellement ou pas du GdR par le CNRS. Même s'ils ont pour certains maintenu une activité d'animation (organisation de 11 séminaires sur la période 2021-2022), leur rôle est essentiellement celui d'un comité éditorial au service de la constitution du programme scientifique du Congrès de la SAGIP et d'autres éventuels événements.

Les items 4 et 6 n'ont à ce stade pas été employés. L'item 5 répond à la nécessité d'une association extérieure au GdR pour assurer le lien avec l'IFAC. Le GdR n'a dorénavant plus de dépense relative à l'IFAC.

La partition ainsi réalisée entre activités d'une société savante (SAGIP) décrites ci-dessus et celle du GdR permet dorénavant à MACS de concentrer ses moyens sur une animation ciblée. Cette activité est décrite dans la suite de ce rapport en se concentrant sur les années 2021 et 2022. Comme exposé précédemment, l'année 2019 a été une année de transition consacrée à penser et proposer un nouveau projet pour le GdR. L'année 2020 a été par la suite surtout marquée par la forte baisse des activités en lien avec l'épidémie de COVID-19.

À compter de l'été 2021, conformément au projet déposé à l'occasion de l'évaluation à mi-parcours, le comité de direction, restreint de 22 à 14 membres, était constitué des personnes suivantes :

- Directrice : Dimitri Peaucelle (LAAS-CNRS)
- Directeur adjoint : Damien Trentesaux (LAMIH)
- Prospectives : Franck Plestan (LS2N), Marion Gilson-Bagrel (CRAN), Vincent Cheutet (DISP), Eric Bonjour (ERPI), Christophe Berenguer (GIPSA-lab), Olivier Cardin (LS2N)
- Responsable des actions jeunes chercheurs et chercheuses : Gülgün Alpan (G-SCOP)
- Partenariats industriels : Evren Sahin (LGI)
- Prix des meilleures thèses : Reine Talj (Heudiasyc)
- Données et logiciels : Laurent Geneste (LGP)
- Communication : Valérie Dos Santos Martins (LAGEPP puis DRIVE)
- Relations internationales : Paolo Frasca (GIPSA-lab)

Le comité de direction se réunit une fois par mois en visio-conférence.

---

2. LA SAGIP a été acceptée comme nouvel NMO de l'IFAC en décembre 2019 en remplacement de la SEE

### 1.1.3 Bilan

La partition en deux entités MACS et SAGIP a déjà été décrite dans le rapport à mi-parcours déposé début 2021. Tout comme la communauté scientifique qui a mis un certain temps à assimiler cette évolution, les sections du comité national ont soulevé dans leurs rapports des questions sur l’interdépendance entre les entités et des craintes sur la capacité du GdR à mener à bien sa mission d’animation sans avoir une structuration en groupes de travail. Conscients et reconnaissant des conseils donnés à la fois par les sections et la direction de l’INS2I, le comité de direction du GdR, conjointement avec les dirigeants de la SAGIP, s’est efforcé ces dernières années à clarifier certains malentendus, à améliorer le dispositif et à préparer une prolongation de l’évolution débutée en 2021. Parmi les actions entreprises, il y a eu des présentations en visio avec les équipes membres en mars 2022, aux journées de Bidart en juin 2022 et la tenue d’une assemblée générale réunissant le comité de direction MACS, le conseil d’administration de la SAGIP, les responsables, ou leurs représentants, des Comités techniques de la SAGIP et les responsables, ou leurs représentants, des équipes membres du GdR MACS en octobre 2022<sup>3</sup>. L’ensemble de ces réunions a permis d’ajuster la communication et le fonctionnement des deux entités MACS et SAGIP. Il est par exemple dorénavant admis que tout scientifique de la communauté a la possibilité de participer aux activités des Comités techniques de la SAGIP, même s’il n’a pas adhéré à l’association (l’adhésion est payante).

Dans la suite de ce chapitre de bilan nous exposerons l’activité de MACS telle qu’elle s’est déroulée en tenant compte des ajustements mentionnés ci-dessus. Le chapitre suivant consacré au projet pour la période 2024-2028 présente la continuation des évolutions que nous projetons de réaliser au service de la communauté et pour renforcer les capacités du GdR à répondre aux sollicitations du CNRS.

## 1.2 Positionnement scientifique

### 1.2.1 Périmètre

En revenant sur des concepts de systémique, le domaine scientifique de MACS se caractérise par la conception de **systèmes décisionnels** (planificateurs, optimiseurs, loi de commande, systèmes d’aide à la décision, observateurs, etc.) qui relèvent des processus informationnels (sur des données, des signaux, des connaissances etc.), placés en interaction avec des **processus** qui ont une réalité physique (ou autre) préexistante et souvent décrite par des modèles (mathématiques, logiques, algorithmiques, informationnels...). L’interaction entre ces deux types de systèmes peut être dans une logique de raisonnement déductif (ou constructiviste) quand le système décisionnel est en amont du processus (cas de la planification par exemple), dans un raisonnement abductif quand le système décisionnel est en aval (estimation d’état, diagnostic, évaluation de performances a posteriori, etc.), mais dans un cas comme dans l’autre il s’agit d’étapes vers une interaction de type boucle fermée comme sur le schéma de la Figure 1.1. Les sujets d’étude sont l’analyse des **propriétés** du couplage entre le processus et le système décisionnel, ainsi que la synthèse du système décisionnel qui réalise ou améliore ces propriétés. En tant que scientifiques, notre contribution est dans le développement de **méthodes** (théoriques, mathématiques, d’optimisation, de modélisation, de simulation, etc.), souvent associées à des **outils numériques**, et en interaction avec des **applications** sur lesquelles les méthodes apportent des résultats pratiques mais qui sont aussi source de nouveaux questionnements théoriques.

La communauté MACS développe des méthodes et outils pour analyser et concevoir les interactions croisées entre processus et systèmes décisionnels. Ce type d’interaction se retrouve dans la quasi totalité des systèmes d’ingénierie, mais aussi comme modélisation de phénomènes biologiques, naturels et humains. L’accroissement de la complexité des systèmes à piloter, des sujets étudiés, les nouvelles possibilités et contraintes de commande, les objectifs toujours plus exigeants à atteindre, mais aussi la simple curiosité scientifique, poussent à l’élaboration de théories et de méthodes nouvelles que le GdR souhaite accompagner et stimuler.

La description détaillée des activités implique de préciser chacun des 6 termes : processus, systèmes décisionnels, propriétés, méthodes, outils numériques et applications. Le GdR s’appuie sur ceux-ci pour réaliser à la fois une cartographie des sujets traités par les membres de MACS, pour améliorer la visibilité des méthodes produites, ou encore pour identifier les sujets émergents et les prospectives les plus pertinentes. Le travail de cartographie est présenté dans la section 1.3.

Le processus d’élaboration de cette description a débuté par un sondage auprès des équipes membres

---

3. La présentation ayant servi lors de ces échanges est [disponible en ligne](#)

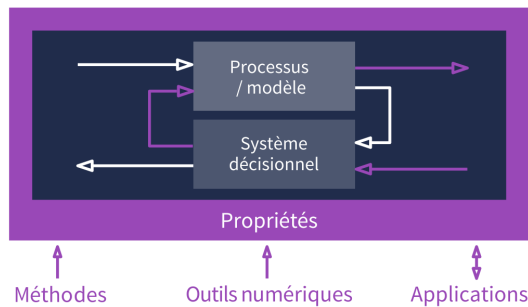


FIGURE 1.1 – Schéma MACS

de MACS qui pouvaient dans un format libre proposer des mots-clés pour chacun des 6 termes. A l'issue de ce processus plusieurs milliers de mots-clés ont été analysés, regroupés en 32 catégories et réduits à une liste de 236 mots-clés jugés pertinents pour à la fois couvrir de façon détaillée les activités sans entrer dans une granularité trop fine. Ces mots-clés sont listés dans l'annexe A.1. Les équipes ont alors été sollicitées une nouvelle fois pour se positionner sur la liste ainsi fixée de mots-clés et n'y ont pas trouvé de difficulté.

## Processus

Ce terme est principalement utilisé dans ce document pour désigner les classes de descriptions abstraites, les classes de modèles, mis en œuvre pour décrire des systèmes concrets que ce soient des phénomènes physiques ou biologiques, des systèmes d'ingénierie, des installations industrielles ou encore des organisations socio-techniques. Cette acceptation du terme processus convient principalement aux approches théoriques au sein de la communauté mais s'y ajoute une seconde compréhension, celle des **objets de recherche**. Par là on entend qu'une partie des collègues empruntent dans et contribuent aux méthodologies développées par la communauté MACS tout en ayant comme coeur de leur démarche scientifique l'amélioration de classes de systèmes concrets, comme les robots, la logistique, l'entreprise, etc.

Outre ces objets de recherche, les mots-clés relatifs aux processus ont été regroupés en 9 sous-catégories. Comme nous l'avons rappelé dans la section précédente, la communauté MACS s'est souvent décrite en prenant comme élément central de distinction les classes de processus, il est dès lors peu surprenant qu'un grand nombre de mots-clés soient mobilisés.

La première caractéristique, qui est au coeur du travail de MACS (modélisation, analyse et conduite des systèmes dynamiques) relève du **type de dynamiques** en cause. Au delà de la distinction entre évolutions à temps continu et à temps discret, la communauté s'intéresse de plus en plus à la jonction entre les deux que ce soit vu de la question de l'échantillonnage de phénomènes de commutation discrète ou plus génériquement du temps hybride qui combine, sans prévalence de l'un sur l'autre, les deux types de dynamiques.

Par delà de cette caractéristique centrale, les systèmes étudiés se distinguent par les types de complications envisagées telles que les **non-linéarités** (localisées ou non), la **dimension infinie** (équations aux dérivées partielles, etc.), les **incertitudes**, les caractéristiques **stochastiques**, l'utilisation de modèles de type **graphes**, les représentations sans modèles mathématiques à base de **données ou de connaissances**, et pouvant combiner ces complexités pour former des **systèmes complexes** (systèmes en réseau, systèmes multi-agents, systèmes de système etc.).

## Systèmes décisionnels

L'objectif commun aux travaux menés par la communauté MACS est la commande ou prise de décision en boucle fermée. Pour y aboutir un schéma classique, dit de séparation, consiste à coupler un raisonnement abductif qui reconstruit des connaissances sur le processus connaissant les actions réalisées et un certain nombre de mesures, avec un raisonnement déductif qui, supposant l'ensemble des informations sur le processus connues, propose les décisions appropriées pour les performances à atteindre.

L'autre schéma est de considérer directement la boucle fermée dans son ensemble. Aussi, nous avons distingué les systèmes décisionnels selon ces trois catégories : contrôle, pré-commande et raisonnement déductif; traitement des mesures connues, raisonnement abductif; boucle fermée, de la mesure à la décision. Une dernière catégorie complémentaire, décrit les aspects algorithmiques. La nuance n'est pas toujours évidente à établir et certains des classements sont en débat.

**Traitement des mesures connues, raisonnement abductif** Trois thématiques principales se dégagent : identification, évaluation de performance; filtrage, observation, estimation; diagnostic, détection. Les recherches menées dans ces sous thématiques sont en lien avec le traitement du signal et l'apprentissage.

**Contrôle, pré-commande et raisonnement déductif** Deux catégories principales se dégagent ici entre décisions par nature discrètes (aide à la décision, ordonnancement, placement de capteurs et d'actionneurs...) et celles de nature continue (planification de trajectoires, contrôle optimal, allocation...). Dans le premier cas les liens forts existent avec la communauté de l'informatique et la recherche opérationnelle en particulier. Quant au second les liens sont principalement avec les communautés du contrôle et de l'optimisation en mathématiques appliquées.

**Boucle fermée, de la mesure à la décision** Dans une large mesure la synthèse directe de commandes ou lois de décisions en boucle fermée est un problème très ouvert. De ce fait les travaux sont plus souvent portés sur l'analyse de boucles préétablies, par exemple issues de méthodes heuristiques (réglages de PID) ou en combinant raisonnements abductifs et déductifs. Un exemple est la commande MPC (Model predictive control) qui s'appuie sur une commande optimale recalculée à chaque pas de temps tenant compte des nouvelles mesures. On note que le retour d'état peut dans la classification être considéré comme de type déductif (l'état est supposé connu) ou en boucle fermée dans le cas robuste (l'état est connu mais pas les paramètres définissant le système).

**Types de lois de décision** Pour toutes les lois de décision décrites précédemment s'appliquent des typologies d'ordre technologique ou mathématique telles que l'optimisation (en particulier pour le contrôle mais pas seulement), l'apprentissage (en particulier pour le diagnostic mais s'étend à la commande), des caractéristiques sur les dynamiques internes de la loi (échantillonnée, événementielle, hybride...), sur son architecture (distribuée, en réseau, hiérarchique) ou encore sur les types de non-linéarités incorporées (adaptatif, mode glissants...).

## Propriétés

Les propriétés attendues de la paire processus-système de décision sont de deux ordres selon que la focale est sur les objets de recherche (indicateurs de qualité) ou sur leur abstraction mathématiques. Les **indicateurs de qualité** reflètent des attendus relativement classiques comme l'optimalité, la satisfaction de contraintes ou la certification, mais également des enjeux nouveaux comme l'impact socio-économique, l'écologie et la place de l'humain.

Les propriétés mathématiques sont elles transversales à ces indicateurs de qualité et font partie de du processus de modélisation de problématiques concrètes en problèmes mathématiques circonscrits. Nous faisons le choix de les classer en trois sous-catégories : les **propriétés structurelles** de type bien-posé qui doivent être satisfaites pour envisager de résoudre la problématique (contrôlabilité, identifiabilité, viabilité etc.); les **stabilités** dont l'analyse est inhérente au caractère dynamique des systèmes (stabilité asymptotique, en temps fini, temps de réponse, consensus, poursuite ...); les **robustesses** dont l'obtention est grandement liée à l'architecture de décision en boucle fermée (fiabilité, rejet de perturbations, résilience, tolérante aux fautes...).

## Méthodes

L'étude des méthodes de la communauté MACS fait apparaître une grande variété, certaines étant spécifiques à l'automatique (**théorie de la commande**), d'autres relatives à l'ancrage historique en sciences de l'ingénieur (**ingénierie**), mais le plus grand nombre sont transversales allant des **mathématiques appliquées** (dont l'**optimisation**, l'**apprentissage**, les **méthodes stochastiques**) à la **modélisation** et

la **simulation**. Le positionnement sur ces méthodes transversales est tout autant comme utilisateurs avisés que comme contributeurs. Dans la partie projet de ce document (chapitre 2) nous formulons quelques résultats significatifs dus à notre communauté dans les dernières années mais aussi les enjeux sur lesquels focaliser les travaux de recherche des années à venir.

## Outils numériques

Sans que la production de logiciels ne soit au cœur de l'activité des chercheurs du domaine MACS, les résultats produits sont souvent sous forme de méthodes numériques dont découlent des codes d'ampleur plus ou moins grande. Les codes et logiciels sont également au cœur des échanges avec les industriels. Le GdR a l'ambition de recenser les pratiques en cours en termes de production et partage de ces codes et d'aller vers une amélioration de ces pratiques au service d'une science plus ouverte et reproductible. La section 1.6 décrit les activités du GdR concernant cet objectif.

## Applications, Interactions

Comme mentionné précédemment au sujet des processus, une partie de la communauté définit ses travaux comme orientés par des domaines applicatifs. Par applications nous considérons plus précisément des interactions concrètes avec des partenaires extérieurs à MACS qui peuvent être des entreprises de différents **secteurs industriels et économiques** mais également des scientifiques d'autres disciplines avec lesquels nous avons des échanges fructueux en **interdisciplinarité**. Parmi ces interactions, une mention particulière va aux liens forts avec la **robotique** avec de nombreuses thématiques communes pour leur commande mais aussi concernant leur intégration dans les environnements industriels. En lien ou pas avec les industriels et les coopérations interdisciplinaires, une attention est également portée sur la création de démonstrateurs hébergés dans les équipes de recherche ou créés par elles qui permettent d'illustrer les réussites scientifiques du domaine.

Cette définition des contours des activités de MACS autour des 6 axes thématiques Processus, Systèmes décisionnels, Propriétés, Méthodes, Outils numériques et Applications est à la base de la cartographie présentée en section 1.3.

### 1.2.2 MACS vis-à-vis des sections du Comité national

Dans le cadre de la préparation de ce document le comité de direction a fait l'analyse des mots-clés des sections du Comité national de la recherche scientifique pour étudier le positionnement de la communauté MACS à cet égard. Sans surprise le coeur des activités est en section 07 sous le mot clé "Automatique". Les mots clés liés à la recherche opérationnelle correspondent également fortement aux questions de pilotage des systèmes industriels couverts par MACS et les mots-clés sur l'apprentissage en section 06 et 07 ont été considérés comme pertinents au sens où certaines contributions de MACS s'appuient sur les résultats dans ce domaine. Les mots clés en Contrôle de la section 41 ont également été jugés comme très pertinents même si les liens avec cette communauté sont peu formalisés au sein du GdR. Voir l'annexe A.2.1 pour le détail des mots clés jugés comme pertinents pour tout ou partie des collègues du GdR MACS.

En complément de ce positionnement formulé par le comité de direction de MACS, il convient de remarquer que, sur les 1135 affiliés (dont 70 CNRS) ayant mis à jour récemment leurs données sur le site du GdR, 486 ont indiqué être proches des thématiques de la section 7, 76 de la section 6. Le formulaire tel qu'il était début 2023 ne nous permet pas d'avoir d'informations sur les autres sections du comité national.

### 1.2.3 MACS vis-à-vis des sections du CNU

Le même exercice a été mené vis-à-vis des mots-clés des sections 27, 60 et 61 du Conseil national des universités, voir annexe A.2.2. Sur les 1135 affiliés (dont 762 enseignants-chercheurs) ayant mis à jour récemment leurs données sur le site du GdR, 757 ont indiqué être proches des thématiques de la section 61, 104 de la section 27 et 58 de la section 60. Les autres sections renseignées étaient : 26 (Mathématiques appliquées et applications des mathématiques) 38 personnes, 63 (Génie électrique, électronique, photonique et systèmes) 30 personnes, 6 (Sciences de Gestion), 12 personnes et quelques autres.

## 1.2.4 Conférences et Journaux

En complément du positionnement eu égard aux instances scientifiques nationales, l'annexe [A.2.3](#) complète le positionnement de MACS par des listes de journaux et conférences internationales d'intérêt pour les chercheurs de MACS. Ces listes ont été élaborées au sein du comité de direction de MACS dans le but d'affiner le positionnement scientifique, sans exhaustivité. Elles correspondent à des revues ou conférences dans lesquels les chercheurs du domaine vont publier et chercher des nouvelles contributions. Aucun objectif de classement n'a été appliqué pour les constituer, ni en termes de facteur d'impact ou autre indicateur chiffré. Ce qui a été jugé comme pertinent était la qualité des travaux que l'on trouve dans ces publications. Nous les avons regroupées selon quelques catégories partant de ce qui constitue le coeur de MACS :

- Automatique, Théorie de la commande
- Génie Industriel
- IA & Machine learning
- Recherche opérationnelle
- Mathématiques appliquées - Optimisation, Théorie du Contrôle, Proba/Stats

et en incluant des domaines en interaction.

## 1.2.5 Interactions entre GdR

Pour conclure cette section sur le positionnement de MACS, nous avons souhaité rappeler quelques éléments de bilan des interactions entre différents GdR. Nous sommes convaincus que les interactions avec ces GdR mais aussi avec de nombreux autres mériteraient d'être renforcées et proposons des pistes en ce sens dans le projet 2024-2028.

**GdR ROD** Les liens entre MACS et ROD (Recherche opérationnelle et décision, précédemment RO) sont anciens, en particulier de fait du positionnement de la communauté du Génie Industriel qui vise au pilotage des systèmes de production en empruntant la vision "système" et pilotage en boucle fermée de la communauté MACS, tout en étant en termes d'outils très liée à l'optimisation combinatoire sous contraintes qui est au coeur des méthodes de ROD. Ces liens se concrétisent ainsi souvent autour de domaines d'application. Partenariats existants :

- Comité technique ORIGIN (ORdonnancement intéGré pour l'usiNe du futur) conjoint avec le GdR ROD (anciennement sur le nom de GT Bermudes). Dans le cadre de ce comité technique on peut noter l'organisation de sessions aux colloques de la SAGIP en 2018 et ROADEF en 2019 mais aussi l'organisation d'un cours à l'école MACS de 2019.
- Comité technique GISEH (Gestion et ingénierie des systèmes hospitaliers) de la communauté MACS qui oeuvre en coopération avec le GT ROSa (RO et Santé). On note dans ce cadre un Webinaire commun en juin 2021 sur "Aide à la Décision et RO pour traiter des problématiques de logistique et organisationnelles face à la crise sanitaire du Covid-19".
- Comité technique META (Métaheuristiques) conjoint avec le GdR ROD. Organisation de sessions lors des colloques de la SAGIP (société savante sur le contour du GdR MACS) en 2018, 2020 et [2022](#).
- Co-organisation MACS-ROD d'une session tutorielle lors de [ROADEF 2022](#).
- Co-organisation MACS-ROD d'une journée industrielle le 28 novembre 2022 sur le thème [Modélisation, optimisation et aide à la décision dans l'industrie du Futur](#).

**GdR Robotique** Les liens entre MACS et Robotique sont principalement sur des questions de commande, et sont particulièrement actives pour la commande des véhicules. Partenariat existant :

- Comité technique UAV (Véhicules Aériens Autonomes) conjoint avec le GdR Robotique. Réunion organisées tous les ans. Une Action MACS intitulée "Les outils MACS appliqués aux drones aériens" a également été lancée pour renforcer ces liens et faire un point d'étape sur les contributions MACS dans le domaine. Voir section [1.4.4](#).

Partenariats qui mériteraient d'être développés :

- Entre le Comité Technique ATT (Automatique et Transports Terrestres) et le l'Axe véhicules terrestres du GT véhicules autonomes de Robotique
- Réflexion sur la place de la commande predictive en Robotique
- Partenariats entre les activités Automatisation des Systèmes Humain-Machine côté MACS et le groupe de travail Interactions personnes / systèmes robotiques.

## 1.3 Cartographie

### 1.3.1 Équipes membres

Le tableau 1.1 liste les 49 équipes membres de MACS. La notion "d'équipe membre" englobe aussi bien des équipes en tant que telles au sein de laboratoires, parfois des pôles ou des départements, ou encore des laboratoires dans leur ensemble. Dans tous les cas il est demandé que l'interlocuteur vis-à-vis de la direction du GdR soit le responsable officiel de cette entité. Il est ainsi plus à même de répondre aux sollicitations en fournissant des données à jour sur les activités de l'ensemble de l'équipe concernée. Les colonnes de droite indiquent les nombres de personnes de cette équipe membre qui se sont affiliées au GdR selon qu'elles soient doctorants, chercheurs, enseignant chercheurs ou autres (ingénieurs ou n'ayant pas renseigné leur statut). Nous ne distinguons pas dans ce tableau les chercheurs temporaires, émérites ou permanents, idem pour les enseignants chercheurs.

Quelques remarques :

- Les chiffres tiennent compte des entrées faites volontairement par les personnes en s'affiliant sur le site web du GdR. Les données prennent en compte les personnes ayant fait la démarche au cours des 2 dernières années (1149 personnes au total). Avant cette mise à jour le GdR comptait plus de 2500 affiliés. Leurs fiches ont été effacées pour des raisons de protection des données personnelles.
- Certains affiliés, bien que faisant partie d'une équipe membre, n'ont pas renseigné être rattaché à leur équipe, mais ce nombre est relativement faible. Un peu moins de la moitié des affiliés sont hors des équipes membres ce qui illustre que les thématiques de MACS sont présentes dans de nombreux autres laboratoires et équipes. Une partie de ces affiliés hors équipes membres sont également des ingénieurs en entreprise et des collègues à l'étranger.
- Très peu de doctorants se sont affiliés au GdR. Il y a donc une grande marge de progression pour les contacter et les convaincre des bénéfices qu'ils auront à s'affilier.
- Certaines équipes membres ont très peu d'affiliés. Après une longue phase de 2 ans pour les sensibiliser à participer au GdR cela va conduire la direction du GdR à revoir l'affiliation de certaines d'entre elles, ou, pour certains laboratoires, de proposer que l'affiliation se fasse au niveaux de départements qui regroupent les équipes.
- La figure 1.2 donne une indication sur le poids relatif des laboratoires CNRS au sein des équipes membres (71%) et au sein de ceux-ci la part relative à l'INS2I (56%) et celle relative à l'INSIS (15%). Ce graphique a été obtenu en faisant la somme des affiliés présents dans des unités de recherche hors CNRS, de ceux dans des unités rattachées principalement à l'INS2I et de ceux dans les unités rattachées principalement à l'INSIS. Concernant ICube (co-rattaché INS2I et INSIS) nous avons compté CSIP comme INSIS car dans le département mécanique et RDH à l'INS2I car dans le département Imagerie, Robotique, Télédétection & Santé. Au LAAS toutes les équipes ont été comptées comme INS2I.

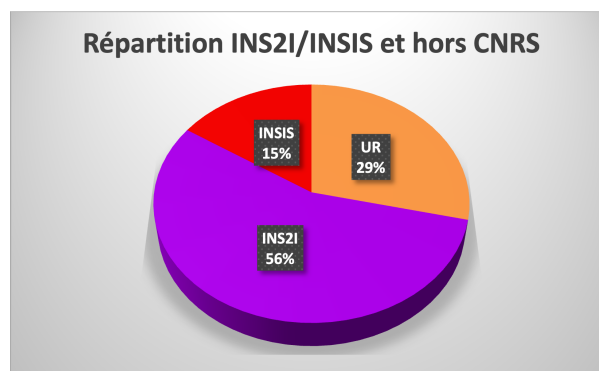


FIGURE 1.2 – Répartition CNRS / Hors CNRS

Dans l'annexe A.1 nous proposons quelques éléments chiffrés sur le positionnement des 48 équipes membres au regard des mots-clés. Globalement l'analyse montre que les équipes ont toutes pu se positionner aux regard des axes thématiques proposés et, à de rares exceptions, ont renseigné des mots-clés dans l'ensemble des axes. Ceci nous conforte sur le fait que ces axes thématiques sont pertinents pour décrire la démarche scientifique de la communauté MACS.

TABLE 1.1 – Liste des équipes membres du GdR MACS

<i>Ville</i>	<i>CNRS</i>	<i>unité</i>	<i>Équipe-membre</i>	<i>resp. équipe</i>	<i>Doc</i>	<i>Ch</i>	<i>ECh</i>	<i>Autre</i>	<i>Tot</i>
Angers	–	LARIS	SDO	Sébastien Lahaye	0	0	8	0	8
Angers	–	LARIS	SFD	Laurent Saintis	0	0	3	0	3
Brest	UMR6285	LAB-STICC	Robex	Luc Jaulin	1	2	4	0	7
Besançon	UMR6174	FEMTO	Dpt AS2M	Yann Le Gorrec	1	2	12	2	17
Bordeaux	UMR5218	IMS	Grp Autom.	Xavier Moreau	1	0	17	0	18
Bordeaux	UMR5218	IMS	Grp Prod.	Yves Ducq	1	0	14	0	15
Caen	–	LIS	–	Tomas Menard	1	0	7	0	8
Cergy	–	QUARTZ	ANLER	Aggoune Woihida	0	0	8	1	9
Compiègne	UMR7253	HEUDIASYC	–	Pedro Castillo	0	3	4	2	8
Compiègne	–	Roberval	SIPP	Benoît Eynard	0	0	4	0	4
Gif/Yvette	UMR8506	L2S	COMEDY	Luca Greco	0	3	4	0	7
Gif/Yvette	UMR8506	L2S	MODESTY	Elena Panteley	2	8	1	1	12
Gif/Yvette	UMR8506	L2S	SYCOMORE	Cristina Maniu	1	0	11	1	13
Gif/Yvette	–	LGI	–	Bernard Yannou	2	0	9	0	11
Gif/Yvette	–	LUPRA	–	Olivier Bruneau	0	0	3	0	3
Grenoble	UMR5272	G-SCOP	–	Maria Di Mascolo	4	2	19	0	25
Grenoble	UMR5216	GIPSA-lab	COPERNIC	Ahmad Hably	0	1	2	0	3
Grenoble	UMR5216	GIPSA-lab	DANCE	Paolo Frasca	3	4	2	0	9
Grenoble	UMR5216	GIPSA-lab	INFINITY	Emmanuel Witrant	0	3	2	0	5
Grenoble	UMR5216	GIPSA-lab	MODUS	Mirko Fiacchini	1	4	4	1	10
Grenoble	UMR5216	GIPSA-lab	SAFE	John-Jairo Martinez-Molina	1	0	5	1	7
Lille	UMR9189	CRIStAL	Grp CO2	Laurentiu Hetel	0	6	6	1	13
Lille	UMR9189	CRIStAL	Grp TOPSYS	Rochdi Merzouki	0	0	14	2	16
Lyon	UMR5005	Ampere	Dpt AIS	Eric Bideaux	3	1	17	1	22
Lyon	–	DISP	–	Vincent Cheutet	2	1	26	0	29
Lyon	UMR5007	LAGEPP	DYCOPI	Vincent Andrieu	0	3	5	0	8
Marseille	UMR7020	LIS	Pôle ACS	Rachid Outbib	0	0	9	1	10
Montpellier	UMR5506	LIRMM	Dpt robotique	Marc Gouttefarde	1	4	3	0	8
Nancy	UMR7039	CRAN	Dpt CID	Constantin Morarescu, Didier Maquin	5	4	16	2	27
Nancy	UMR7039	CRAN	Dpt ISET	Hind Bril El-Haouzi	1	1	25	2	29
Nancy	–	ERPI	–	Mauricio Camargo	0	1	5	0	6
Nantes	UMR6004	LS2N	CODEx	Malek Ghanes	0	2	10	1	13
Nantes	UMR6004	LS2N	CPS3	Catherine Da Cunha	0	0	12	1	13
Nantes	UMR6004	LS2N	OGRE	Christophe Jermann	0	1	2	0	3
Orléans	–	PRISME	IRAUS	Nacim Ramdani	0	0	16	0	16
Poitiers	–	LIAS	A&S	Olivier Bachelier	0	0	16	0	16
Reims	–	CReSTIC	Dpt ATS	Mamadou Mboup	1	0	12	3	16
Rennes	UMR6164	IETR	Dpt AUT	Romain Bourdais	1	0	7	0	8
Saint-Etienne	UMR6158	LIMOS	axe ODPS	Dominique Feillet	1	1	20	2	24
Strasbourg	UMR7357	ICube	CSIP	Virginie Goepf	0	1	6	1	8
Strasbourg	UMR7357	ICube	RDH	Sylvain Durand	2	0	8	1	11
Tarbes	–	LGP	Dpt Systèmes	François Pérès	0	0	16	0	16
Toulouse	UPR8001	LAAS	DISCO	Yannick Pencilé	0	2	6	1	9
Toulouse	UPR8001	LAAS	ISI	Claude Baron	0	0	1	0	1
Toulouse	UPR8001	LAAS	MAC	Lucie Baudouin	4	8	2	3	17
Toulouse	UPR8001	LAAS	POP	Victor Magron	0	3	0	0	3
Toulouse	–	ONERA	Dpt TIS	Jean-Marc Biannic	0	14	0	17	31
Valenciennes	UMR8201	LAMIH	Dpt Autom.	Jimmy Lauber	2	0	29	7	39
Total Equipes					42	85	432	55	612

### 1.3.2 Affiliés à MACS

Les statistiques qui suivent prennent en compte les informations fournies par les 1135 [Affiliés](#) ayant mis à jour leurs informations entre début 2021 et le 1er avril 2023. Le recensement n’est pas exhaustif, en particulier pour ce qui est des jeunes chercheurs et chercheuses (doc. et post-thèse) mais donne une bonne évaluation statistique de la répartition des différentes catégories de collègues sur statuts de permanents.

Le tableau 1.2 donne la répartition par statuts. Les enseignants-chercheurs sont à peu près 6 fois plus nombreux que les chercheurs. L’outil que nous avons mis en place ne comprend pas de question sur le genre. Une analyse des prénoms permet cependant de conclure sur une répartition entre 20% de femmes et 80% d’hommes.

Les établissements de rattachement renseignés permettent d’affiner cette répartition. Concernant les organismes de recherche on note 70 personnes du CNRS, 35 ONERA, 25 Inria, 5 Inrae, 5 CEA, 2 CNES. Concernant les établissements d’enseignement supérieur les sites suivants apparaissent comme les plus représentés : Lorraine 81 personnes, Hauts-de-France 73, Lyon 59, Toulouse 57, Grenoble Alpes 52, Saclay 49, Nantes 45, Paris 36, Bordeaux 35, Alsace 29, Belfort 21, Troyes 20, Clermont 18, Compiègne 18, Normandie 18, Poitiers 17, Paris-Est 16, St Etienne 15, Orléans 15, Marseille 13.



TABLE 1.2 – Répartition des affiliés de MACS par statuts

<b>Chercheurs et chercheuses</b>	<b>150</b>	<b>13.2%</b>
dont Chargés de recherche (et assimilés)	65	5.7%
dont Directeur de recherche (et assimilé)	56	4.9%
dont Directeur de recherche émérite	5	0.4%
dont chercheurs temporaire (Post-doc, etc.)	24	2.1%
<b>Doctorantes et doctorants</b>	<b>55</b>	<b>4.8%</b>
dont financement d'établissement (Université, Ecole, CNRS, etc.)	28	2.5%
dont financement industriel (CIFRE, etc.)	10	0.9%
dont financement international	3	0.3%
dont financement sur contrat (ANR, projet Européen, Région, etc.)	11	1.0%
dont sans financement	3	0.3%
<b>Enseignantes-chercheuses et enseignants-chercheurs</b>	<b>762</b>	<b>67.1%</b>
dont Maîtres de conférence (et assimilé)	302	26.6%
dont Maitres de conférence avec HdR	129	11.4%
dont Maître de conférence émérite	1	0.1%
dont Professeurs des Universités (et assimilé)	302	26.6%
dont Professeurs des Universités émérite	18	1.6%
dont Enseignant-chercheur temporaire (ATER, etc.)	10	0.9%
<b>Étudiantes et étudiants pré-thèse</b>	<b>2</b>	<b>0.2%</b>
<b>Ingénieures et ingénieurs</b>	<b>62</b>	<b>5.5%</b>
dont dans un organisme de recherche	24	2.1 %
dont dans une entreprise	30	2.6%
dont dans une université	6	0.5%
dont temporaire	2	0.2%
<b>Autres (ou non-renseigné)</b>	<b>104</b>	<b>9.2%</b>

### 1.3.3 Collection HAL

La [collection HAL](#) a été mise en place pour connaître les directions des recherches menées et ainsi définir les thématiques émergentes de notre communauté. Si l'idée est pertinente la difficulté d'associer ("tamponner" selon le vocabulaire HAL) un document au GdR MACS ne permet pas d'avoir une visibilité réelle sur les travaux menés par nos affiliés, nos équipes membres. En effet le processus actuel oblige les équipes à nous envoyer leurs collections et Valérie Dos Santos Martins et Etienne Cocquebert, en tant que gestionnaires de la collection, tamponnent les documents un à un.

Nous nous sommes limités aux seules thèses (près de 90% des documents) et Habilitation à Diriger des Recherches. A ce jour, près de 1000 documents sont référencés, les plus anciens datant des années 2000, avec un nombre conséquent de documents sur la période 2014-2018, significatif du premier recensement effectué en 2019 et pour lequel toutes les équipes nous ont fait remonter les informations (Fig. 1.3). Un nouveau mode de recensement en utilisant le formulaire d'affiliation au GdR est en place depuis le mois d'avril 2023 et devrait permettre d'améliorer le recensement à mesure que les personnes mettent à jour leurs informations.

D'après l'analyse disponible sous HAL, les domaines principaux sont Sciences de l'ingénieur [physics] avec 46.8% des documents et Informatique [cs] avec 39.1% des documents, puis en TAG secondaire apparaissent Mathématiques [math] et Sciences de l'Homme et Société (Fig. 1.5 (droite)).

## 1.4 Actions MACS

### 1.4.1 Fonctionnement des Actions MACS 2020-2023

Les actions MACS marquent la volonté du GdR de focaliser la majeure partie des moyens mise sa disposition à l'animation des évolutions scientifiques en cours dans le domaine. Contrairement à une structuration en groupes de travail pérennes, les actions visent à porter l'accent sur des thématiques émergentes, des sujets faisant débat, encourager de nouvelles pratiques de recherche, etc. Les Actions sont nécessairement en nombre réduit, choisies avec soin, financées au mieux que possible, faisant participer

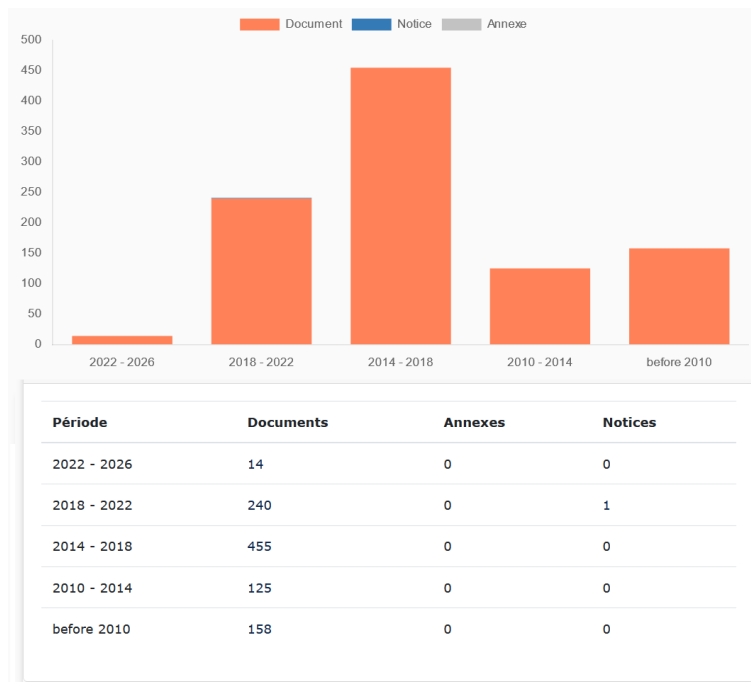


FIGURE 1.3 – Collection HAL du GDR MACS : Répartition par période

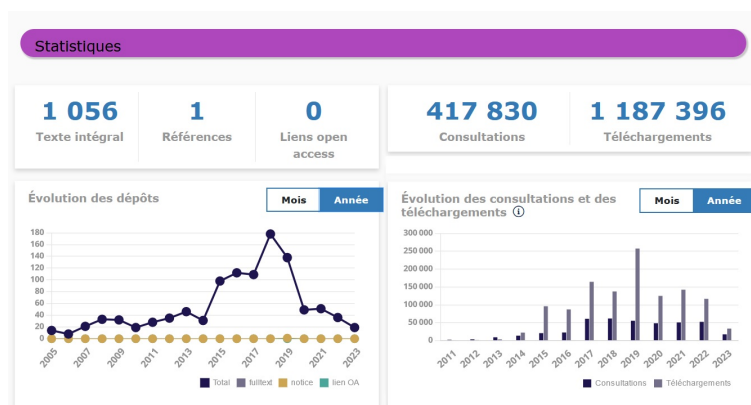


FIGURE 1.4 – Collection HAL du GDR MACS : Statistiques

un nombre conséquent de personnes sur le territoire français et des intervenants internationaux. Le mode de fonctionnement évite les écueils inhérents aux appels d’offres tels que cadrage a priori, la formalisation rigide des dépôts et le manque de réactivité.

**Origine des Actions MACS** Les Actions sont portées par un ou plusieurs collègues. Elle peuvent être purement à leur initiative mais ont souvent été proposées suite à des sollicitations du comité de direction du GdR MACS. Les discussions scientifiques du comité de direction font régulièrement émerger des questionnements sur des sujets susceptibles de relever de l’outil Action MACS. Dans ce cas, une ou plusieurs personnes du comité de direction sont chargées de contacter des collègues dont les activités relèvent de ce sujet pour les inciter à former une équipe et proposer une Action MACS.

**Dépôt d’une proposition d’Action** Les dépôts d’Actions MACS se font en mode connecté sur le site du GdR. L’annexe A.3 décrit le formulaire utilisé pour le dépôt et le suivi des actions.

**Décision de lancement d’une Action** À l’occasion de la réunion du comité de direction qui suit le dépôt de l’action (et dans la mesure où le délai entre les deux est raisonnable), le comité analyse la proposition. Deux rapporteurs sont désignés pour exposer une analyse détaillée. Lors de ce premier

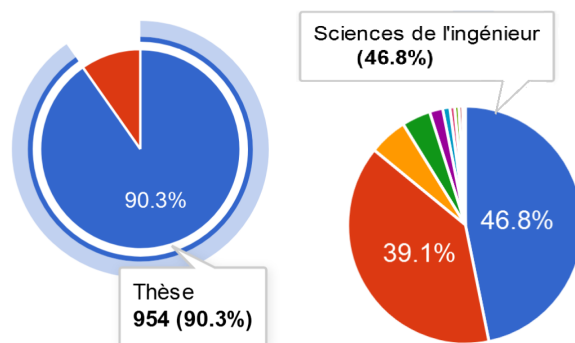


FIGURE 1.5 – Collection HAL du GDR MACS : Répartition par type de documents (gauche) et le domaine (droite)

examen, le comité peut valider l'action avec d'éventuelles recommandations, suggérer des améliorations (par exemple, contacter d'autres participants potentiels, élargir à des sujets scientifiques connexes, cibler plus précisément les objectifs...), ou rejeter la proposition (objectifs inatteignables, hors du champs de compétence de MACS...). Si la décision est reportée avec une demande d'amélioration, son examen est renouvelé une fois les modifications fournies par les porteurs.

**Suivi des actions** Le comité de direction a régulièrement à son ordre du jour une discussion sur l'évolution des actions. Les référents au sein du comité de direction (en général un des rapporteurs) contactent les porteurs des actions pour un échange sur les activités en cours et en réfèrent au comité de direction. En 2022, chaque action a eu la possibilité d'exposer ses travaux à l'occasion de l'assemblée générale du GdR (lors du congrès SAGIP à Bidart). À l'occasion de la rédaction du présent bilan du GdR, les porteurs d'Action ont fourni un bilan sur leur action en cours ou terminée.

## 1.4.2 Bilan

Les 11 Actions MACS financées au cours de la période 2019-2023 ont apporté un nouveau dynamisme dans les activités du GdR. Même si la situation compliquée due à la pandémie de COVID a en partie freiné la réalisation des actions dans les temps espérés (en général 2 ans), la plupart des animateurs ont réussi à mener avec succès l'animation scientifique proposée et faire utilement avancer des réflexions prospectives. La souplesse du dispositif a été appréciée et a permis d'avoir des actions aux visées diverses telles que des groupes de travail préparant la cartographie des forces sur une thématique précise, la constitution d'un collectif scientifique, l'identification de thématiques scientifiques autour d'un objet de recherche sur une thématique nouvelle ou un projet de plus grande ampleur.

La plus grande part de ces Actions MACS a été suggérée voire initiée par les membres du comité de direction du GdR. Si bien d'autres idées ont été évoquées et permettent d'envisager le lancement prochain de nouvelles actions, il serait intéressant que la communauté se saisisse plus spontanément de l'outil. Une autre limitation ressentie est dans le suivi et le bilan des actions à leur terminaison. Pour ce rapport nous avons réalisé une analyse de chacune d'elles en nous appuyant sur les responsables des prospectives du comité de direction. Il conviendrait de formaliser un peu plus ce travail d'évaluation a posteriori pour mieux valoriser les réussites.

La suite de cette section présente les analyses en question par les membres du comité de prospectives MACS pour chaque Action selon la nature de ses objectifs. L'annexe A.5 donne un bilan plus détaillé rédigé par les porteurs de chaque Action.

## 1.4.3 Cartographie et constitution d'un collectif scientifique

**L'automatique au service de la santé : de la modélisation aux thérapies en boucle fermée**

Action débutée en mars 2022, toujours en cours

**Thématique** Les sciences de l'information sont à l'origine de nombre d'avancées majeures en santé, que ce soit pour l'analyse de données médicales ou l'assistance robotisée en chirurgie. Cet élan ouvre dorénavant la voie à de nouvelles approches dans lesquelles les processus en question seraient abordés sous l'angle des systèmes dynamiques en interaction entre eux et avec leur environnement. Dans ce cadre, les méthodes issues de l'Automatique (identification des modèles dynamiques, réduction de modèles, détection de phénomènes anormaux, estimation d'état et de paramètres, contrôle au sens large) commencent à fournir des résultats à très fort potentiel.

**Résultats marquants** L'objectif de cette action fut d'établir un état des lieux des travaux des membres du GdR MACS en santé. Un questionnaire fut ainsi envoyé aux membres du GdR ainsi qu'à ceux de la SAGIP : 82 réponses furent obtenues. Parmi les enseignements de cette étude, on retiendra : (i) l'implication de personnels de la plupart des grands laboratoires nationaux d'automatique ; (ii) la grande diversité des thématiques recensées (neurosciences, sciences du mouvement et du contrôle moteur, diabète, cancer, système cardio-respiratoire, épidémiologie), (iii) le nombre élevé de publications remontées (plus de 250).

**Devenir de cette action** Cette action mérite indubitablement d'être poursuivie, la santé étant un des domaines les plus prometteurs pour l'Automatique tant du point de vue des retombées cliniques potentielles que des questions méthodologiques soulevées. Les porteurs suggèrent plusieurs directions dans ce but parmi lesquelles l'organisation de journées scientifiques sur une thématique ciblée et la mise en place d'une communication au sein des membres du GdR MACS impliqués dans travaux liés à la santé. Un point clef, qui est actuellement présenté comme une faiblesse, jouera un rôle fondamental pour le plein essor de ces travaux : la meilleure mise en relation entre membres du GdR MACS et collaborateurs cliniciens.

## Commande décentralisée des systèmes multi-agents sous contraintes

**Action débutée en janvier 2023, toujours en cours**

**Thématique** Contrairement à une commande centralisée, la commande décentralisée permet à chaque agent de partager ses informations locales par définition avec ses voisins pour atteindre un objectif commun sans centralisation de l'information et de l'objectif. L'enjeu est de prendre en compte les contraintes de communication lors de la conception d'un contrôleur distribué, en plus d'autres contraintes physiques telles que les contraintes non-holonomes, les défauts et les retards. De par ses nombreuses applications, cette thématique représente un défi scientifique pour les années à venir.

**Résultats marquants** Cette action propose d'effectuer un état des lieux des chercheurs travaillant sur ce thème de même que de stimuler la coopération et accroître la visibilité. Assez récente, puisque démarrée en janvier 2023, cette action n'a pas encore abouti à des résultats concrets.

## Les enjeux de la soutenabilité et leurs impacts sur la recherche en conception et contrôle des systèmes techniques

**Action débutée en janvier 2020**

**Thématique** Cette action fait partie d'une réflexion plus large, intitulée *Regards Croisés sur la soutenabilité et le développement durable*, menée au sein de la communauté académique française au sens large, incluant à la fois le GdR MACS, la SAGIP, le club EEA section Automatique, et le GIS S.mart. L'objectif est de proposer un forum d'échange autour des enjeux de la soutenabilité et du développement durable, tant sur les approches scientifiques que pédagogiques.

**Résultats marquants** L'action a permis de fédérer une large communauté académique intéressée dans la création et la diffusion de connaissances sur le sujet, de renforcer la compréhension de ces enjeux collectivement et de mutualiser des besoins, des verrous et des ressources à disposition. Ceci montre l'intérêt des réseaux académiques sur le sujet pour partager et mutualiser les ressources afin que chacun

puisse « profiter » des compétences des autres et être plus agile sur ce thème, afin que la soutenabilité devienne réellement une composante essentielle en recherche.

**Devenir de cette action** Les porteurs de l'action ont démontré la pertinence de structurer cette démarche sur une modalité comparable à un Groupe de Travail afin de rassembler, sur un terme un peu plus long, cette large communauté. En ce sens, cette action a abouti la création d'un Comité Technique à la SAGIP qui a été proposé et validé en mai 2023.

## Commande des EDPs, mathématique et ingénierie

**Action débutée en septembre 2022, toujours en cours**

**Thématique** L'objectif de l'action est de réunir des acteurs des communautés mathématicienne et automatique autour de la thématique de la commande des équations aux dérivées partielles (EDPs). Même si l'utilisation des EDPs est ancienne, l'intérêt des mathématiciens pour ce type de systèmes émerge véritablement dans les années 70, et plus récemment encore, les automaticiens ont rejoint cet élan en s'intéressant à la commande des systèmes décrits pas des EDPs.

**Résultats marquants** L'Action MACS a permis d'établir un premier état des lieux via l'organisation d'un workshop dédié du 2 au 3 novembre 2022, qui a fait intervenir 12 chercheurs (7 en Automatique et 5 en Mathématiques) pour une cinquantaine de participants. Ce workshop a fait émerger des préoccupations communes avec des focus thématiques spécifiques : les mathématiciens s'intéressent davantage à la commandabilité des systèmes de dimension infinie alors que les automaticiens s'intéressent plutôt à la stabilisation de ces systèmes.

Pour la seconde année de l'action MACS, il est prévu d'organiser des demi-journées thématiques pour aborder le lien entre commandabilité et stabilisation, la mise en pratique numérique des commandes considérées, l'explication de concepts inconnus des mathématiciens et inversement. Enfin, une école d'été d'une semaine sur le sujet est envisagée afin de réunir tous les acteurs de ces communautés pour clôturer l'action MACS.

## Étude du rapprochement de communautés scientifiques autour du thème « Systèmes d'Information »

**Action débutée en mars 2021**

**Thématique** La thématique des systèmes d'information est forte aussi bien au sein du GdR MACS que de la société savante INFORSID avec des approches et des points de vue complémentaires : INFORSID selon l'angle informatique tandis que le GdR MACS met plus avant l'aspect Génie Industriel. À l'initiative d'INFORSID, cette action a eu pour objectif de proposer une cartographie préliminaire des thèmes communs et des éventuels points de disjonction entre les deux communautés, de réaliser une synthèse des préconisations d'actions pour un potentiel rapprochement entre ces deux groupes.

**Résultats marquants** Le travail réalisé lors de cette action commune INFORSID/MACS a permis d'étayer l'hypothèse initiale selon laquelle des points de convergence scientifique forts existent entre les deux communautés. Ces points ont été mis en avant au travers de trois sujets d'étude importants, regroupant plusieurs dizaines de chercheurs de chaque structure : (i) interopérabilités technique et opérationnelle ; (ii) capitalisation de connaissances, conception de connaissances ; (iii) vers des SI métier innovants : Prise de décision, collaborations éphémères.

Au delà de ces convergences scientifiques, pour combler les silotages des démarches qui se sont mis en place au fil du temps, les membres de l'action ont fait émerger un ensemble de préconisations pour permettre des rencontres entre les deux communautés, identifier les sujets émergents et étendre la culture scientifique des doctorants. Ces préconisations portent sur l'organisation d'évènements communs (une opportunité sur 2024 d'ailleurs se dessine pour un congrès conjoint des deux communautés sur Lyon) et la création d'une école thématique à destination des doctorants.

## 1.4.4 Identification de thématiques scientifiques autour d'un objet de recherche

### Les Jumeaux Numériques pour les systèmes de production

Action débutée en janvier 2020

**Thématique** Le Jumeau Numérique (JN) a pour objectif d'offrir une réplique virtuelle d'un système physique (machine, ligne de production, produit, etc.) afin d'obtenir des fonctionnalités de visualisation, de simulation/prédiction, de pilotage et de monitoring du comportement du système physique en question. Un autre intérêt d'un JN est de supporter la formation des futurs utilisateurs. Alors qu'aujourd'hui les JN sont appliqués aux systèmes de production, et ce à tout niveau (de la ressource unitaire au système de production en entier), de nombreuses questions de recherche restent ouvertes, en particulier :

- Quelles sont les méthodologies permettant de développer un JN avec un objectif de standardisation des briques élémentaires ? Comment assurer les synchronisations entre les deux Jumeaux (physique et numérique) ?
- Quelle est la place de l'humain dans le Jumeau Numérique ?
- Comment fédérer des JNs, comment construire un système de JNs ?
- Comment tester, valider, voire certifier, un JN ?

**Résultats marquants** Cette action a permis d'identifier et de créer une communauté dynamique autour de cette thématique, avec des participants provenant du GDR MACS, de la SAGIP et de GIS S.Mart. Quatre ateliers d'une journée ont été organisés, portant chacun sur l'une des questions de recherche précédentes. Au bilan, plus de 280 personnes se sont inscrites à ces ateliers, parmi lesquels une trentaine d'industriels. Un site web regroupe les captations des ateliers : <https://action-jn.sciencesconf.org/>. **De nombreux défis ont été identifiés, pour concevoir et déployer des JN.** Dans le bilan de cette action en annexe, ils ont été structurés sur quatre axes clés : la définition du concept de JN, la place de l'humain dans le JN, le cycle de vie du JN et l'architecture du JN.

**Devenir de cette action** Cette thématique est encore jeune. L'action a su créer une vraie dynamique. Des projets de recherche devraient en émerger. Un livre blanc de synthèse est en cours de construction.

### Amélioration de la résilience des systèmes complexes dans un contexte de perturbations

Action débutée en juin 2020

**Thématique** Cette action porte sur la prise en compte de la notion de résilience dans le pilotage des systèmes dynamiques complexes soumis à des perturbations. Elle a pour objectif de réaliser une analyse critique des approches de modélisation pour l'évaluation de la résilience, leurs avantages et leurs limites, un inventaire des domaines d'application et une cartographie des acteurs impliqués.

**Résultats marquants** Une analyse bibliographique étendue a permis de structurer la réflexion des participants de l'action autour de la définition et du positionnement de la notion de résilience dans la communauté MACS autour de quatre thèmes : (i) État de l'art du concept de résilience ; (ii) Caractérisation de la résilience ; (iii) Stratégies pour améliorer la résilience ; (iv) Domaines d'applications, acteurs socio-économiques et Industrie 4.0. Les réflexions ont porté en particulier sur la comparaison des approches de la résilience en automatique, dans les systèmes distribués en réseau et en génie industriel et ont mis en évidence les liens forts entre résilience et robustesse pour notre communauté. Ces réflexions ont été formalisées par la proposition d'un cadre conceptuel identifiant les différentes facettes de la notion résilience et permettant de la positionner dans le cadre de l'industrie 4.0 : « Towards a framework to position resilience and Industry 4.0. », présenté à IFAC MIM 2022.

**Devenir de cette action** Sur la base du cadre conceptuel proposé, qui regroupe toutes les briques nécessaires pour l'analyse et l'évaluation de la résilience, les travaux vont se poursuivre pour continuer à positionner la résilience dans notre communauté scientifique en particulier en lien avec le thème de l'INS2I : « Méthodes pour les nouveaux enjeux industriels - résilience, soutenabilité, obsolescence », en

identifiant les outils et technologies support (par exemple les jumeaux numériques), les informations nécessaires, et les différents domaines d'applications possibles. L'école thématique MACS de 2024 est planifiée sur la thématique « Résilience, Robustesse et Risque » et s'appuiera sur les résultats de cette action MACS.

## Les outils MACS appliqués aux drones aériens

### Action débutée en septembre 2021

**Thématique** La recherche sur les applications dédiées aux drones aériens a eu un énorme succès ces dernières années de par le monde. De plus, les industriels se sont également emparés de ces résultats pour développer des solutions à bas coûts, permettant le développement de ces techniques à grande échelle. Cependant, des nombreux problèmes restent ouverts à l'instar de la navigation autonome, de la coopération multi-agent, de la localisation, de la planification de trajectoires et du vol en formation. Différents groupes de recherche mènent des travaux de recherche sur ces thématiques. L'objectif principal de cette action est ainsi la consolidation de l'activité de l'automatique (outils MACS) appliquée aux drones aériens au niveau national. Cette action a été menée en collaboration avec le GT2 véhicules autonomes, spécifiquement le GT-UAV du GdR Robotique.

**Résultats marquants** En résumé, les faits majeurs que l'on doit à cette action sont :

- l'organisation de réunions et séminaires de travail ;
- la réalisation d'une page web : <https://amacs.hds.utc.fr> ;
- la présence dans les conférences internationales (comme par exemple au 11th IFAC SAFEPROCESS 2022).

Cette action a permis d'intégrer les petits groupes de recherche en automatique avec une application aux drones et de stimuler en même temps les réseaux existants (par ex : GT-UAV).

**Devenir de cette action** Cette action est toujours en cours notamment afin de mettre plus en lumière cette thématique de recherche française à l'internationale et de poursuivre l'organisation de réunions sur une thématique scientifique spécifique de l'automatique. La réalisation d'un ouvrage incluant des acteurs en France, demeure une autre perspective importante de l'action. Dernier point, l'action est toujours en cours via le GT2 UAV (dont le porteur, Pedro Castillo, est le co-animateur).

## Les réseaux sociaux et l'Automatique

### Action débutée en juin 2020, toujours en cours

**Thématique** L'action vise à recenser, explorer et populariser les applications du contrôle automatique aux dynamiques sociales, notamment dans les réseaux sociaux. Ces dynamiques concernent les dynamiques d'opinion, d'engagement et de viralité. Le but de l'action est de stimuler l'intérêt de la communauté de l'Automatique à considérer davantage ce domaine d'application, de promouvoir nos outils auprès des chercheurs en Sciences Sociales et en informatique, et de définir des problèmes, soit d'analyse, d'identification, d'observation, ou de commande, d'intérêt commun.

**Résultats marquants** L'action fait partie d'un premier lot d'actions annoncé fin 2019. En raison de la pandémie, le développement proprement dit de l'action a été différé et a véritablement débuté en 2022 avec une enquête en ligne auprès de la communauté MACS. Cette enquête a permis de mettre en évidence un intérêt certain pour le sujet et d'identifier un petit nombre de projets en cours dans différents sites universitaires.

**Devenir de cette action** Pour l'année 2023, l'objectif sera de rassembler cette communauté, encore petite et éparpillée. Vraisemblablement, le moment fort pour cette rencontre serait un workshop à l'automne. Comme de nombreuses autres communautés (informatique, systèmes complexes, économie) traitent des réseaux sociaux, l'action entend également entrer en contact avec elles et notamment avec

les GdR correspondants, tels que MADICS et CIS.

## Obsolésence et raréfication : freins inévitables ou niches d'innovation. Perspectives de recherche en prédiction de l'obsolésence

### Action débutée en septembre 2020

**Thématique** L'action Obso 2020-2022 s'intéresse à la problématique de la gestion de l'obsolésence et de la pénurie, avec deux objectifs majeurs :

1. clarifier les concepts d'Obsolésence programmée et d'Obsolésence non programmée ;
2. structurer le domaine de recherche et créer la communauté d'intérêts, en proposant entre autres un référentiel français des éléments de terminologie.

**Résultats marquants** L'action a suscité de l'intérêt, aussi bien dans la sphère académique que dans les communautés industrielles, à travers les résultats suivants :

- Publication d'une série de 6 articles dans le journal Techniques de l'Ingénieur ;
- Conception d'une série de 13 modules de formation proposée à l'Université Numérique Ingénierie et Technologie ;
- Renforcement des collaborations académiques et industrielles, via notamment des stages et thèses CIFRE, la participation au groupe de travail « Management de l'obsolésence » de l'AFNOR, et l'organisation annuelle des Journées de l'Obsolésence (Obso-Days) ;
- Création d'un Institut Français de l'Obsolésence, devenu le Chapitre Français de l'International Institute of Obsolésence Management (IIOM) ;
- Obtention d'un projet ANR PRCI « EOS » (Aide à la gestion active de l'obsolésence des systèmes), financé à hauteur de 600k€, en partenariat avec l'ISAE-SupmécA, le LAAS-Toulouse, Valeo, et Merem Electronique ;
- Création en cours d'une cartographie nationale et internationale de la communauté, sous forme d'un Wiki (ObsoWiki).

**Devenir de cette action** Il est prévu la création en 2024-2025 d'un Master spécialisé « Obsolésence », porté par l'ISAE-SupmécA en collaboration avec quelques partenaires industriels majeurs dont Valeo, Alstom et la SNCF. L'action envisage également des perspectives de recherche appliquée et de transfert aux échelles nationale et internationale, dont :

- La complémentarité avec les communautés scientifiques en Maintenance, Fiabilité, Ingénierie Systèmes, et Economie circulaire, notamment dans le cadre du TC5.1 de l'IFAC ;
- La constitution, dans le cadre du Chapitre Français de l'IIOM, d'une feuille de route de recherche appliquée, avec probablement la création de groupes de travail sur plusieurs sous-problématiques industrielles ;
- La coordination de la rédaction d'un livre sur l'Obsolésence, ainsi que le lancement d'une revue scientifique portant sur les travaux de la discipline.

## 1.4.5 Favoriser l'émergence de projets collaboratifs

### « Epidemics : modeling, identification, control »

#### Action débutée en mai 2021

**Thématique** La pandémie de la Covid19 a suscité un intérêt majeur au sein de notre communauté avec la question centrale de déterminer comment nous pourrions contribuer aux travaux de recherche dans ce domaine. L'objectif de cette action MACS fut ainsi d'identifier et de rassembler les membres du GdR impliqués dans des travaux sur les épidémies de façon générale que ce soit pour des questions de modélisation, d'analyse, d'identification ou de contrôle.

**Résultats marquants** Dans ce but, un workshop fut organisé le 14 octobre 2021 au site INRIA de Paris 12ème. Cet événement a rassemblé une quarantaine de participants autour de 7 présentations.



**Devenir de cette action** Suite à cet événement, une demande de projet ANR fut déposée lors de l'appel 2022, demande qui rassemble des personnels de trois unités (MISTEA-INRAE Montpellier, INRIA Rocquencourt, Cristal).

## 1.5 Activités de prospective

MACS mène des analyses prospectives régulièrement pour son activité interne, entre autre dans le cadre des discussions conduisant à lancer des Actions MACS, mais également en réponse aux sollicitations du CNRS. Dans la mesure où ces réflexions ont contribué aux discussions pour la préparation du projet exposé dans le second chapitre de ce document, nous n'insistons pas sur ces contributions ponctuelles, mais elles sont reportées en annexe A.4 pour information.

## 1.6 Codes et logiciels

La réflexion sur la thématique des productions immatérielles (jeux de données, modèles de simulation, bibliothèques, logiciels) a conduit à privilégier trois axes d'action :

- Axe 1 : Cartographie des pratiques
- Axe 2 : Recensement des productions sur le site du GDR
- Axe 3 : Mise en place de webinaires autour du domaine des productions immatérielles

### 1.6.1 Cartographie des pratiques

Une première phase de cartographie des usages a été réalisée à partir des résultats de l'enquête conduite auprès de nombreux laboratoires. Cette enquête n'était pas spécifiquement destinée à analyser les contributions et pratiques numériques, mais différents items permettaient d'en avoir une vision plus claire. En particulier, un ensemble de mots-clés ont été extraits et utilisés pour la caractérisation des productions immatérielles recensées sur le site internet du GDR MACS.

Il serait désormais pertinent d'affiner cette première analyse par l'envoi d'un formulaire ciblé sur les productions immatérielles. Une ébauche de formulaire a été conçue et devra être implémentée et déployée.

### 1.6.2 Recensement des productions sur le site du GDR

Un formulaire de saisie des productions immatérielles a été conçu de manière itérative, puis mis en place sur le site internet du GDR MACS. Le résultat concernant les logiciels déjà saisis est visible à l'adresse : <https://gdr-macs.cnrs.fr/logiciel>.

À la date de rédaction de ce rapport et après 1 mois de mise en service, 8 logiciels ont été recensés :

**APS (Adaptive Population-based Simplex)** métaheuristique d'optimisation numérique.

**Microgrids.X** permet de simuler le fonctionnement énergétique d'un micro-réseau isolé

**MOR** boîte à outils qui fournit des algorithmes avancés permettant (i) de réduire des modèles dynamiques linéaires de grande dimension, et (ii) de construire des modèles dynamiques linéaires à partir de données fréquentielles entrées/sorties.

**Optimal identification experiment design software** design the optimal excitation signal for a given dynamical system.

**P3 $\delta$**  Python implementation of recent methods for the stability analysis and stabilization of linear time-delay systems exploiting the delay action.

**ProWhy** ProWhy est un logiciel libre et gratuit, support des processus de résolution de problèmes en entreprise.

**R-RoMulOC** Randomized and Robust Multi-Objective Control toolbox.

**TSSOS** polynomial optimization tool based on the sparsity adapted moment-SOS hierarchies.

### 1.6.3 Mise en place de webinaires

Cette action n'a pas encore été mise en place, mais les résultats de l'enquête approfondie (formulaire ciblé sur les productions immatérielles) permettra de dégager les sujets prioritaires de manière à rendre ces webinaires efficaces.

## 1.7 Accompagnement des jeunes chercheurs et chercheuses

### 1.7.1 Recensement des jeunes titulaires

Nous avons lancé auprès des équipes membres de MACS un recensement des maîtres de conférences (et équivalent) et des Chargés de recherche recrutés depuis 2016. Un recensement plus large serait sans doute nécessaire pour couvrir de façon plus exhaustive l'ensemble des jeunes recrutés. Il n'a pas été considéré à ce stade par pragmatisme étant donné la difficulté d'obtenir les informations. Par ailleurs, l'objectif est, suite au recensement, de s'assurer que les jeunes collègues soient intégrés au plus vite dans le réseau MACS.

Le décompte des données recueillies en date du 22 juin 2023 indique 21 chargés de recherche dont 19 CNRS, 2 Inria. Les CR CNRS sont majoritairement recrutés par la section 07 à l'exception d'un en S08 et un en S41. Certains sont très probablement également affiliés au GdR Robotique. On note que seules deux femmes ont été recrutées sur la période ce qui est bien en deçà de la proportion de femmes dans la communauté actuellement.

Le recensement indique 67 maîtres de conférences ou assimilés, très majoritairement recrutés en CNU61 et marginalement en CNU27 et CNU60. La part des femmes parmi les jeunes recrutés est de 30% ce qui est supérieur à la proportion globale de femmes estimée à 20%.

### 1.7.2 École MACS et écoles thématiques

#### Écoles MACS

Le GdR MACS organise sa propre école thématique nommée École MACS dont l'objectif est d'offrir une formation de pointe dans les domaines de l'Automatique et des Sciences et Techniques de la Production (STP). Depuis 2007 et jusqu'en 2019, cette école était bi-annuelle et associée aux Journées Nationales et Doctorales (JN-JD) du GdR MACS. Le programme durait 2 jours et proposait plusieurs modules en parallèle, couvrant ainsi des thèmes variés de la communauté. Les différentes éditions ont eu lieu à Reims (2007), Angers (2009), Marseille (2011), Strasbourg (2013), Bourges (2015), Toulouse (2017) et Bordeaux-Talence (2019).

Lors de l'édition 2019 à Bordeaux-Talence, une enquête fut menée auprès des participants (avec un taux de réponse de 86 %), qui a montré que 95 % des participants étaient très satisfaits ou satisfaits de la qualité scientifique et pédagogique des modules dispensés. Néanmoins, nombre d'entre eux ont réclamé :

- une formation de pointe sur un thème choisi en lieu et place de divers modules en parallèle sur des thématiques différentes ;
- plus de travaux pratiques et une organisation en demi-journées permettant d'alterner cours et autres modalités d'apprentissage ;
- une durée de l'école allongée.

Fort de ce constat, l'École MACS a fait peau neuve avec un nouveau format depuis 2022. L'école est désormais proposée tous les ans et dure 5 jours (du lundi après-midi au vendredi midi). Une seule thématique est abordée avec des formations proposées en demi-journée selon un format cours/TD/TP. Dans la mesure du possible l'école comprend d'autres activités d'apprentissages telles que des conférences industrielles, des démonstrations logiciels, des ateliers de discussions et/ou d'échange (présentations posters, appel à partenaires pour le montage de projets etc.).

La première école selon ce nouveau format a eu lieu en avril 2022 au centre Paul Langevin du CNRS à Aussois. Initialement prévue en 2021, cet événement a dû être reprogrammé en 2022 pour cause de pandémie. La thématique était « De la simulation avancée vers les jumeaux numériques ». Les interventions portaient sur : (i) les méthodes et outils de simulation pour le contrôle automatique et les systèmes de production ; (ii) les méthodes de simulation permettant le développement de jumeaux numériques ; (iii) l'impact des jumeaux numériques sur les approches plus classiques de simulation. Le programme complet est accessible via ce lien : <https://gdr-macs.cnrs.fr/node/3733>. 30 personnes ont participé à cette édition,

parmi lesquels 8 formateurs. Deux de ces formateurs provenaient d'universités étrangères : Université de Mons (Belgique) et Polytechnique de Milan (Italie).

Une enquête fut mise en place à l'issue de cette édition. Le bilan est globalement positif. La totalité des participants ont jugé la qualité scientifique des modules comme très satisfaisante ou satisfaisante. 55 % des participants pensent qu'ils utiliseront les compétences acquises dans leur recherche et 45 % jugent cela probable. L'enquête a également permis de valider le nouveau format mis en place. L'alternance de formation théorique et des travaux pratiques fut particulièrement appréciée.

La deuxième édition de l'école nouveau format a eu lieu de 8 au 12 mai 2023 de nouveau dans le centre Paul Langevin à Aussois. Le thème choisi était « optimisation convexe pour l'analyse et la conduite des systèmes dynamiques ». Le programme est disponible sur le site de l'école : [convopt4control.sciencesconf.org/](http://convopt4control.sciencesconf.org/)

L'école a rassemblé 28 personnes au total, en incluant les conférenciers. La moitié des participants était des doctorants ce qui démontre une inflexion par rapport au format précédent de l'École MACS, originellement tournée principalement vers les doctorants. 11 personnes étaient des agents CNRS, ce qui répond à la demande légitime du CNRS pour l'attribution des soutiens aux écoles thématiques.

Une enquête menée auprès des participants à l'issue de cette édition 2023 a montré une grande satisfaction globale quant à la qualité scientifique des interventions (82% la jugent excellente) et quant à l'utilité pour les propres travaux futurs des personnes présentes (29% absolument, 65% probablement). Les points à améliorer concernent principalement : (i) la communication, les participants étaient convaincus que des collègues auraient beaucoup gagné à venir à l'école, mais n'en avaient visiblement pas reçu l'information ; (ii) la pédagogie, bien que chaque cours était accompagné d'une séance pratique sur ordinateur, certaines parties du cours auraient nécessité plus de temps pour être transmises correctement ; (iii) le fait d'améliorer les échanges scientifiques informels en établissant des moments d'échange conviviaux sous d'autres formats que des présentations orales. Toutes ces remarques seront prises en compte pour les éditions à venir.

## Écoles thématiques soutenues par MACS

En plus de l'école MACS, le GdR MACS soutient financièrement de nombreuses écoles thématiques, les subventions allant de 1000 € à 4500 €. Le but est à la fois d'attirer des intervenants étrangers de renom et de garantir des tarifs d'inscription raisonnables. Voici la liste des écoles subventionnées entre 2019 et 2023.

- [EECI International Graduate School on Control](#)  
Cette école est à destination des doctorantes et doctorants du monde entier. Elle est organisée chaque année par des collègues du L2S, Paris Saclay, CentraleSupélec. La majeure partie des cours est dispensée en France et offre un panel complet de formations en Automatique d'une semaine chacune par des leaders mondiaux du domaine.
- [École d'été de Grenoble en Automatique](#)  
Cette école thématique a généralement lieu chaque année début septembre et ce depuis 1989. Il s'agit de formations d'une semaine sur une thématique ciblée en Automatique. En 2021, l'école s'est déroulée en ligne avec une participation accrue de plus de 100 personnes. Les thématiques de ces dernières années étaient : « Safety and reachability for dynamical systems » (2023) ; « Reliability and maintenance of dynamics systems » (2022) ; « Data and learning for control » (2021) ; « Control of computing systems » (2019).
- [Spring School on Data-driven Model Learning for Dynamic Systems](#)  
Initialement dédiée à l'identification des systèmes dynamiques, cette école s'ouvre désormais plus largement aux approches basées données et à l'apprentissage pour l'Automatique, ce qui est en parfait accord avec les enjeux à venir décrits au Chapitre 2.3. À noter que l'école en est à sa 6ème édition.
- [Summer school "Deformation in robotics"](#)  
Cette école a eu lieu en 2022 avec le soutien conjoint des GdR Robotique et MACS.

### 1.7.3 Préparation aux concours

Constatant que le système des concours chercheurs du CNRS, de l'Inria et pour les postes de Maîtres de Conférences sont mal connus des doctorantes et doctorants ainsi que des jeunes chercheurs et chercheuses post-thèse, en particulier pour ceux qui ne sont pas dans des grands laboratoires où ces connaissances peuvent être échangées simplement, le GdR a mis en place une formation dédiée. Comme tous les GdR,

MACS faisait jusqu'ici des séances d'une heure ou deux d'exposés sur le déroulé des concours à l'occasion d'événements dédiés aux doctorants. Le nouveau format mis en place vise à aller plus loin en :

- consacrant une journée entière (10h-17h) au sujet ;
- finançant les missions des jeunes chercheurs et chercheuses pour éviter des freins à la participation ;
- s'assurant d'une participation effective des potentiels candidats aux concours en leur demandant de préparer au préalable un document résumant leurs activités passées et leurs projets de recherche ;
- laissant une large place aux interactions possibles du fait que la formation se fait en petit groupe ;
- consacrant deux à trois heures pour des échanges en tête à tête entre intervenants à la formation et potentiels candidats ;
- ayant suffisamment d'intervenants pour que chaque jeune participant puisse avoir des échanges avec plusieurs intervenants (typiquement de l'ordre de 3 échanges de 10 à 20 minutes).

La formation se déroule en Novembre, en amont de l'ouverture des concours CNRS, Inria et de la vague principale des concours de Maîtres de conférence.

Le 16 novembre 2021

- Lieu : École nationale des arts et métiers, boulevard de l'Hôpital
- Intervenants : Nadège Troussier, Michèle Basseville, Laurent Geneste, Dimitri Peaucelle
- 15 Inscrits : Alejandro Apaza-Perez, Lucas Brivadis, Joao Cavaldi Santos, Leila Dadi, Ali Diab, Damien Gueners, Moussa Labbadi, Mustapha Labreche, Afsi Nawel, Martin Mujica, Camille Palmier, Thanh-Hung Pham, Arthur Perodou, Chaima Zammali, Nidhal Nfissi.

15 Novembre 2022

- Intervenants : Valérie Dos-Santos Martins, Paolo Frasca, Michèle Basseville, Nadia Hamani, Dimitri Peaucelle
- Inscrits : Bajodek Mathieu, Laura Echeverri, Daniele Zonetti, Nicolas Vanspranghe, Imen Ben Btahim, Joao Cavalcanti Santos, Thomas Chevet, Constantinos Kitsos, Bruno Henrique Barbosa, Meliani Youssef, Karima Tebani, Dyhia Bouhadjra, Salah Nasr, Rony Djeunang Mezafack, Alexis Lalevé, Gregory Faraut, Kevin Colin, Amine Abdeljaouad

#### 1.7.4 Prix des meilleures thèses

Le Prix des Meilleures Thèses (PMT) est organisé conjointement par le GDR MACS, la section Automatique du Club EEA, et plus récemment la SAGIP, à partir de l'édition 2023. Ce prix annuel a pour objectif de distinguer les meilleurs travaux de recherche effectués dans le cadre d'un doctorat dans les domaines spécifiques de la 61ème section du CNU (hors Traitement du Signal et de l'Image), du GDR MACS, de la section Automatique du Club EEA et des chapitres Génie Industriel et Automatique de la SAGIP.

Cette opération permet de signaler à l'ensemble de la communauté relevant de ces disciplines des travaux de recherche de très hauts niveaux, sur le fond et la forme, menés par des chercheurs et chercheuses ayant récemment soutenu leur doctorat. Ces thèses auront contribué à une avancée significative de la recherche, qu'il s'agisse de recherche fondamentale ou de recherche plus appliquée. Ce concours concerne les thèses soutenues pendant l'année précédente celle de l'édition. La distinction de ces thèses intervient sous la forme de la nomination de 1 à 5 thèses et de la désignation, parmi les thèses nominées, d'un·e lauréat·e.

L'appel à candidature au PMT s'ouvre habituellement vers début décembre, et se clôture en janvier. Par la suite, un jury est composé des Directeurs / Présidents ou leurs adjoints du GDR MACS, de la section Automatique du Club EEA, et de la SAGIP ; de représentants des instances (HCERES, 61ème section du CNU, CNRS, CN) ; de membres du comité de direction du GDR MACS, de la section Automatique du CA du Club EEA, et du CA de la SAGIP ; en plus de l'animatrice du prix des meilleures thèses. Le jury se dote d'un(e) Président(e) en nommant une personnalité reconnue du monde universitaire ou du monde socio-économique.

Le jury final est organisé en mars, pendant une demi-journée en distanciel, avant les auditions du concours Chargés de recherche du CNRS et de l'Inria, ainsi que de la majorité des concours de Maîtres de Conférences. L'objectif est d'identifier et signaler les travaux d'excellent niveau au plus tôt après la thèse.

Des classements préliminaires, établis à titre indicatif pour préparer les travaux de délibération du jury final, sont effectués par un groupe de travail, composé de rapporteurs désignés conjointement par des membres du comité de direction du GDR MACS, de la section Automatique du CA du Club EEA et du CA de la SAGIP. Le rôle de ce groupe de travail est de faire appel à toutes compétences qui lui sembleront

nécessaires, de récupérer les évaluations et d'en faire la synthèse, aboutissant ainsi à un pré-classement sur la base des évaluations reçues. Lors du jury final, cette synthèse sert aux membres du jury pour discuter des dossiers et délibérer.

La lauréate ou le lauréat est récompensé-e par un prix d'une valeur de 1000 euros, financé en alternance par le Club EEA et la SAGIP, prix qui est partagé entre les lauréats en cas de classement ex-æquo. Les nominés et la lauréate ou le lauréat sont annoncés, et le prix versé, en alternance au Congrès du club EEA ou à celui de la SAGIP, où les lauréats sont également invités à présenter leurs travaux.

Les résultats sont communiqués à tous les candidats à l'issue du jury. Les nominations et la désignation de la lauréate ou du lauréat sont également valorisées par des annonces officielles sur les sites du Club EEA, du GdR MACS, et de la SAGIP ; la composition du jury y est également affichée.

Les noms des lauréats sont disponibles sur la page dédiée du site du GdR : [gdr-macs.cnrs.fr/pmt](http://gdr-macs.cnrs.fr/pmt)

### 1.7.5 Mobilités pendant la thèse

Partant du constat que l'activité de recherche est en grande partie une activité collective faite de rencontres et d'échanges, qu'elle est riche d'une diversité d'approches et de pratiques, le GdR MACS propose depuis 2022 de mettre le réseau de ses équipes membres à disposition des jeunes chercheurs et chercheuses. Le GdR souhaite encourager des mobilités en cours de thèse, en priorité pour celles et ceux pour qui ces mobilités ne sont pas prévues d'emblée dans les sujets de thèses. Les mobilités sont très positives à l'échelle internationale et certaines écoles doctorales les co-financent, mais elles sont également très pertinentes à moindres coûts à l'échelle nationale.

Les doctorants et doctorantes qui souhaitent en bénéficier du programme d'accompagnement et de financement de mobilités en cours de thèse sont invités à remplir un formulaire en ligne. Les demandes sont examinées au fil de l'eau par le comité de direction.

Le formulaire comprend :

- l'identification du-de la doctorant-e (prénom, nom, laboratoire, équipe, directeur-trices de thèse, école doctorale, établissement d'inscription, titre de la thèse)
- une description de l'accueil envisagé (équipe membre de MACS, personnes contactées, descriptif des échanges scientifiques souhaités, durée au delà de 2 semaines)
- le soutien demandé à MACS (description des coûts estimés, description des soutiens déjà acquis ou en cours...)
- la validation par le-la directeur-trice de thèse + responsable de l'équipe d'accueil.

L'ensemble de cette démarche se réalise en ligne et nécessite que les trois personnes concernées (doc., dir. thèse et resp. équipe) aient préalablement rempli leur fiche d'Affilié à MACS.

En date de la rédaction de ce rapport, trois doctorants ont bénéficié du programme.

- Salim Zerzaoui, doctorant au CRISAL Lille pour un séjour de 2 semaines au GIPSA-lab Grenoble pour travailler sur la thématique "Local output feedback stabilization of a Reaction-Diffusion equation with saturated and delayed actuation".
- Florent Koudohode, doctorant au LAAS-CNRS Toulouse pour un séjour de 2 semaines au CRISAL Lille pour travailler sur la thématique "Event-triggered boundary control of an unstable reaction diffusion PDE with input delay".
- Farah Abdoune doctorante au LS2N Nantes pour un séjour de 3 semaines au DISP Lyon pour travailler sur un "outil pour la reconfiguration d'un système de production suite à un événement donné afin de faciliter la prise de décision et de permettre au système de production d'accomplir son objectif initial, en se basant sur le jumeau numérique".

## 1.8 Communication

L'équipe communication est constituée de la direction, de Valérie Dos Santos Martins (resp. comm) et Etienne Cocquebert (ingénieur d'études au LAMIH UMR CNRS 8201). Cette équipe s'est agrandie selon les moments et les demandes afin d'intégrer les personnes compétentes selon les sujets (rédaction de la plaquette, modification de la charte graphique du site web, etc.).

Le site web, les listes de diffusion et les réseaux sociaux constituent différents canaux de communication par lesquels le GdR MACS peut joindre sa communauté ou diffuser son dynamisme :

- Un site web [gdr-macs.cnrs.fr](http://gdr-macs.cnrs.fr) mis à jour très régulièrement pour diffuser offres de recrutements, conférences et séminaires, écoles, faits marquants, etc. ;

- Une lettre d'information [gdr-macs.cnrs.fr/newsletter](https://gdr-macs.cnrs.fr/newsletter) envoyée toutes les 1 à 3 semaines selon l'actualité.
- Listes de diffusion pour joindre l'ensemble des affiliés, les doctorants et les correspondants équipes-membres ;
- Liste des équipes-membres qui constituent l'ossature du GdR ;
- Un compte Twitter [twitter.com/GdR\\_MACS](https://twitter.com/GdR_MACS) et un compte LinkedIn [www.linkedin.com/in/gdr-macs-cnrs/](https://www.linkedin.com/in/gdr-macs-cnrs/) pour relayer les nouveautés du site web ;
- Une collection HAL ([hal.science/GDR\\_MACS/](https://hal.science/GDR_MACS/)), cf partie 1.3.3.

### 1.8.1 Site web

Le site web est en perpétuelle évolution afin de tenir compte des besoins de la communauté, des requêtes du CNRS, etc., et suite à un changement majeur de version du logiciel utilisé pour sa mise en oeuvre sur les serveurs du CNRS, une refonte du site web a été réalisée en 2022. Les aspects techniques de cette nouvelle version ont été mis en place par Etienne Cocquebert et Valérie Dos Santos Martins, qui ont menés une réflexion sur la nouvelle structuration des informations, la nouvelle organisation du contenu des pages, et le choix des données sur le site web en 2021 à importer dans cette nouvelle version. Une fois opérationnel, il a été fait appel à un graphiste indépendant afin d'homogénéiser le graphisme et le mettre en concordance d'une part avec les standard actuels du web, d'autre part avec les sites web du CNRS et de l'INS2I pour garder une identité proche de ces derniers. Une autre de nos demandes à ce graphiste a été de permettre une consultation fluide et conviviale du site sur tablettes et smartphones afin d'être au plus près des habitudes des jeunes chercheurs.

En parallèle avec cette refonte graphique, une campagne de mise à jour des informations des équipes membres et des affiliés a été effectuée. Les affiliés devaient mettre à jour entre autre leur appartenance, les responsables des équipes membres devaient entre autres décrire leur équipe en quelques mots au moyen d'un slogan, et préciser leurs thématiques de recherches à partir d'une liste de mots-clés proposés et représentatifs de la communauté du GdR MACS. Au 27 juin 2023, le site web recense 1153 chercheurs et doctorants, et 49 équipes membres.

Concernant les visites sur le site web entre 2019 et 2022, les statistiques montrent que le site a été consulté en moyenne 5644 fois par 3074 visiteurs différents, et que le nombre moyen de pages vues est de 23810. On en déduit que la majorité des visiteurs reviennent régulièrement et que chacun consulte en moyenne presque 8 pages par visite. De manière plus précise, la page la plus consultée est sans conteste celle des recrutements qui affiche des offres de moins de 6 mois.

De nouvelles pages apparaissent et apparaîtront sur le site remanié, comme une photothèque, les interviews de nos chercheurs par le CNRS (capsules vidéo) et d'autres éléments (cartographie plus précise, liste des plateformes expérimentales...), permettant ainsi une meilleure visibilité et compréhension des recherches menées par les membres du GdR MACS.

### 1.8.2 Annonces et Lettre d'information

Tous les anciens numéros de ces annonces et lettres restent disponibles sur le site du GdR à l'adresse [gdr-macs.cnrs.fr/newsletter](https://gdr-macs.cnrs.fr/newsletter). Ces lettres recensent les dernières annonces, les événements à venir, les faits marquants, et les protocoles pour que les affiliés puissent interagir avec la communauté du GDR MACS. Les appels à contribution spécifiques sont également relayés.

### 1.8.3 Plaquettes

Plusieurs actions ont été menées en lien avec le CNRS et ses requêtes. En effet, en 2021 (fin 2020) les services communication du CNRS ont souhaité uniformiser les logos de ses GDR, ainsi que créer une plaquette informative pour chaque GdR. Nous avons donc suivi les préconisations et défini le nouveau logo du GDR selon le gabarit imposé et s'inspirant de la couleur de nos tutelles.

La plaquette demandée par le CNRS a pour but de recenser les activités du GdR. Souhaitant en développer une autre dont l'objectif premier de communication est plus large en terme de public visé, une déclinaison de la plaquette GdR/CNRS a été réalisée avec l'aide d'une graphiste indépendante. Elle est disponible sur le site web et elle est mise à disposition lors des différents événements sponsorisés et/ou organisés par le GdR MACS.

## 1.8.4 Réseaux sociaux

Le GdR MACS poursuit les actions de communication déjà en place, sur son site, sur les réseaux (Twitter avec 280 abonnés et LinkedIn avec 2 270 abonnés) relayant les informations de ses équipes membres/de ses affiliés, proposition d'emploi, actions MACS, etc... Nous relayons également depuis peu les faits marquants de notre communauté, tant sur le site web (<https://gdr-macs.cnrs.fr/faits-marquants>) que sur les réseaux par une veille régulière des publications de nos tutelles, de nos équipes membres/laboratoires associés, mettant ainsi en lumière nos chercheurs et leurs recherches.

Statistiques sur LinkedIn :

- Principaux posts de recherches qui nous sont associés : Professeur d'université 23,1% ; Étudiant 11,5% ; Chercheur (boursier) 11,5% ; Enseignant primaire secondaire 7,7% ; Chef de projet 3,8%.
- Nombre d'impressions moyen : 300 par post
- Nombre de personnes nous recherchant : 60/mois.

Statistiques sur Twitter : 2,4k impressions par mois en moyenne sur la période allant de novembre 2022 à juin 2023.

## 1.8.5 Bilan

L'ensemble des éléments produits à visée de communication tels que logos et plaquettes de présentation sont en ligne dans le menu « Le GdR > Communication » ([gdr-macs.cnrs.fr/comm](https://gdr-macs.cnrs.fr/comm)). De nombreux éléments ont été mis en place lors de la mandature en cours, permettant au GdR d'être mieux identifié par notre communauté et être associé à nos tutelles. Le site web reste en évolution, afin d'intégrer les nouveautés, et les différentes nouvelles. Il en va de même pour les réseaux. Des templates ont été élaborés pour le comité de direction afin d'avoir une identité visuelle facilement identifiable, unique et cohérente. Plusieurs documents à visée publique sont également disponibles pour que tout un chacun puisse suivre les évolutions du GdR MACS [gdr-macs.cnrs.fr/documents](https://gdr-macs.cnrs.fr/documents).

## 1.9 Budget

La structure du budget prévisionnel MACS tel que dans la demande de moyens formulée fin 2022 pour 2023 (57 000 € demandés) est très semblable à celle des années passées et est comme suit

- Organisation de manifestations : 10 000 €. Ceci comprend le soutien à des workshops thématiques organisés en France, l'organisation de l'assemblée générale de MACS, journée de préparation aux concours.
- Missions : 19 000 €. Ceci comprend les missions du comité de direction de MACS pour l'assemblée générale de MACS, des visites de laboratoires par le directeur, des réunions pour l'INS2I, les missions pour la journée de préparation aux concours, les mobilités des doctorants (6 000 € prévus spécifiquement sur cette opération).
- Communication : 3 000 €.
- Soutien à des projets scientifiques ciblés : 18 000 €. Cette ligne budgétaire correspond au financement des actions MACS.
- Autres : 7 000 €. Cette somme est dédiée au soutien aux écoles thématiques du domaine.

Les dotations du CNRS à MACS ont été de 57 000 € en 2021 et 2022, puis de 55 000 € en 2023. Du fait de la pandémie de COVID le budget n'a été dépensé qu'à hauteur de 17 000 € en 2021 par manque d'activités organisées en présentiel. La reprise a été plus lente que prévu en 2022 avec un budget consommé à hauteur de 47 000 € (qui aurait dû être de 50 000 € mais une facture prévue fin 2022 a été reportée à 2023 en raison d'une erreur administrative de la part d'un fournisseur).

Au moment de la rédaction de ce rapport les dépenses estimées pour 2023 sont en deçà des prévisions et seront proches de 38 000 €. Un certain nombre de nouvelles Actions MACS prévues (voir la partie projet) ont été reportées par les porteurs pressentis. Comme nous préférons éviter des dépenses qui ne seraient pas mûrement réfléchies et en accord avec l'INS2I la direction du GdR a proposé à l'été 2023 que le solde de 17 000 € soit utilisé pour des projets d'autres GdR.

## Chapitre 2

# Projet 2024-2028

### 2.1 Équipe de pilotage

Suite à une révision de l'organisation du CNRS conduite en 2019-2020, les GdR ne sont plus à leur renouvellement des structures du CNRS. En conséquence la terminologie évolue : ils sont animés par des responsables et non plus par des directeurs ou directrices. En suivant cette évolution nous utilisons le terme "équipe de pilotage" en lieu "d'équipe de direction".

Le projet d'équipe de pilotage est constitué de deux parties, l'une plus directement concernée par les opérations liées à des activités récurrentes avec des objectifs précis et une seconde dédiée aux travaux de prospectives. La première serait supervisée par une responsable adjointe, Gülgün Alpan, qui était précédemment responsable des activités en faveur des jeunes chercheurs et chercheuses. La partie prospectives serait confiée à Romain Postoyan et comprendrait 8 membres au total. En comparaison du comité de direction sortant le nombre de personnes augmente légèrement pour d'une part couvrir un volume d'activités plus important et d'autre part avoir une plus grande capacité de réaction aux demandes en termes de prospectives émanant la communauté et du CNRS.

Fonction MACS	Nom	Labo - Équipe MACS	CNRS
Responsable	Dimitri Peaucelle	LAAS-CNRS - MAC	UPR
Resp. adjointe aux Opérations	Gülgün Alpan	G-SCOP	UMR
Communication	Valérie Dos Santos Martins		
Entreprises	Evren Sahin	LGI	
Europe	Paolo Frasca	GIPSAlab - DANCE	UMR
Jeunes	Jean Auriol	L2S - MODESTY	UMR
Logiciels	Laurent Geneste	LGP - Systèmes	
Science ouverte	Mihaly Petreczky	CRIStAL - CO2	UMR
Séminaires	Sylvie Norre	LIMOS - ODPS	UMR
Prix des thèses	Reine Talj	Heudiasyc	UMR
Resp. adjoint aux Prospectives	Romain Postoyan	CRAN - CID	UMR
	Eric Bonjour	ERPI	
	Olivier Cardin	LS2N - CPS3	UMR
	Virginie Goepp	Icube - CSIP	UMR
	Mamadou Kaba Traoré	IMS - Productique	UMR
	Jimmy Lauber	LAMIH	UMR
	Elena Panteley	L2S - MODESTY	UMR
	Louise Travé-Massuyès	LAAS - DISCO	UPR

Le comité de pilotage proposé comprend 18 personnes dont 8 chercheurs CNRS, 8 femmes, 9 personnes qui sont dans le comité sortant. Il a été constitué suite à un appel à candidatures auprès de toutes les équipes membres du GdR. Une trentaine de noms ont été proposés et un choix a été fait en tenant compte de différents équilibres dont des équilibres thématiques et géographiques.



Le fonctionnement du comité de pilotage est prévu dans la continuité du fonctionnement des deux dernières années, à savoir des réunions mensuelles en ligne (sauf cas particuliers quand le comité de pilotage se réunit en marge d'un événement national). Les réunions sont prévues sur une demi journée. Il est envisagé pour plus d'efficacité de prévoir un ordre du jour qui sépare les questions liées aux opérations et aux prospectives, même si l'ensemble des membres du comité de pilotage assistent et participent de droit à l'ensemble des discussions.

## 2.2 Conseil scientifique

En complément du comité de pilotage, le GdR souhaite mettre en place un Conseil scientifique dont la mission serait d'approfondir les discussions autour des questions de prospectives sur une échelle de temps plus longue que les réunions mensuelles. Ce conseil scientifique est prévu pour se réunir deux fois l'an et traiter de questions telles que : avis scientifique sur les Actions MACS (évaluation des actions terminées, propositions de nouvelles actions) ; élaboration de piliers scientifiques structurant le domaine et proposition de séminaires sur ces thématiques ; révision régulière des prospectives du GdR ; conseil au comité de pilotage du GdR sur tout sujet proposé par les responsables ; possibilité d'auto-saisine. Le conseil serait constitué d'une part des membres du comité de pilotage en charge des prospectives, d'un nombre égale d'autres représentants de la communauté et de membres invités issus de communautés scientifiques proches avec lesquelles nous souhaitons renforcer les liens. Le comité scientifique pressenti à ce stade est donné dans le tableau suivant. Les noms des invités issus des communautés qui nous sont proches seront sur proposition de celles-ci. Une fois constitué le conseil scientifique élira un président ou une présidente pour mener les débats. Les personnes listées dans le tableau ont d'ores et déjà été sollicitées pour participer à l'élaboration de la prospective scientifique qui constitue la suite de ce document.

Nom	Labo - Équipe MACS	CNRS	CD MACS
Christophe Bérenguer	GIPSAIab - SAFE	UMR	
Eric Bonjour	ERPI		X
Olivier Cardin	LS2N - CPS3	UMR	X
Vincent Cheutet	DISP		
William Derigent	CRAN - ISET	UMR	
Sylvain Durand	ICube - RDH	UMR	
Virginie Goepp	ICube - CSIP	UMR	X
Mamadou Kaba Traoré	IMS - Productique	UMR	X
Jimmy Lauber	LAMIH	UMR	X
Michael di Loreto	Ampère - AIS	UMR	
Guillaume Mercère	LIAS A&S		
Elena Panteley	L2S - MODESTY	UMR	X
François Peres	LGC - Systèmes		
Romain Postoyan	CRAN - CID	UMR	X
Nacim Ramdani	PRISME - IRAUS		
Louise Travé-Massuyès	LAAS - DISCO	UPR	X
Représentants de GdR	ISIS, RADIA, Robotique, ROD, SEEDS		
Représentants de sociétés	Chapitre Automatique EEA		

## 2.3 Prospectives scientifiques

Cette section dédiée à la prospective scientifique est organisée de la façon suivante. Dans la section 2.3.1 sont rappelés quelques-uns des résultats scientifiques marquants de ces 5 dernières années en Automatique et STP, marquants au sens qu'ils ouvrent de nouvelles perspectives. Les perspectives en question et les enjeux soulevés sont ensuite présentés succinctement selon qu'ils sont disciplinaires ou inter-disciplinaires dans les sections 2.3.2 et 2.3.3. Pour la plupart d'entre eux, des Actions MACS (cf. section 1.4) ont déjà été lancées ou sont envisagées pour la période 2024-2028 auquel cas celles-ci sont indiquées. Ces actions MACS sont en effet un levier privilégié pour encourager et favoriser l'émergence et le développement de travaux de recherche au sein de la communauté nationale sur ces thématiques à fort potentiel.

### 2.3.1 Résultats marquants des dernières années

Avant de procéder à l'élaboration en tant que telle de prospectives, le conseil scientifique s'est attaché à identifier des résultats ayant eu une forte influence en termes d'émergence de problématiques nouvelles au niveau international. Ce recensement est inévitablement incomplet et subjectif.

**Commande basée données** Les récents succès de l'intelligence artificielle (IA) apportent un nouvel éclairage et ravivent grandement l'intérêt et la recherche sur la commande basée données au sein du monde de l'automatique. La commande basée données consiste à concevoir directement les lois de contrôle à partir des mesures d'entrée et de sortie du système. Aucun modèle explicite du système n'est ainsi nécessaire. Ce paradigme pourrait grandement simplifier la synthèse de contrôleurs et être la clé pour le contrôle de systèmes pour lesquels la construction d'un modèle est problématique de par le manque de données, la grande variabilité du système ou la complexité des dynamiques mises en jeu.

De nombreuses méthodes de l'automatique peuvent légitimement revendiquer l'appellation commande basée données ou commande par apprentissage à l'instar de la commande adaptative [12], de l'« iterative learning control » [4], de la commande sans modèle [8] ou encore de l'« extremum seeking control » [21] pour n'en citer que quelques unes. Les récents travaux de [17] ouvrent une nouvelle voie qui se distingue des domaines précédemment cités. Fondée sur le lemme fondamental de Willems [24], cette approche permet de synthétiser des contrôleurs avec garanties (stabilité, performance, robustesse) en exploitant un jeu données entrées-sorties collectées dont la taille dépend de l'ordre du système. Ces travaux sont remarquables à plusieurs égards. Non seulement, ils offrent une voie tout à fait originale par rapport aux travaux similaires en apprentissage par renforcement en exploitant des propriétés de l'automatique (e.g., stabilisabilité, détectabilité) tout en apportant des garanties analytiques, mais ils ne nécessitent pas une grande quantité de données. L'article de [17] est symbolique de tout un élan de nouveaux travaux dans le domaine et permet d'entrevoir des versions basées données des grandes approches de commande jusqu'à présent reposant sur un modèle, e.g., [1, 2, 7, 10, 23].

**Analyse et synthèse d'algorithmes d'optimisation** L'article [15], ainsi que des travaux qui ont suivi sur ce même sujet comme par exemple [9, 20], sont symptomatiques d'un intérêt renouvelé pour l'étude des méthodes d'optimisation à l'aide d'outils issus de l'automatique. Cet article va dans le détail de l'analyse des algorithmes d'optimisation itératifs de type gradient et ses variantes accélérées (Nesterov, Heavy-ball...) en les interprétant comme des systèmes dynamiques à temps discret. Il démontre et illustre comment les outils de la commande robuste conduisent non seulement à de nouvelles garanties de convergence des algorithmes d'optimisation en question, mais permettent également la synthèse de nouveaux algorithmes aux performances améliorées. Ces travaux ouvrent ainsi la voie à de nouvelles études dédiées à l'analyse d'algorithmes avec des certificats sur leur stabilité et leur robustesse.

**Approches par noyaux pour l'identification de systèmes** L'identification des systèmes traite de l'estimation de modèles de systèmes dynamiques à partir de signaux d'entrée et de sortie mesurés. La plupart des techniques actuellement utilisées pour l'identification de systèmes sont fondées sur des méthodes d'estimation issues des statistiques. Mathématiquement, l'identification des systèmes est un problème inverse qui peut souffrir d'instabilité numérique et de problème d'identifiabilité. Le chercheur russe Tikhonov a proposé dans les années 1940 une manière générale de contourner ces instabilités par une technique dite régularisation, qui a donné lieu à de nombreuses avancées pour le cas de dynamiques linéaires. Récemment, l'émergence du machine learning a offert un regard nouveau permettant d'envisager la régularisation de systèmes dynamiques non-linéaires. Ces solutions trouvent leur fondement mathématique dans la théorie des « Reproducing Kernel Hilbert Spaces » [14], qui viennent révolutionner l'approche classique en identification. Ce renversement de perspective permet d'envisager le développement de nouvelles techniques pour des dynamiques complexes, élargissant ainsi le champ d'application potentiel de l'identification [5, 18].

**Covid, incertitudes internationales : résilience des supply chains** Les incertitudes internationales liées, entre autres, à la crise du Covid 19 ont vu l'émergence de nombreux travaux de recherche autour de la notion de résilience comme le montre l'explosion, depuis 2019, du nombre d'articles référencés dans Scopus ayant comme mot-clé résilience (plus de 87000 soit 52% des documents depuis 1980). L'intérêt pour ce concept s'explique par sa définition qui, quelque soit le domaine d'application, est *la capacité et l'aptitude d'un élément à revenir à un état stable après une perturbation* [3]. La perturbation

est dans le cas de la résilience généralement qualifiée de non prévisible et a un impact important sur l'élément considéré.

Dans le cadre des problématiques qui intéressent le GdR MACS, les travaux traitant de la résilience de la supply chain sont significatifs. Ces travaux explorent comment éviter les risques de ruptures de la supply chain en proposant des outils spécifiques comme une structure de jumeau numérique dans [13] ou du machine learning dans [11]. D'autres comme, par exemple [16, 22], mettent en évidence le lien positif entre résilience de la supply chain et technologies de l'Industrie 4.0. En tout état de cause, la problématique de la résilience fait partie des sujets d'intérêt pour le GdR MACS (voir l'action MACS Amélioration de la résilience des systèmes complexes dans un contexte perturbé).

Cette thématique peut servir de pont entre les communautés automatique et sciences et techniques de production du GdR MACS puisque la résilience peut s'appréhender à différents niveaux et devrait s'articuler avec les concepts de robustesse et de risque. Le projet d'école MACS 2024 sur le thème *Résilience, Risque et Robustesse* va résolument dans ce sens. Un des enjeux forts est d'aller vers la caractérisation des perturbations et de la résilience des systèmes tout en fournissant des méthodes et outils permettant de supporter la dynamique à mettre en oeuvre en cas de perturbation.

**Cognitive Digital Twin** La notion de Jumeaux Numériques s'est fortement développée ces dernières années comme un des piliers de la dernière révolution industrielle et de nombreux travaux dans la communauté ont proposé des contributions pour leurs applications aux systèmes de production (voir en particulier l'action du GdR sur cette thématique mais aussi [6, 19]). Après une première phase très orientée technologie poussée par de nombreux éditeurs de logiciels ou de solutions d'hébergement, la place de l'Humain au sein du Jumeau Numérique redevient aujourd'hui centrale comme partie prenante fondamentale et positionne le Jumeau Numérique comme aide à la décision dans un environnement complexe. De plus, les systèmes de production deviennent de plus en plus dynamiques dans leur configuration pour respecter au mieux des demandes de plus en plus hétérogènes et diverses. Cela implique alors un système de pilotage qui puisse suivre cette dynamique et donc puisse s'adapter le plus facilement possible.

Tout cela se traduit aujourd'hui entre autre par le concept de « Cognitive Digital Twin » (CDT) [25]. Les principaux bénéficiaires d'un CDT sont les systèmes et processus de production complexes qui impliquent de multiples sous-systèmes avec des parties prenantes de différents domaines ou qui traversent plusieurs phases du cycle de vie. Le CDT peut permettre de créer un cadre unifié pour orchestrer les interactions entre les sous-systèmes et les processus. Du point de vue des exigences du système, le CDT fournit une solution pour les systèmes industriels qui nécessitent un niveau plus élevé de capacités agiles, résilientes et reconfigurables, ainsi que des capacités améliorées de prise de décision et de réaction autonome.

Ces quelques résultats marquants ne sont bien sûr qu'un échantillon des contributions majeures ayant émergées au cours des 5 dernières années au sein de notre communauté. Néanmoins, ces 5 thématiques sont promises à un avenir florissant et sont au cœur des enjeux présentés par la suite. Les enjeux identifiés sont d'ailleurs le fruit de l'analyse de l'IEEE-CSS/IFAC Roadmap 2030, disponible via ce lien : [IEEE-CSS/IFAC Roadmap 2030](#).

### 2.3.2 Enjeux disciplinaires

Nous présentons ci-dessous quelques enjeux disciplinaires prospectifs. Cette liste n'est pas considérée comme exhaustive et sera révisée annuellement par le conseil scientifique. Les Actions MACS envisagées ou ayant eu lieu sur la période 2019-2023 sont mentionnées à la fin de chaque descriptif.

**Optimisation et systèmes dynamiques** L'Automatique est historiquement intimement liée à l'optimisation. Elle doit ainsi nombre de ses plus grands succès à l'interaction avec ce champ disciplinaire, comme par exemple la commande optimale linéaire quadratique, le filtre de Kalman, la commande prédictive ou l'intrication en programmation semi-définie (LMI) et la commande robuste. Cette tradition est amenée à connaître un renouveau majeur dans les années à l'avenir selon deux axes complémentaires. Le premier est celui de l'optimisation pour le contrôle. De par le besoin de plus en plus pressant de techniques de commande non seulement sûres (au sens de la stabilité, de la robustesse ou de la sécurité) mais aussi performantes pour des systèmes dits complexes (non-linéaires, hybrides, à plusieurs échelles de temps, de grande dimension etc.), les techniques d'optimisation auront nécessairement un rôle majeur à jouer. Qu'il s'agisse de la commande par programmation dynamique, de la commande par réseaux de neurones ou plus généralement toute loi de commande faisant intervenir explicitement un algorithme d'optimisation dans

la boucle fermée, de nombreux verrous méthodologiques sont à relever pour modéliser et surtout analyser la boucle ainsi fermée. Le second axe est celui du contrôle pour l'optimisation, cf. section 2.3.1. L'idée ici est de modéliser des algorithmes d'optimisation, qu'ils soient distribués ou non, comme des systèmes dynamiques et d'exploiter les outils de l'automatique pour analyser leur convergence voire leur propriété de stabilité et de robustesse. Cet axe de recherche a connu un regain d'intérêt majeur ces dernières années (voir le paragraphe sur l'analyse et la synthèse d'algorithmes d'optimisation), qui est amené à prendre de l'ampleur. De plus, ce parallèle permet d'envisager l'exploitation voire le développement de techniques de contrôle donnant ainsi lieu à de nouveaux algorithmes d'optimisation plus rapides, plus stables et plus robustes.

**Actions MACS envisagées :** (i) optimisation et systèmes dynamiques ; (ii) réseaux de neurones pour les systèmes dynamiques : quelles garanties analytiques ?

**Architectures de commande et de décision** L'introduction des avancées technologies conjointement liées à l'Internet des Objets et l'Industrie du futur conduit au développement de systèmes industriels cyber-physiques, composés d'une grande variété d'entités virtuelles et physiques, collaboratives et autonomes, organisées selon des relations de natures différentes (physiques, informationnelles, organisationnelles), multi-niveaux et multi-échelles, évoluant dynamiquement au cours du temps. Dans ce contexte, l'étude du contrôle/pilotage de ces systèmes nécessite de prendre en compte l'architecture de commande/pilotage sous-jacente, aussi bien pour structurer l'organisation hiérarchique entre les contrôleurs/centres de décision interconnectés virtuellement et physiquement, que pour identifier leurs interactions en termes d'échanges d'information par exemple. L'architecture de commande/pilotage, en tant qu'objet d'étude scientifique, reste donc un enjeu fort dans le contexte de ces nouveaux systèmes. Cela implique de proposer des architectures de référence adaptées et, d'autre part, des méthodes de conception permettant d'aboutir à des structures distribuées optimales, robustes, flexibles et reconfigurables. De nouvelles questions peuvent se poser, en lien avec d'autres enjeux scientifiques : par exemple, l'introduction du jumeau numérique et de ces capacités de simulation temps-réel soulève la question de l'intégration contrôle-simulation multi-niveau au sein de ces architectures, tout comme l'intégration de l'humain dans la boucle entraîne un questionnement important sur la manière de concevoir ces architectures de façon anthropocentrée.

**Actions MACS 2019-2023 :** les Jumeaux Numériques pour les systèmes de production.

**Modélisation, analyse et conduite des systèmes hétérogènes, de grande taille** Au cours des dernières décennies, la modélisation, l'analyse et la conduite des systèmes hétérogènes de grande taille se sont fortement développés en raison des nombreux champs applicatifs concernés et des enjeux sociétaux associés. On citera par exemple la gestion des réseaux de tous types (électrique, de communication et pilotage à distance, de stockage et de distribution d'eau, de gestion de trafic routiers, de gestion de flottes...), dans le contexte de l'industrie du futur le pilotage d'usine de production, la gestion logistique multimodale, ou encore dans le domaine de la santé, l'assistance à l'humain, les traitements EGCs, les traitements médicamenteux, les évolutions épidémiques. La théorie des systèmes et du contrôle propose des méthodes bien solides pour garantir la stabilité et les performances de certaines classes de systèmes dynamiques. Plusieurs verrous majeurs persistent néanmoins comme la prise en compte de l'hétérogénéité (combinaison de systèmes de nature structurelle ou temporelle différentes) ou la grande dimension (issue de systèmes dont le nombre de variables d'état est très grand ou issue de l'interconnexion d'un nombre important de sous-systèmes simples), pour lesquels les outils existants peuvent montrer leurs limites d'un point de vue calculatoire. En effet, les principales difficultés concernent, dans un cas, la mise sous un formalisme commun, et dans l'autre, le passage à une taille exploitable pour l'automaticien. Parmi les outils souvent utilisés pour appréhender ces familles de systèmes, dans la littérature on retrouve des approches basées sur les systèmes dynamiques hybrides, à commutations, interconnectés, ou plus récemment sur les systèmes multi-agents. L'objectif est alors de réaliser : le pilotage, le contrôle, l'observation, l'optimisation sous contraintes, ou encore le diagnostic dans des contextes variés : multi-échelle de temps, continu-discret ; puissance, possibilités de calcul, et/ou ressources limitées par rapport aux dimensions du problème à traiter. Les enjeux scientifiques résident clairement dans le développement de méthodologies permettant d'unifier les différences dans le cas des systèmes hétérogènes, et de réduire la complexité de calcul ou de la reporter hors ligne pour les systèmes de grande taille tout en apportant des garanties de performance.

**Actions MACS 2019-2023 :** (i) commande décentralisée des systèmes multi-agents sous contraintes ; (ii) Commande des EDPs, mathématique et ingénierie ; (iii) « Epidemics : modeling, identification, control » ;

(iv) les réseaux sociaux et l'Automatique.

**Action MACS envisagée :** Contrôle des équations de Navier-Stokes (très prospectif, à réfléchir avec le GdR Navier-Stokes 2.00).

**Systèmes cyber-physiques avec l'humain dans la boucle** L'humain est aujourd'hui partie prenante dans les boucles de contrôle-commande dans une large variété de domaines applicatifs, allant du biomédical, aux véhicules autonomes et aux infrastructures critiques. A la frontière entre l'humain et les systèmes cyber-physiques résident une large variété d'interactions, parmi lesquelles des interactions physiologiques (pancréas artificiel, par ex), cognitives ou physiques (exosquelettes, par ex.), ou encore à l'échelle de population (pandémies, gestion de trafic, par ex.). La présence de l'humain dans la boucle de contrôle-commande impacte significativement les stratégies de conception car deviennent prépondérantes les problématiques de la sécurité de l'interaction pour l'humain et de la confiance qu'il peut avoir dans le système cyber-physique. Apporter des réponses à ces nouveaux défis est d'autant plus difficile que le composant humain, en tant qu'acteur à part entière dans la boucle de contrôle-commande, montre une grande variabilité et une forte capacité d'adaptation dans son comportement dynamique, alors même que sa modélisation constitue un verrou majeur compte tenu de l'absence de lois fondamentales et de la difficile acquisition de données expérimentales. Les verrous principaux qui doivent être résolus pour permettre un développement harmonieux des solutions technologiques impliquant l'humain dans la boucle concernent les aspects de modélisation et de synthèse. Le premier verrou concerne la caractérisation et la modélisation du composant humain et la manière avec laquelle il s'adapte pendant l'interaction. Ici combiner des approches basées données et des méthodes basées lois fondamentales (physiques, physiologie, etc..) constitue une première piste de recherche pour développer des modèles appropriés pour la commande et la prédiction en ligne. Le second verrou concerne le développement des lois de commande qui garantissent la sécurité de l'interaction, qui sont robustes à l'incertitude, et qui sont dotées de capacités d'apprentissage et d'adaptation. Les aspects éthiques, responsabilité et confiance doivent aussi être pris en compte dès la conception. Les architectures des lois de commande devront être adaptées à la nature de l'interaction (physiologique, cognitive, ou à l'échelle d'une population) et devront exploiter les structures hiérarchiques sous-tendant l'interaction (boucle rapide pour l'interaction physiologique, planification à moyen terme pour des interaction à l'échelle de population, etc..). Par ailleurs, la nécessaire adjonction d'un composant d'apprentissage dans la boucle de commande pose la question de la validation et de la garantie de performances. Ici, le concept de synthèse de loi de commande *probably approximately correct* (PAC) constitue une bonne piste de recherche.

**Action MACS envisagée :** Sécurité des systèmes cyberphysiques.

### 2.3.3 Enjeux inter-disciplinaires

Nous donnons ci-dessous quelques enjeux inter-disciplinaires prospectifs. Cette liste n'est également pas considérée comme exhaustive et sera révisée annuellement par le conseil scientifique.

**Électrification** L'accroissement de la demande en énergie électrique induit des défis majeurs, qui impactent tous les aspects de la société, en incluant les mobilités, la production, l'habitat et la santé. Les scientifiques et ingénieurs dans le domaine de l'Automatique ont un rôle primordial dans cette transition énergétique, afin de garantir une exploitation optimisée de cette énergie d'une manière durable et accessible. Sur le plan technique, la transition énergétique vise à faire de l'électricité un vecteur énergétique universel. Ce changement de paradigme donne lieu à des défis techniques et méthodologiques inédits à chaque étape de la chaîne énergétique, afin de concevoir des systèmes optimisés, de la conception à l'usage.

L'infrastructure électrique et les systèmes électriques la composant font face à de nombreux enjeux, comme la décentralisation de la production, l'intégration d'énergies renouvelables (photo voltaïque, hydraulique, éolien, biomasse, géothermie), la mise en place croissante de réseaux intelligents, les nouveaux usages (notamment pour la mobilité et l'habitat), le besoin énergétique de l'industrie, ainsi que l'accroissement de systèmes ou objets connectés et/ou communicants et de données. Ces enjeux s'accompagnent bien souvent de nouveaux besoins énergétiques, mais ont la capacité de contribuer à une meilleure gestion de l'énergie, dans son ensemble, et ce de manière durable. De manière générale, tout secteur énergétique est confronté au triptyque consommation-stockage-génération. Les interactions et couplages de ces trois sous-secteurs énergétiques sont inhérents, et doivent être pilotés conjointement afin de participer à la transition énergétique. Chaque élément de ce triptyque doit optimiser ses propres fonctionnalités et performances, en tenant compte de ces couplages, dans un objectif commun de durabilité et d'accessibilité,

afin de réduire l'impact environnemental de l'humain.

Sans prendre en compte l'interaction pilotable au sein de ce triptyque, le dimensionnement de la génération (production) et du stockage énergétique est gouverné par les valeurs des pics de consommation. Les sources de génération énergétique avec une forte variabilité, comme le sont un grand nombre d'énergies renouvelables, induisent une capacité sur-estimée et un sur-dimensionnement de l'infrastructure de production et de stockage, associés à des coûts prohibitifs. Il est donc primordial d'intégrer les interactions pilotables entre consommation-stockage-génération. Bien que cela contribue à l'objectif global, il n'est cependant pas suffisant, car il ne concerne qu'un seul secteur énergétique. Une avancée significative vers l'objectif est donc d'envisager une approche multi-sectorielle énergétique, c'est-à-dire de coupler différents secteurs énergétiques pour répondre au besoin de l'utilisateur. Ce couplage s'appuyant sur la conversion énergétique, il s'agit alors d'en optimiser ses performances, par une approche multi-source et pluri-disciplinaire, comme par exemple la co-génération. Cette stratégie permet d'envisager un gain significatif dans la réduction de la capacité de génération énergétique et la réduction des systèmes de stockage, tout en introduisant davantage de flexibilité dans les infrastructures énergétiques.

Les verrous et défis scientifiques attendus dans cette perspective s'appuient sur cette réflexion, en parcourant toutes les étapes de la chaîne énergétique,.

1. Génératrice/moteur : aux extrémités de la chaîne énergétique se trouvent les moteurs/génératrices, qui sont des convertisseurs électro-mécaniques. L'enjeu majeur est ici de disposer d'une large gamme de puissance pour ces convertisseurs (de quelques Watts à plusieurs MegaWatts). Il s'agit en effet d'exploiter au mieux les sources d'énergies primaires, tout en proposant un usage généralisé (et bien dimensionné) des actionneurs électriques. Les objectifs sont ici multiples : améliorer le rapport poids/puissance par la conception et la commande, conception de commande robuste par rapport aux incertitudes de modélisation et à des charges variables incertaines, méthodologies pour la conception conjointe du dimensionnement et du contrôle, stratégies pour l'interconnexion des actionneurs électriques et leurs conversions énergétiques (électronique de puissance), techniques de diagnostic et de détection de fautes, sûreté de fonctionnement.
2. Transport/distribution de l'énergie : de plus en plus nombreux, les éléments terminaux du réseau de transport sont également de plus en plus fréquemment connectés via des interfaces d'électronique de puissance pour autoriser des vitesses de rotation variables. Par ailleurs, l'intermittence ne concerne plus seulement la consommation mais s'étend à la production, du fait de l'usage d'énergies renouvelables comme sources d'énergie primaire. Ces mutations des éléments terminaux imposent des changements pour le réseau lui-même, par le biais de sa structure, de l'usage du courant continu, et de son inertie. Les verrous concernent ici l'équilibrage entre la production et la demande dans un réseau marqué par l'intermittence généralisée, la prise en compte des contraintes d'interopérabilité des réseaux de différentes générations, la numérisation de l'infrastructure de contrôle (réseau intelligent), ainsi que l'acheminement de puissance en présence de défaillances.
3. Conversion énergétique : la commande de systèmes électriques est réalisée par l'intermédiaire de convertisseurs de puissance, qui sont eux mêmes l'interconnexion de composants passifs linéaires, non-linéaires, et d'interrupteurs commandés. Ces systèmes évoluent dans un environnement évolutif (caractère intermittent des énergies renouvelables et de la consommation), avec une grande variété de comportement dynamique de charges électriques connectées en aval des convertisseurs, et présentent intrinsèquement des modèles évolutifs en fonction de leur état de vie. Les principaux enjeux concernent ici les convertisseurs multi-fonctionnels et leur commande pour une meilleure flexibilité d'utilisation des convertisseurs, les outils de synthèse pour les modèles retenus (modèle moyen, modulation de largeur d'impulsion, modèle commuté à entrée de cardinalité finie) et leur comparaison, ainsi que les méthodes d'analyse et de synthèse pour les systèmes incertains, aussi bien du point de vue de leur dynamique que de leur environnement. Enfin, les aspects de sûreté de fonctionnement, en lien avec le vieillissement ou la défaillance de nouveaux composants, sont ici fondamentaux.
4. Stockage de l'énergie : les principaux défis sont ici d'augmenter les densités de puissance et d'énergie. Les enjeux concernent la sûreté de fonctionnement, dans le cadre de modèles de vieillissement de composants, la commande et l'équilibrage des capacités.
5. Approche multi-disciplinaire : comme cela a été mentionné, l'usage de la cogénération (chaleur + électricité) permet d'augmenter radicalement les rendements des génératrices électriques classiques. Les réseaux multi-vecteurs (électricité, chaleur, froid, gaz, hydrogène) constituent le support de ce type de cogénération, tirant profit des synergies possibles entre les différents vecteurs énergétiques. L'enjeu est ici d'établir des méthodologies de gestion d'énergie de type haut-niveau, en se basant

sur une complexité et pluri-disciplinarité croissantes, qui puissent s'interfaçer avec les gestions locales de commande de composants. L'intérêt d'intégrer dans la modélisation l'utilisateur, afin de modéliser le comportement évolutif de la demande énergétique, conjointement à l'exploitation de données, doivent permettre le déploiement de méthodologies de gestions de modes optimisées.

**Actions MACS envisagées :** (i) contrôle des convertisseurs (avec le GdR SEEDS) ; (ii) apports MACS au GdR Éolien, énergies marines renouvelables, hydraulique.

**Automatique et communication (et IOT)** Dans les systèmes de contrôle modernes, qui intègrent les systèmes physiques et les ressources numériques, les réseaux de communication jouent un rôle crucial étant donné qu'ils relient les différents systèmes et assurent les tâches de collecte, de traitement et de transmission des données. Lorsque les échanges d'informations se font sur des canaux sans fil, cela implique que les données échangées entre les contrôleurs et les systèmes sont nécessairement imparfaites. Le problème du contrôle de ces systèmes se situe à la frontière de deux disciplines : la théorie du contrôle et les télécommunications. Pour la communauté du contrôle, l'objectif est d'atteindre un niveau de performance ciblé compte tenu des caractéristiques du système contrôlé et des conditions de l'environnement. Pour la communauté des télécommunications, l'objectif est d'assurer la transmission d'informations entre les nœuds connectés, compte tenu des caractéristiques du réseau. La plupart du temps, ces problèmes sont traités séparément par les deux communautés. Cependant, de nombreuses applications émergentes peuvent bénéficier d'un dépassement du paradigme actuel qui sépare complètement la conception des réseaux de communication de la source et de la destination de l'information qui circule à travers le réseau. Ces applications nécessitent des recherches à l'interface entre la théorie du contrôle et les communications sans fil. Une telle approche permet de considérer le système de contrôle et de communication comme un système unique dans lequel les couches de communication et de contrôle sont les deux composantes d'un système unique. Parmi les exemples de ces démarches, on peut citer une conception conjointe qui garantit l'objectif de contrôle du système et la minimisation de l'énergie de transmission sans fil, un schéma conjoint pour l'allocation des ressources radio ainsi que l'adaptation des paramètres de contrôle, une approche combinée communication-contrôle pour l'analyse de la performance et de la fiabilité, un schéma combiné de contrôle des mouvements et d'allocation des ressources.

**Action MACS en cours :** Commande décentralisée des systèmes multi-agents sous contraintes.

**IA et MACS** Les liens entre Intelligence Artificielle (IA) et MACS sont nombreux et sont amenés à prendre de l'ampleur à l'avenir. Des efforts en ce sens ont ainsi déjà été initiés par le GdR MACS notamment via la création d'un [groupe de réflexion](#) en 2020 et une [enquête](#) en 2022 pour cartographier les techniques utilisées dans la communauté en lien avec l'IA et les objets de recherche concernés. Les paragraphes intitulés "Commande basée donnée" et "Approches par noyaux pour l'identification des systèmes" de la section [2.3.1](#) illustrent que le domaine voit des avancées significatives récentes sur cette thématique.

L'enjeu est majeur car les deux communautés, Automatique et STP d'une part et IA de l'autre ont beaucoup à y gagner. En effet, l'Automatique et les STP peuvent tirer parti des techniques d'IA afin d'envisager l'analyse, l'estimation, l'identification, la commande et le diagnostic de systèmes complexes (non-linéaires, incertains, variant dans le temps etc.) sans reposer pour cela sur un modèle mathématique des dynamiques mises en jeu. Cela pourrait grandement faciliter la mise en œuvre de telles techniques et ouvrir la voie à des domaines d'application pour lesquels les approches basées modèle montrent leur limites, à l'instar du transport autonome, des neurosciences et de la biologie. En contrepartie, le cœur de métier de MACS a aussi son rôle à jouer dans le développement de l'IA en apportant des garanties de stabilité, de robustesse, d'explicabilité, de validation ou de vérification pour les systèmes pilotés par des techniques d'IA. Les efforts de la communauté en optimisation et en stochastique pourraient également bénéficier aux approches d'IA, tout comme les méthodologies de boucle fermée et adaptative pour l'apprentissage par renforcement (*reinforcement learning*), ou la théorie des systèmes en réseaux pour le *cloud computing*. Ces questions soulèvent de nombreux verrous méthodologiques, qui stimuleront indubitablement de nombreux travaux de recherche dans les années à venir. Dans ce contexte, la question de la qualité des données utilisées lors de l'apprentissage et de leur impact sur le système en boucle fermée se posera nécessairement. La qualification des données (exactitude, actualité, fiabilité, disponibilité, précision, cohérence, densité (« sparsity »), réputation, interprétabilité, accessibilité, sécurité...) sera un enjeu essentiel pour assurer le bon fonctionnement des systèmes de contrôle ou de planification, ou encore, des jumeaux numériques. De façon plus générale, une plus forte intégration de l'apprentissage automatique, des jumeaux numériques et de l'expertise humaine (intégration des données, des modèles

et des connaissances) sera certainement requise pour améliorer le pilotage et le contrôle des systèmes physiques.

Il sera naturel de mener ces efforts en collaboration avec le [GdR RADIA](#) en IA, le [GdR ISIS](#) en traitement du signal (qui a un de ses 5 thèmes dédié à l'IA) ainsi que le [GdR Robotique](#).

**Actions MACS envisagées :** (i) contrôle basé données ; (ii) méthodes d'apprentissage pour l'identification des systèmes dynamiques (à construire avec le GdR ISIS) ; (iii) réseaux de neurones pour les systèmes dynamiques : quelles garanties analytiques ? ; (iv) application du traitement automatique du langage, en lien avec le GdR TAL, dans les domaines de la maintenance prédictive et de la conduite des systèmes de production de services (dont les systèmes hospitaliers) ; (v) Apports des techniques du GdR MACS au GdR Ingénierie augmentée par la donnée, l'Apprentissage et l'IA.

**Robotique** Les interactions entre Robotique et Automatique sont historiques, d'ailleurs nombreux sont les membres du GdR MACS à appartenir aux deux communautés et donc au [GdR Robotique](#). Aussi, une action MACS a permis en 2022 de créer le [CT UAV](#) de la SAGIP, commun avec le [GT2 UAV](#) existant au GdR Robotique, autour des véhicules aériens autonomes. Les efforts se poursuivront sur les défis en matière de contrôle en Robotique, notamment sur la résilience, la réactivité et la reconfigurabilité des robots évoluant dans des environnements complexes, non structurés et incertains, ou sur la sécurité des opérations à proximité des humains et en interaction avec les humains.

**Action MACS 2019-2023 :** les outils MACS appliqués aux drones aériens.

**Santé** L'approche « One Health » vise à promouvoir une approche pluridisciplinaire et globale des enjeux sanitaires, pour relever les défis de la médecine 5P (prédictive, préventive, personnalisée, participative et basée sur les preuves). Pour la communauté GdR MACS, cela se traduit par des travaux en collaboration avec les structures hospitalières (CHU, ARS, etc.) et d'autres communautés scientifiques (informatique, sociologies des organisations, etc.) permettant le développement entre autre :

- de dispositifs médicaux adaptatifs et collaboratifs (robots, pré-diagnostic à distance, etc.),
- d'outils d'aide à la décision pour l'optimisation de ressources (dimensionnement des lits, Planification des activités en chirurgie, transports sanitaires, etc.),
- d'outils de prédiction (des durées de séjour PMSI, des flux d'arrivées aux urgences, etc.),
- d'outils de détection précoce (de fragilités dans le processus de prise en charge du cancer, de flux anormaux aux Urgences, etc.)
- de Jumeaux Numériques de patient ou de systèmes hospitaliers exploitant les données en temps réel.

L'action « l'automatique au service de la santé » et le comité technique GISEH (Gestion et Ingénierie des Systèmes Hospitaliers) sont des exemples du fort investissement de la communauté GDR MACS sur cet enjeu, investissement qui se poursuivra ces prochaines années.

**Actions MACS 2019-2023 :** (i) « Epidemics : modeling, identification, control » ; (ii) l'Automatique au service de la santé : de la modélisation aux thérapies en boucle fermée.

**Action MACS envisagée :** application du traitement automatique du langage, en lien avec le GdR TAL, dans les domaines de la maintenance prédictive et de la conduite des systèmes de production de services (dont les systèmes hospitaliers).

**Soutenabilité et systèmes de décision éco-responsables** L'action menée sur la soutenabilité des pratiques et les fruits de la recherche en conception et contrôle des systèmes sociotechniques, notamment en croisant les regards sur les enjeux associés par les chercheurs, montrent une pluralité des définitions, des hypothèses de travail et des résultats scientifiques produits en matière "d'éco-responsabilité". L'ancrage interdisciplinaire est fondamental en soutenabilité. Cependant, une hypothèse majoritairement partagée par les chercheurs est que les ressources planétaires étant limitées, il apparaît nécessaire d'intégrer ces finitudes dans les projets de recherche. En conditionnant l'habitabilité de la Terre par le respect des limites au-delà desquelles les effets systémiques engendrés augmentent les inégalités et vulnérabilités sociotechniques au sein de nos sociétés, le regard critique sur les "effets rebonds" ou transferts d'impacts négatifs potentiels des fruits de la recherche à court ou moyen terme est nécessaire. Ceci exige une certaine transparence des effets potentiellement imprévisibles et incertains des développements technologiques auxquels nous contribuons.

De manière générale, les questions posées sont : comment permettre l'émergence de pratiques soutenables par le fruit des recherches en conception et contrôles des systèmes sociotechniques supportés



par les sciences et technologies de l'information ? Comment inscrire l'activité de recherche dans une démarche de soutenabilité (réflexivité, posture et éthique de l'activité du chercheur) ? Comment mobiliser et formaliser les indicateurs de soutenabilité adaptés, les méthodes d'analyses des pratiques sur ces enjeux de soutenabilité et contribuer à développer une vision critique plurielle transformant nos systèmes sociotechniques ? Plus précisément, sur le thème de la soutenabilité en sciences du numérique, l'approche « green-by-IST » considère que les systèmes développés pour optimiser les ressources, faire la prédiction, etc. permettent de construire des systèmes sociotechniques faisant partie d'une société respectant les limites planétaires. Dans cette optique, l'écoconception des systèmes est nécessaire et demande de mettre en place une analyse d'impacts environnementale dans une logique de changement d'échelle (plusieurs archétypes d'upsizing : upsizing, mass-producing, reaching a level, up and down-zooming, down-limiting, cf. Riondet et al. 2022). L'ensemble des méthodes d'écoconception de type "design for sustainability" sont à intégrer dans les processus de développement des sciences du numérique, abordant l'hétérogénéité des systèmes en fonction de la limitation de ressource disponible, l'architecture au juste besoin technologique (technodiversité du milieu, « right » technologie pour les fonctions attendues ; cela peut se traduire par un dimensionnement de capteurs et d'actionneurs au plus près du besoin, et d'une hiérarchisation des besoins prioritaires traduits dans le cahier des charges fonctionnel du système à concevoir).

Une seconde approche de "green IST" estime que les sciences et technologies de l'information font partie du problème, de par le fort impact environnemental induit par l'essor des nouvelles technologies. Cet effet rebond observé dans nos sociétés, conduisant à saturer les systèmes rendus possibles par de nouvelles fonctionnalités, ouvre des champs de recherche ancrés dans une intégration des limites (matérielles, logicielles, énergétiques, temporelles, spatiales, etc.) dès les phases amont du développement des IST, et donc, en intégrant les (futurs) parties prenantes du cycle de vie des systèmes en développement. Ainsi le cadre d'analyse critique permettant d'argumenter les risques, les menaces ou les bénéfices d'un système technologique sera essentiel pour éclairer le choix écoresponsable de poursuivre les travaux de recherche, et de renoncer à certains développements pour en favoriser d'autres. En particulier, l'approche d'analyse de soutenabilité absolue peut être pertinente à mobiliser (et à davantage développer pour l'IST, notamment au niveau des principes d'allocation). La notion de frugalité, d'adaptabilité des systèmes pour favoriser la capacité de résilience des pratiques sociales en fonction de l'évolution des infrastructures de demain et des perturbations attendues par la déstabilisation des conditions d'habitabilité de la planète (conséquences géopolitiques, allocation des ressources, etc.) s'avère un champ de recherche stimulant pour les années à venir.

**Action MACS 2019-2023 :** les enjeux de la soutenabilité et leurs impacts sur la recherche en conception et contrôle des systèmes techniques.

**Action MACS envisagée :** apports MACS au GdR Éolien, énergies marines renouvelables, hydraulique.

## 2.4 Actions MACS

Les Actions MACS seront reconduites et renforcées en 2024-2028. Ces actions sont un levier unique pour le GdR MACS de faire émerger et de développer des activités de recherche à fort impact potentiel. De par sa nature prospective, le dispositif Action MACS sera naturellement supervisé par le groupe de travail Prospective et le Conseil Scientifique du GdR. L'accent sera particulièrement mis sur les jeunes chercheurs, en les sollicitant afin de proposer des actions MACS et plus généralement afin de les intégrer au réseau MACS.

Partant des prospectives existantes et en s'appuyant sur des sollicitations de jeunes chercheurs que nous aurons identifiés par ailleurs (mission Jeunes Chercheurs), nous encouragerons l'émergence de nouvelles actions. Le groupe de travail sur les Prospectives pourra ainsi mettre en avant des sujets de recherche prometteurs, méritant une exploration ou un approfondissement permettant de faire émerger de nouvelles actions. D'autres actions pourront bien entendu être soumises librement par des chercheurs ou enseignants-chercheurs membres du GdR MACS. Il est à noter que nous favoriserons également des actions en collaboration avec d'autres GdR. Dans tous les cas, les étapes sont les suivantes. Dans un premier temps, deux porteurs minimum ainsi qu'un thème porteur doivent être identifiés, l'action sera alors en étape de « montage ». Quand les porteurs auront ensuite déposé l'action sur le site du GDR MACS, celle-ci passera « en validation » par le Comité de Direction. La décision du Comité pourra alors être de lancer l'action, de proposer des améliorations, voire le cas échéant de l'abandonner. Nous veillerons avec le temps à couvrir autant que possible toutes les thématiques du GdR MACS. Chaque action aura une durée d'un ou deux ans. Elle se verra attribuée un budget de fonctionnement selon les dépenses et événements envisagées (organisation de workshops, de séminaires, de groupe de discussions etc.). Une

action dite lancée fera l'objet d'un suivi d'avancement annuel, avec des sollicitations des porteurs par le comité de direction et des présentations à l'occasion de l'assemblée générale du GdR MACS organisée en marge du congrès de la SAGIP. Le dépôt et le suivi resteront aussi souples et légers que possible. Le bilan des actions sera étudié par le Conseil Scientifique afin de décider de la suite à donner. Le suivi de l'avancement budgétaire sera réalisé par le Directeur. Nous veillerons à ce qu'une communication adaptée soit bien réalisée sur chaque action (promotion, ouverture vers d'autres chercheurs, publications des résultats etc.) en lien avec les porteurs et la mission Communication.

## 2.5 Séminaires MACS

Les actions MACS décrites ci-dessus permettent le lancement de groupes de travail autour de sujets en émergence, en évolution ou en interface, sur des périmètres scientifiques relativement focalisés. En complément de ce format, le projet MACS 2024-2028 vise à réunir régulièrement des groupes plus importants de collègues pour des séminaires ayant comme vocation à

- Faire le point de façon pédagogique sur l'état des connaissances sur une méthodologie clé, par exemple en faisant intervenir un ou quelques spécialistes du sujet, ceci pouvant être en France ou étrangers ;
- Proposer un panorama des contributions récentes de collègues du réseau MACS et partager cela avec les doctorants et jeunes chercheurs. Dans cette visée, des moyens seraient disponibles pour que des doctorants de toutes les équipes membres de MACS puissent se joindre au séminaire ;
- Échanger collectivement (tables rondes) sur les évolutions scientifiques attendues dans le domaine choisi pour le séminaire.

Ces séminaires MACS sont programmés pour se tenir sur 4 demi-journées (typiquement commencer à midi le jour 1 et terminer à midi le jour 3 pour tenir compte des temps de transport). Ces séminaires devront être annoncés suffisamment à l'avance pour qu'un maximum de collègues puissent s'organiser pour y participer ou assister. Une communication spécifique est à prévoir. Une organisation récurrente est également à mettre en place pour faciliter la tenue de ces séminaires dont la fréquence moyenne serait de deux par an.

## 2.6 Accompagnement des jeunes chercheurs et chercheuses

L'enjeu premier pour le GdR MACS est de poursuivre et pérenniser les actions menées lors de la période 2019-2023 pour favoriser l'accompagnement des jeunes chercheurs et chercheuses. Un décompte actualisé des derniers recrutements a été effectué le 22 juin 2023. Ce décompte permettra de cibler plus facilement les jeunes titulaires pouvant prendre part à certaines de ces actions et motiver les équipes de leurs laboratoires. Nous proposons ci-dessous une liste des actions que nous souhaitons mener lors de la prochaine période.

- Pérenniser le prix des meilleures thèses co-organisé par la section Automatique du Club EEA, et plus récemment la SAGIP.
- Poursuivre les écoles thématiques du GdR MACS qui sont plébiscitées par les participants. Nous inciterons en particulier les jeunes recrutés à s'investir dans l'organisation de la journée en donnant des présentations sur les thématiques abordées. En effet, de façon générale, le GdR MACS incite les jeunes recrutés à s'impliquer dans l'animation scientifique de la communauté. Afin de leur permettre d'être reconnus par leurs pairs et de fortifier leur réseau, les jeunes recrutés volontaires seront sollicités pour participer activement et animer des Actions MACS.
- Le GdR MACS a mis en place une formation dédiée sur une journée pour préparer les jeunes chercheurs et chercheuses à l'après-thèse et aux concours de recrutement CNRS, Inria et Maîtres de Conférences. MACS envisage de renforcer ces journées et de mettre en place un système de **mentoring**. Au-delà des journées ciblées, les jeunes chercheurs et jeunes chercheuses en fin de thèse pourraient avoir un référent senior pouvant les guider lors de la préparation des concours. Ce référent pourrait également les inviter à prendre part aux activités MACS une fois recrutés. Par ailleurs, lors des différents événements du GdR (écoles d'été, conférences), des moments informels de discussion pourront être envisagés afin de permettre aux jeunes chercheurs et chercheuses de discuter sur le métier de la recherche et les perspectives de carrière.
- Afin de faciliter l'après-thèse, y compris pour les doctorants ne souhaitant pas forcément poursuivre une carrière académique, nous envisageons la mise en place d'initiatives permettant de faciliter

les interactions avec des partenaires industriels. La première action consisterait à permettre des échanges plus poussés sous forme de speed-dating ou de visite de site avec des partenaires industriels, permettant ainsi de découvrir certains problèmes à forts enjeux applicatifs. MACS envisage également le développement de semaines thématiques permettant aux jeunes chercheurs et chercheuses de se confronter à des problèmes réels. Un partenaire industriel pourrait ainsi proposer un sujet à un groupe de 5 doctorants (issus de différents laboratoires) qui auront une semaine pour tenter de le résoudre. Ce genre de semaine thématique a déjà prouvé son efficacité dans d'autres GdRs.

## 2.7 Codes et logiciels

L'objectif est de consolider les actions déjà engagées (répertorier les logiciels et les codes produits au sein de la communauté MACS) mais aussi de mettre en place :

- une cartographie des usages,
- des webinaires thématiques autour du logiciel.

Ces deux points sont liés et la cartographie des usages devrait faire apparaître des sujets d'intérêt pour l'organisation des séminaires thématiques. À titre d'exemple et sur la base des informations déjà recueillies, des séminaires pourraient être organisés autour des systèmes multiagent (Netlogo, Jade) ou d'outils plus ciblés (HamPath en contrôle optimal, GRIF Workshop en sûreté de fonctionnement...).

En outre, des sujets transversaux liés au développement de logiciels pourront faire l'objet de séminaires tels que : méthodes de développement et de diffusion des codes (licences, gestion des codes source), évaluation et valorisation des codes source dans l'activité de recherche, science ouverte et recherche reproductible...

## 2.8 Science ouverte

Le projet sur ce sujet est d'exploiter et encourager les pratiques en termes de science ouverte permises par l'archive ouverte HAL. Deux orientations sont envisagées.

**Connaître et analyser les dépôts HAL** Comme nous l'avons indiqué dans le chapitre précédent, il est assez compliqué d'avoir une vue complète de toutes les publications produites par les membres du GdR MACS. Mais nous estimons possible d'améliorer l'analyse des publications cosignées par les membres du GdR MACS. Une des pistes à explorer sera d'interagir avec l'INIST pour une analyse des dépôts HAL dont un des auteurs est un membre de GdR MACS et Par la suite, il s'agira de mettre en place des outils pour l'analyse des données ainsi recueillies et ainsi alimenter les réflexions de prospectives menées par le conseil scientifique.

**Inciter à la création une epi-revue** Depuis la fin de la revue JESA (Journal Européen des Systèmes Automatiques), du moins depuis que la communauté MACS a cessé d'y participer et que le titre a été racheté par une maison d'édition prédatrice, la communauté française n'a à l'heure actuelle plus de revue dédiée à mettre en valeur et échanger en son sein. La société savante SAGIP organise un congrès chaque année pour permettre les échanges mais sans publications d'actes, du moins à ce stade. Notre réflexion vise à promouvoir la création d'une epi-revue au sein de [www.episciences.org](http://www.episciences.org). Le souhait n'est pas de remplacer les revues internationales auxquelles nous participons comme lieu principal pour diffuser nos résultats, mais de proposer un espace alternatif, en diamond open access, pour des contributions dans des formats moins contraints (ni en taille ni en langue) valorisant la transmission de connaissances au sein de la communauté. MACS agira dans le sens de faciliter la mise en place de cette revue qui serait idéalement sous la responsabilité de la société savante SAGIP et de ses comités techniques en tant que comité éditorial.

## 2.9 Entreprises

Le GdR MACS n'a pas eu la capacité ces dernières années de proposer un programme d'interactions avec les industriels, mais envisage certaines pistes pour le futur. L'idée est d'agir en faveur du développe-

ment de synergies entre les industriels et les laboratoires. Contrairement aux laboratoires effectuant un travail de recherche, le GdR concentrerait son action dans la mise en relation entre les différents acteurs et l'accès à son réseau. À ce titre, différents outils sont à développer ou mettre en place pour créer des interactions :

- La diffusion d'offres d'emploi, de stages et de thèses co-portées avec des industriels (thèses CIFRE en particulier). Les collègues travaillant dans les entreprises peuvent être inscrits comme Affiliés de MACS et déposer des offres de recrutement diffusées au sein du réseau. Ils peuvent également contacter la direction du GdR pour rechercher des partenaires académiques pour le montage de thèses ou de projets collaboratifs.
- Le lancement d'Actions MACS co-portées par des partenaires industriels. Le GdR est ouvert aux actions dont la visée serait de faire, par exemple, le point sur un état de l'art dans un domaine applicatif, pour établir un tour d'horizon sur des développements en cours sur un sujet d'intérêt. Ces actions peuvent par exemple aboutir à des séminaires thématiques, à l'instar des séminaires « Big Data : une solution pour la logistique pharmaceutique », « L'ERP Prédicatif dans l'Industrie du futur », « Automatique et IA » qui ont réuni industriels et chercheurs par le passé.
- Le recensement MACS des outils logiciels développés au sein des équipes membres du réseau. Ces logiciels, dont les visées initiales ne sont pas nécessairement applicatives, sont souvent des éléments centraux pour un transfert de connaissances depuis les laboratoires vers des réalisations opérationnelles. La visibilité de ces outils logiciels, mais aussi des plateformes expérimentales et des démonstrateurs hébergés au sein des laboratoires, permet le rapprochement avec les partenaires des secteurs applicatifs en explorant les déclinaisons de résultats scientifiques sur des sujets concrets.

## 2.10 Europe

Comme décrit dans la section [A.4.4](#), au niveau européen, le rôle principal du GDR est de promouvoir les thématiques de MACS en coordination avec l'INS2I. Cette action se fera en apportant une expertise scientifique dans l'élaboration des programmes européens. Cette contribution doit s'articuler à travers les Groupes Miroir. Après avoir été formé, le correspondant Europe se tiendra à disposition pour répondre aux sollicitations de l'INS2I, sur la base des prospectives générales élaborées par MACS mais aussi en faisant appel à l'ensemble des équipes membre du GdR.

## 2.11 Communication

Avant d'envisager de nouvelles actions en termes de communication, l'objectif principal de la période 2024-2028 sera de pérenniser/modeler/amender les différents éléments déployés lors de ces dernières années. Malgré tout, dans les axes d'améliorations possibles, sont envisagés :

- une meilleure corrélation/affichage avec les événements soutenus par le GDR ;
- une interface terrain plus pertinente tant vis-à-vis des jeunes que des industriels au travers de la mise en vitrine des actions du GDR MACS ;
- le traitement et la mise en visibilité de la cartographie permettant de créer du lien au sein de notre réseau ;
- un affichage sur le site web des graphiques de synthèse de la collection HAL.

# Bibliographie

- [1] G. Baggio, D.S. Bassett, and F. Pasqualetti. Data-driven control of complex networks. *Nature communications*, 12(1) :1429, 2021.
- [2] J. Berberich, J. Köhler, M.A. Müller, and F. Allgöwer. Data-driven model predictive control with stability and robustness guarantees. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 66(4) :1702–1717, 2020.
- [3] Ran Bhamra, Samir Dani, and Kevin Burnard. Resilience : the concept, a literature review and future directions. *International Journal of Production Research*, 49(18) :5375–5393, 2011.
- [4] D.A. Bristow, M. Tharayil, and A.G. Alleyne. A survey of iterative learning control. *IEEE Control Systems Magazine*, 26(3) :96–114, 2006.
- [5] T. Chen. On kernel design for regularized lti system identification. *Automatica*, 90 :109–122, 2018.
- [6] Chiara Cimino, Elisa Negri, and Luca Fumagalli. Review of digital twin applications in manufacturing. *Computers in Industry*, 113 :103130, 2019.
- [7] J. Coulson, J. Lygeros, and F. Dörfler. Data-enabled predictive control : In the shallows of the DeePC. In *European Control Conference, Naples, Italy*, pages 307–312, 2019.
- [8] M. Fliess and C. Join. Model-free control. *International Journal of Control*, 86(12) :2228–2252, 2013.
- [9] D. Gramlich, C. Ebenbauer, and C.W. Scherer. Synthesis of accelerated gradient algorithms for optimization and saddle point problems using lyapunov functions. *Systems & Control Letters*, 165, 2022.
- [10] M. Guo, C. De Persis, and P. Tesi. Data-driven stabilization of nonlinear polynomial systems with noisy data. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 67(8) :4210–4217, 2021.
- [11] Young-Chae Hong and Jing Chen. Graph Database to Enhance Supply Chain Resilience for Industry 4.0 . In *International Journal of Information Systems and Supply Chain Management*, 15(1) :1–19, November 2021.
- [12] P.A. Ioannou and J. Sun. *Robust Adaptive Control*. Prentice-Hall, New Jersey, 1996.
- [13] Dmitry Ivanov and Alexandre Dolgui. A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0. *Production Planning & Control*, 32(9) :775–788, July 2021.
- [14] R. Kennedy and P. Sadeghi. *Hilbert space methods in signal processing*. Cambridge University Press, 2013.
- [15] L. Lessard, B. Recht, and A. Packard. Analysis and design of optimization algorithms via integral quadratic constraints. *SIAM Journal on Optimization*, 26(1) :57–95, 2016.
- [16] Dilupa Nakandala, Richard Yang, Henry Lau, and Samantha Weerabahu. Industry 4.0 technology capabilities, resilience and incremental innovation in Australian manufacturing firms : a serial mediation model. *Supply Chain Management : An International Journal*, 28(4) :760–772, April 2023.
- [17] C. De Persis and P. Tesi. Formulas for data-driven control : Stabilization, optimality, and robustness. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 65(3) :909–924, 2019.
- [18] G. Pillonetto, T. Chen, A. Chiuso, G. De Nicolao, and L. Ljung. *Regularized System Identification – Learning Dynamic Models from Data*. Springer, 2022.
- [19] Concetta Semeraro, Mario Lezoche, Hervé Panetto, and Michele Dassisti. Digital twin paradigm : A systematic literature review. *Computers in Industry*, 130 :103469, 2021.
- [20] A. Sundararajan, B. Van Scoy, and L. Lessard. Analysis and design of first-order distributed optimization algorithms over time-varying graphs. *IEEE Transactions on Control of Network Systems*, 1(1), 2020.

- [21] Y. Tan, W.H. Moase, C. Manzie, D. Nešić, and I.M.Y. Mareels. Extremum seeking from 1922 to 2010. In *Proceedings of the 29th Chinese control conference*, pages 14–26, 2010.
- [22] Guilherme Tortorella, Flavio S. Fogliatto, Shang Gao, and Toong-Khuan Chan. Contributions of Industry 4.0 to supply chain resilience. *The International Journal of Logistics Management*, 33(2) :547–566, April 2022.
- [23] H.J. Van Waarde, J. Eising, H.L. Trentelman, and M.K. Camlibel. Data informativity : a new perspective on data-driven analysis and control. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 65(11) :4753–4768, 2020.
- [24] J.C. Willems, P. Rapisarda, I. Markovsky, and B.L.M. De Moor. A note on persistency of excitation. *Systems & Control Letters*, 54(4) :325–329, 2005.
- [25] Xiaochen Zheng, Jinzhi Lu, and Dimitris Kiritsis. The emergence of cognitive digital twin : vision, challenges and opportunities. *International Journal of Production Research*, 60(24) :7610–7632, 2022.

# Annexe A

## Compléments

### A.1 Mots-clés MACS

#### A.1.1 Mots-clés relatifs aux processus

Toutes les équipes membres sauf une ont renseigné des mots-clés parmi les 58 de cet axe thématique. En moyenne les équipes ont renseigné 17 mots-clés dans cette catégorie, avec un maximum de 33 mots-clés sélectionnés par une seule équipe. Tous les mots-clés ont été sélectionnés avec un minimum de 3 occurrences et un maximum de 35 occurrences. Nous mentionnons ci-dessous les mots-clés de chaque sous-catégorie ayant été le plus sélectionnés.

- 85% des équipes ont renseigné des mots-clés relatifs aux types de dynamiques considérées (35 temps continu, 31 temps discret, 26 hybride).
- 67% se sont positionnées sur l'étude des systèmes non-linéaires (19 traites de non-linéarités génériques, et le même nombre ont mentionné des non-linéarités isolées).
- 46% abordent l'étude de systèmes de dimension infinie (19 considèrent des EDP en général, 16 les retards en particulier).
- 42% ont renseigné des mots-clés relatifs aux Graphes (15 disent explicitement utiliser les Graphes pour représenter les systèmes étudiés, 10 utilisent des Réseaux de Petri).
- 75% considèrent des processus affectés par des variations paramétriques et des incertitudes (26 mentionnent des incertitudes, 17 des paramètres variants, 14 les approches par intervalles, 14 avec des représentations polytopiques).
- 54% des équipes ont recours à des représentations stochastiques (20 stochastiques, 13 probabilistes, 11 chaînes de Markov).
- 79% des équipes mentionnent d'autres types de complexités (23 multi-agents, 20 systèmes en réseau, 19 systèmes de systèmes, 16 hétérogènes, 14 multi-physique).
- 58% des équipes ont des approches sans modèles mathématique préétabli (22 à base de connaissances, 20 à base de données).
- 71% des équipes complètent leurs mots-clés avec des caractéristiques mathématiques (26 états continus, 19 états discrets, 13 événements discrets).
- 90% des équipes se positionnent comme ayant des objets de recherche (31 systèmes cyber-physiques, 26 industrie du futur, 22 en lien avec l'humain, 17 robotique, 16 production et stockage de l'énergie, 16 production de biens et de services).

#### Liste des mots-clés relatifs aux processus

**Type de dynamiques** A commutation; Échantillonnage; Hybride; Temporisées; Temps continu; Temps discret.

**Non-linéarités** Contraintes; Génériques, quelconques; Non-linéarités isolées (saturation, backlash, zone morte, etc.); Polynomiales; Trigonométriques.

**Dimension infinie** Équations aux dérivées partielles; Fractionnaire; Hamiltonien à ports; Paramètres distribués; Retards.

**Graphes** Bond-Graph; Files d'attente; Graphes; Représentations graphiques; Réseau de Petri.

**Paramètres et incertitudes** Aléas; Flou - Takagi-Sugeno; Incertitudes; Intervalle; LFT (transformée linéaire-fractionnaire); Paramètres variants; Polytopique.

**Caractéristiques stochastique** Chaines de Markov; Probabiliste; Réseaux Bayésiens; Stochastique.

**Autres complexités** En réseau / Interconnectés; Hétérogènes; Multi-agents; Multi-dimensionnel (nD); Multi-physique; Systèmes de systèmes.

**Données / Connaissances** Basé sur les connaissances / Comportements; Sans modèle - basé sur les données.

**Caractéristiques Mathématiques** (max,+); Algébrique; Descripteurs; États continus; États discrets; Événements discrets; Positifs; Singulièrement perturbés.

**Objets de recherche** Cyber-physique - Mécatronique; En lien avec l'humain (interactions humain-système, humain-machine, socio-technique, etc.); Entreprise (architecture d'entreprise, processus d'entreprise, systèmes d'information, systèmes organisationnels, etc.); Industrie du futur, Industrie 4.0, etc.; Logistique; Processus d'innovation, conception, R&D; Production et stockage de l'énergie; Réseaux; Robotique; Systèmes de production de biens et de services.

### A.1.2 Mots-clés relatifs aux systèmes de décision

Toutes les équipes membres sauf deux ont renseigné des mots-clés parmi les 33 de cet axe thématique. En moyenne les équipes ont renseigné 12 mots-clés dans cette catégorie, avec un maximum de 28 mots-clés sélectionnés par une seule équipe. Tous les mots-clés ont été sélectionnés avec un minimum de 4 occurrences et un maximum de 32 occurrences. Nous mentionnons ci-dessous les mots-clés de chaque sous-catégorie ayant été le plus sélectionnés.

- 81% des équipes ont renseigné des mots-clés relatifs à "Contrôle, pré-commande, Raisonnement déductif" (25 aide à la décision, 21 contrôle optimal, 19 pilotage, 16 planification).
- 83% se sont positionnées sur "traitement des mesures, Raisonnement abductif" (28 observation, 26 estimation, 24 diagnostic, 22 identification, 22 détection de fautes, 19 évaluation de performance).
- 90% abordent l'étude de la boucle fermée, "de la mesure à la décision" (32 commande, 19 Model Predictive Control, 17 sûreté de fonctionnement).
- 83% donnent des précisions quant à la nature des lois de décision (31 optimisation, 24 apprentissage, 22 hybride, 20 distribué, 16 adaptatif, 15 réseaux de neurones).

#### Liste des mots-clés relatifs aux systèmes de décision

**Contrôle - pré-commande - Raisonnement déductif** Aide à la décision; Allocation; Architecture système; Contrôle optimal; Ordonnancement; Pilotage; Placement d'actionneurs / capteurs; Planification.

**Traitement des mesures - Raisonnement abductif** Détection de fautes, défauts, anomalies; Diagnostic; Estimation; Évaluation de performance; Filtrage; Identification; Observation.

**Boucle fermée - De la mesure à la décision** Commande; Gestion des connaissances, risques, etc.; Maintenance; Model Predictive Control; Pronostic; Sûreté de fonctionnement.

**Type de loi de décision** Adaptatif - à paramètres variants; Apprentissage; Asynchrone; Distribué - décentralisé; En réseau / Interconnectés; Événementiel - A commutation; Hiérarchique; Hybride; Modes glissants; Optimisation; Quantifié; Réseaux de neurones.



### A.1.3 Mots-clés relatifs aux propriétés de l'interaction entre processus et système de décision

Toutes les équipes membres sauf deux ont renseigné des mots-clés parmi les 36 de cet axe thématique. En moyenne les équipes ont renseigné 10 mots-clés dans cette catégorie, avec un maximum de 26 mots-clés sélectionnés par une seule équipe. Tous les mots-clés ont été sélectionnés avec un minimum de 2 occurrences et un maximum de 31 occurrences. Nous mentionnons ci-dessous les mots-clés de chaque sous-catégorie ayant été le plus sélectionnés.

- 62% des équipes ont renseigné des mots-clés relatifs à "Stabilités" (28 stabilité, 16 poursuite, 15 performances dynamiques).
- 79% se sont positionnées sur "Robustesses" (31 robustesse, 18 sûreté de fonctionnement, 18 tolérance aux fautes, 16 rejet de perturbation).
- 64% étudient des propriétés structurelles (22 observabilité, 20 contrôlabilité, 9 détectabilité, 15 identifiabilité).
- 81% indiquent d'autres indicateurs de qualité (19 optimalité, 18 énergie, 18 écologie etc. , 15 validation).

#### Liste des mots-clés relatifs aux propriétés

**Stabilités** Consensus - synchronisation ; Ensembles invariants ; Performances dynamiques, amortissement, temps de réponse etc. ; Poursuite ; Précision ; Stabilité ; Stationnarité ; Temps fini - Temps contraint.

**Robustesses** Fiabilité ; Rejet de perturbations ; Résilience ; Robustesse ; Sûreté - Sûreté de fonctionnement ; Tolérance aux fautes / défauts / attaques.

**Propriétés structurelles** Contrôlabilité ; Détectabilité ; Diagnosticabilité ; Identifiabilité ; Observabilité ; Parcimonie ; Platitude ; Reconfigurabilité ; Stabilité structurelle ; Viabilité.

**Indicateurs de qualité** Certification ; Coordination - Auto-organisation - Reconfiguration ; Coût de calcul - Temps-réel ; Décentralisation - Parcimonie ; Écologie - Durabilité - Cycle de vie - Impact environnemental - Soutenabilité ; Énergie ; Flexibilité - Agilité - Réactivité ; Impact socio-économique ; Optimalité ; Place de l'humain - Éthique ; Satisfaction de contraintes - Évitement de collision ; Validation - Évaluation.

### A.1.4 Mots-clés relatifs aux méthodes

Toutes les équipes membres sauf une ont renseigné des mots-clés parmi les 51 de cet axe thématique. En moyenne les équipes ont renseigné 14 mots-clés dans cette catégorie, avec un maximum de 40 mots-clés sélectionnés par une seule équipe. Tous les mots-clés ont été sélectionnés avec un minimum de 3 occurrences et un maximum de 28 occurrences. Nous mentionnons ci-dessous les mots-clés de chaque sous-catégorie ayant été le plus sélectionnés.

- 60% des équipes développent des résultats ayant trait à la théorie de la commande (28 Lyapunov, 16 Kalman, 15 dissipativité, 15 H-infini etc.).
- 81% contribuent ou font appel à des méthodes d'optimisation (27 optimisation convexe, 24 multi-objectif, 16 heuristiques, 16 optimisation non-linéaire, 15 recherche opérationnelle).
- 60% se positionnent sur des méthodes d'intelligence artificielle (19 IA, 19 machine learning, 15 réseaux de neurones).
- 54% font appel à de l'ingénierie (23 à base de connaissances, 22 à base de données).
- 77% sont contributeurs en méthodes de modélisation (21 ingénierie dirigée par des modèles, 18 multi-agents, 15 graphes).
- 63% font appel à la simulation (20 jumeaux numériques, 11 couplé à l'optimisation, 12 temps réel).
- 38% oeuvrent avec des approches de type stochastique (13 processus de Markov, 9 statistiques, 7 calcul probabiliste).
- 54% mentionnent d'autres méthodes issues de mathématiques (15 géométriques, 3 algébriques, 12 formelles, 11 ensemblistes).

## Liste des mots-clés relatifs aux méthodes

**Théorie de la commande** Analyse modale ; Dissipativité, passivité ; H-infini, mu-analyse, IQC ; Itératives (Backstepping, Forwarding, etc.) ; Kalman ; Loop-shaping ; Lyapunov ; Platitude.

**Optimisation** Algorithmes génétiques ; Heuristiques - méta-heuristiques ; Hybride ; Multi-objectif - Multi-critères ; Optimisation convexe - LMI - programmation linéaire ; Optimisation non-linéaire ; Recherche Opérationnelle - Prog. dynamique - Prog. mathématique - Prog. linéaire en nombres entiers ; Théorie des jeux.

**Apprentissage et IA** Apprentissage profond ; Intelligence artificielle ; Machine Learning ; Regroupement / clustering ; Réseaux de neurones.

**Ingénierie** A base de connaissances ; A base de données ; Exploration de données.

**Modélisation** Discrétisation - éléments finis ; Flou et Incertitudes ; Graphes ; Ingénierie dirigées par les modèles ; Multi-agents ; Multi-échelle - global/local ; Ontologies - Connaissances ; Réduction de modèle ; Stochastique - Probabiliste.

**Simulation** Couplée à de l'optimisation ; Immersive - réalité virtuelle ; Jumeau numérique ; Stochastique ; Temps-réel.

**Méthodes stochastiques** Approche Bayésienne ; Calcul probabiliste ; Inférence statistique ; Processus Markoviens ; Statistique ; Théorie des possibilités.

**Méthodes Mathématiques** Algébriques ; Ensemblistes ; Formelles ; Fréquentielles ; Géométriques ; Graphiques ; Topologiques.

### A.1.5 Mots-clés relatifs aux outils numériques, codes et logiciels

Toutes les équipes membres sauf quatre ont renseigné des mots-clés parmi les 20 de cet axe thématique. En moyenne les équipes ont renseigné 5 mots-clés dans cette catégorie, avec un maximum de 10 mots-clés sélectionnés par une seule équipe. Tous les mots-clés ont été sélectionnés avec un minimum de 3 occurrences et un maximum de 36 occurrences. Nous mentionnons ci-dessous les mots-clés de chaque sous-catégorie ayant été le plus sélectionnés.

- 85% des équipes ont pris le soin de signaler un ou plusieurs environnement de programmation (36 Matlab, 34 Python, 21 C/C++, 15 environnements de simulation).
- 63% ont spécifié le type de production de codes ou logiciels (15 codes associés à des articles, 11 logiciels libres, 11 toolbox académique).

### Liste des mots-clés relatifs aux outils numériques

**Logiciels/Langages utilisés** C, C++ ; Cplex ; De simulation ; Java ; Julia ; Maple ; Mathematica ; Matlab ; Python ; ROS ; Scilab.

**Production logicielle** Bases de données / Partages de données ; Benchmarks ; Codes associée à des articles ; Codes dédiés ; Logiciels libres ; Logiciels sous licence ; Simulateurs ; Toolbox académique ; Web application.

### A.1.6 Mots-clés relatifs aux domaines d'application et d'interaction

Toutes les équipes membres sauf quatre ont renseigné des mots-clés parmi les 37 de cet axe thématique. En moyenne les équipes ont renseigné 10 mots-clés dans cette catégorie, avec un maximum de 21 mots-clés sélectionnés par une seule équipe. Tous les mots-clés ont été sélectionnés avec un minimum de 3 occurrences et un maximum de 29 occurrences. Nous mentionnons ci-dessous les mots-clés de chaque sous-catégorie ayant été le plus sélectionnés.

- 90% des équipes contribuent à des application par les interactions avec des industriels ou autres entreprises (29 énergie, 25 santé, 25 transport terrestre, 23 systèmes cyber-physiques, 22 fabrication industrielle, 19 aérospatiale, 18 environnement durable).
- 83% se positionnent comme développant des coopération interdisciplinaires (26 informatique, 26 mathématiques, 18 électronique, 13 médecine, 2 mécanique des fluides).
- 58% ont des contributions qui s'appliquent pour la robotique (16 drones, 15 véhicules et robotique mobile, 11 robotique industrielle).
- 54% mentionnent le développement de démonstrateurs (16 robotiques, 3 cyber-physiques, 13 simulateurs).

### Liste des mots-clés relatifs aux applications

**Secteurs industriels et économiques** Aéronautique et Spatial; Agriculture; Bâtiment; Énergie; Environnement, développement durable, économie circulaire; Gestion de projet; Industrie, fabrication, assemblage; Informatique et Télécoms; Logistique; Robotique industrielle, Systèmes cyber-physiques; Santé; Services, systèmes produits-services; Transport terrestre.

**Interactions scientifiques - Interdisciplinarité** Biologie; Économie; Éducation; Électronique, électrotechnique; Ergonomie, Psychologie; Génie des procédés - Chimie; Gestion, Sociologie et Ethnographie; Informatique; Mathématiques; Mécanique des fluides, du solide - Matériaux, etc.; Médecine; Neurosciences; Quantique; Sciences de l'environnement.

**Robotique** Cobots, robots compagnons; Drones, robotique aérienne, sous-marine; Robotique industrielle; Robotique médicale; Robotique souple, déformable; Véhicules, robotique mobile.

**Démonstrateurs hébergés ou conçus** Cyber-physiques; Mécaniques; Réalité virtuelle; Robotiques; Simulateurs.

## A.2 Compléments sur le positionnement de MACS

### A.2.1 MACS vis-à-vis des sections du Comité national

Dans cette partie nous positionnons les activités de MACS eu égard aux mots-clés des sections 06, 07 et 41 du comité national. Nous n'avons repris que les mots-clés qui ont un lien avec les activités de MACS et avons **mis en gras les mots-clés considérés comme principaux**, *mis en italique les mots-clés considérés comme importants pour les méthodologies de MACS* et maintenu en style standard ceux relatifs aux interactions.

**S06** - Sciences de l'information : fondements de l'informatique, calculs, algorithmes, représentations, exploitations

- Algorithmique et structures discrètes
  - complexité, *systèmes dynamiques*
- Calcul
  - Calcul formel
- Sciences de la programmation et du logiciel
  - Sécurité de fonctionnement, vérification de modèles
- Réseaux et systèmes distribués
  - analyse des réseaux filaires et sans fil
- Intelligence artificielle et sciences des données
  - *Gestion des données complexes : données (semi-)structurées, graphes, réseaux sociaux*
  - *Apprentissage automatique, fouille de données*
  - *Ingénierie des connaissances, web sémantique, recherche d'information*
  - *Représentation des connaissances, raisonnement*
- Recherche opérationnelle et science de la décision
  - *Optimisation discrète, programmation mathématique, satisfaction de contraintes*
  - *Ordonnancement, logistique*

- *Choix social computationnel, théorie algorithmique des jeux, systèmes multi-agents*

**S07** - Sciences de l'information : signaux, images, langues, **automatique**, robotique, interactions, systèmes intégrés matériel-logiciel

- **Automatique**
  - **Modélisation, identification, observation, commande, optimisation**
  - **Diagnostic, sûreté et sécurité des systèmes**
  - **Systèmes dynamiques dont les systèmes cyber-physiques, les systèmes en réseau et les systèmes multi-agents**
- Robotique
  - *Modélisation*
  - *Contrôle*
  - *Cognition, décision, autonomie*
  - *Interaction et coopération*
- Intelligence artificielle et sciences des données
  - *Apprentissage automatique et statistique*
  - *Optimisation*
  - *IA en interaction avec les signaux et les systèmes*
  - *Données : physiques, perceptuelles, multimodales, structurées, en grande dimension*
- Signal/Communication
  - Traitement et analyse des signaux : modèles, méthodes et applications
- Informatique graphique, réalité virtuelle
  - Réalité virtuelle, réalité augmentée
- Sciences de l'information en interaction
  - Sciences du vivant (biologie, santé, médecine)

**S41** - Mathématiques et interactions des mathématiques

- Systèmes dynamiques et équations différentielles ordinaires, équations aux dérivées partielles, modèles stochastiques
- *Théorie du contrôle et optimisation*

## A.2.2 MACS vis-à-vis des sections du CNU

### CNU27

- Systèmes d'information
  - fouille de données
  - *Ingénierie des SI, méthodes et modèles pour la conception, process, SI collaboratifs et répartis, SI spécifiques*
  - Interopérabilité, ontologies
- Algorithmique, recherche opérationnelle
  - *Planification, ordonnancement*
  - *Métaheuristique*
- Intelligence artificielle
  - *Apprentissage*
  - *Acquisition, représentation et ingénierie des connaissances, formalisation des raisonnements*
  - Théorie de la décision
  - Traitement automatique des langues et de la parole
  - Systèmes multi-agents
- Informatique industrielle
  - **Systèmes temps réel, contrôle de processus, cybernétique, modèles pour les systèmes à événements discrets, automate programmable industriel, supervision**
  - *Conception assistée par ordinateur, fabrication assistée par ordinateur, programmation de commande numérique, industrie 4.0*
- Modélisation-simulation pour les systèmes complexes (systèmes artificiels et naturels)
  - *Formalismes de modélisation*
  - *Simulation distribuée*
  - *Vérification, validation de modèles de simulation*

- *Transformations de modèles*
- *Couplages de modèles, interactions entre systèmes discrets*
- Sécurité
  - Sécurité des systèmes physiques, matériels

#### CNU60

- **Génie industriel et conception, Génie industriel, conception de produits et de systèmes, Eco-conception, Optimisation, Ingénierie de la conception et de la fabrication, Gestion du cycle de vie des produits, Intégration des connaissances technologiques, Innovation, Qualité, Fiabilité et Maîtrise des risques, Maintenance, Décision, Contrôle non destructif (CND), ...**

#### CNU61

- **Automatique : automatique continue, robotique, productique ;**
  - **modélisation,**
  - **observation,**
  - **commande de systèmes,**
  - **surveillance,**
  - **supervision,**
  - **perception,**
  - **systèmes Homme/Machine,**
  - **Systèmes à Évènements Discrets,**
  - **recherche opérationnelle,**
  - **planification,**
  - **ordonnancement,**
  - **sûreté de fonctionnement,**
  - **pronostic,**
  - **maintenance,**
  - **aide à la décision,**
  - **génie industriel**
- **Traitement du Signal : information, signal, image, vision ;**
  - *fusion,*
  - *classification,*
  - *diagnostic,*
  - *science des données et apprentissage statistique.*

### A.2.3 Conférences et Journaux

En complément du positionnement eu égard aux instances scientifiques nationales, cette section complète le positionnement de MACS par quelques listes de journaux et conférences internationales d'intérêt pour les chercheurs de MACS. Ces listes ont été élaborées au sein du comité de direction de MACS dans le but d'affiner le positionnement scientifique, sans exhaustivité. Elle correspondent à des revues ou conférences dans lesquels les chercheurs du domaine vont publier et chercher des nouvelles contributions. Aucun objectif de classement n'a été appliqué pour les constituer, ni en termes d'impact facteur ou autre indicateur chiffré, ni en autres termes de qualité. Nous les avons regroupés selon quelques catégories allant de ce qui constitue le coeur de MACS et en incluant des domaines en interaction.

TABLE A.1 – Automatique, Théorie de la commande

Reuves
IEEE Transactions on Automatic Control
IEEE Control Systems Magazine
IEEE Transactions on Control Systems Technology
IEEE Transactions on Control of Network Systems
IEEE Control Systems Letters
IEEE Transactions on Network Science and Engineering
IET Control Theory & Applications
IFAC Automatica
IFAC Control Engineering Practice
IFAC Annual Reviews in Control
IFAC Nonlinear Analysis : Hybrid Systems
IFAC Journal of Systems and Control
International Journal of Adaptive Control and Signal Processing
International Journal of Control
International Journal of Robust and Nonlinear Control
ISA Transactions European Journal of Control
Systems & Control Letters
Conférences
IFAC World Congress
IFAC : NOLCOS, ROCOND, NECSYS, LPVS, SYSID, SSSC, TDS, MICNON, SAFEPROCESS
ACC, MECC
European Control Conference
IEEE-CSS : CDC, CCTA, MED

TABLE A.2 – Génie Industriel

Revues
Applied Sciences CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology
CIRP Annals
Concurrent Engineering : Research and Applications
Computers in Industry
Entreprise Information Systems
Expert Systems with Applications
IISE Transactions
IEEE Transactions on Automation Science and Engineering
IEEE Transactions on Industry Applications
IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics : systems
IEEE Transactions on Industrial Informatics
IEEE Transactions on Reliability
IEEE Systems Journal
Information Sciences
International Journal of Computer Integrated Manufacturing
International Journal of Advanced Manufacturing Technology
International Journal of Information Technology and Decision Making
International Journal of Production Research
Journal of Cleaner Production
Journal of Industrial Information Integration
Journal of Intelligent Manufacturing
Journal of Manufacturing Systems
Journal of Risk and Reliability
Production Planning and Control
Reliability Engineering and System Safety
Robotics and Computer Integrated Manufacturing
Simulation Modelling Practice and Theory
Supply Chain Forum : An International Journal
Conférences
IFAC : WC, MIM, INCOM, IMS, A-MEST
IEEE : INDIN, ICPS, ETFA, SMC, IECON, SOHOMA
IFIP : APMS, PLM
CIRP : CMS, LCE
CIE, ICPR
CIGI, MOSIM
ESREL

TABLE A.3 – IA &amp; Machine learning

Revues
IFAC Engineering Applications of Artificial Intelligence
Applied Intelligence
Artificial Intelligence
Applied Artificial Intelligence
Advanced Engineering Informatics
Expert Systems
Journal of Intelligent Manufacturing JMLR
Knowledge-Based Systems
Conférences
Learning for Dynamics and Control
NeurIPS
ICLR

TABLE A.4 – Recherche opérationnelle

Revues
4OR
Computers and Industrial Engineering
Computers and Operations Research
European Journal of Operational Research
International Journal of Production Economics
Journal of Operations Management
Journal of Scheduling
Journal of Simulation
Management Science
Manufacturing and Service Operations Management
Omega
Operational Research (ORIJ)
Production and Operations Management
Conférences
EURO
ROADEF

TABLE A.5 – Mathématiques appliquées - Optimisation, Théorie du Contrôle, Proba/Stats

Revues
Applied Stochastic Models in Business and Industry
ESAIM : COCV
International Journal of Modeling, Simulation, and Scientific Computing
IEEE Transactions on Network Science and Engineering
Journal of Optimization Theory and Applications
Mathematics of Control, Signals, and Systems
Mathematics of Operations Research
SIAM Journal on Control and Optimization
SIAM Journal on Optimization
SIAM Review
Simulation - Transaction of the SCS
Simulation Practice and Theory
Conférences
MTNS
SIAM Conference on Control and Its Applications

TABLE A.6 – Domaines applicatifs

Revues
Health Care Management Science
IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics
IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems
IEEE Transactions on Intelligent Vehicles
IFAC Mechatronics
Operations Research on Health Care
Transportation
Transportation research Part (B, C, E)
Conférences
IEEE EMBS-BHI
IFAC : SYROCO, MECHATRONICS, ADCHEM, AAC, ACA, CTS, IAV, BMS, DYCOPS
GISEH



## A.3 Dépôt d'une proposition d'Action

Le formulaire comprend les éléments suivants. Ceux avec un astérisque \* sont obligatoires. Le formulaire sert à la fois pour le dépôt d'une action mais aussi, une fois approuvée, pour son affichage sur la page [gdr-macs.cnrs.fr/actions](http://gdr-macs.cnrs.fr/actions). Les porteurs d'actions peuvent mettre à jour le formulaire au cours de l'évolution de l'action. Les champs marqués d'un losange ◊ sont affichés sur le site web. Ceux qui ne sont pas affichés sont utilisés exclusivement dans la phase préalable au lancement de l'action.

- \*◊ Titre
- \* Durée (1, 1.5 ou 2 ans)
- \* Initiateur, i.e. celui qui remplit le formulaire
- ◊ Porteurs
- ◊ Date début
- ◊ Type d'action parmi
  - cartographie (de compétences, de bonnes pratiques, de ressources techniques/plateformes, de sources d'informations, etc.)
  - veille, état de l'art et prospective scientifique (à court, moyen, long terme)
  - création et animation d'une communauté scientifique (autour d'un thème scientifique...)
  - structuration et coordination scientifique (auprès de sociétés savantes, relation avec d'autres organismes...)
- ◊ Justification de l'action : contexte, enjeux scientifiques/sociétaux. Si l'action revêt un caractère scientifique, un sujet scientifique doit être défini. Le sujet peut être indifféremment très focalisé (sur un modèle, un outil, un verrou, une application, une interaction entre deux domaines scientifiques complémentaires), ou au contraire, très large (impact sur le plus grand nombre, questionnements sociétaux... ). Une vision pluridisciplinaire du sujet est encouragée, mais elle n'est pas obligatoire. Si le sujet présente une dimension exclusivement mono disciplinaire, les porteurs considéreront les aspects applicatifs et les enjeux sociétaux (impact sur la société).
  - ◊ Références bibliographiques
  - ◊ Objectifs (facteurs de succès, résultats escomptés)
  - ◊ Participants confirmés
- Participants pressentis
- Animation de l'action : fonctionnement, réunions, intervenants, participants ciblés, si l'animation est majoritairement sous la forme de réunions présentes ou par visio-conférence. Le(s) porteur(s) peut(vent) également inviter de manière ponctuelle ou régulière d'autres personnes, membres du GDR ou non (industriels, représentants de la société civile, membres d'autres communautés académiques, etc.), notamment lorsque l'action est de nature pluridisciplinaire.
- Type de livrable parmi
  - Ouvrage pédagogique, formation, guide, MOOC
  - Organisation workshop
  - Montage d'un projet scientifique
  - Ouvrage/article de synthèse publié
  - Livre blanc, synthèse bibliographique
  - Site web
  - Autre
- Description livrable(s)
- Budget demandé
- Justification du budget
- Cible de diffusion au sein de la communauté MACS (comité de direction, sous-communauté, ensemble de MACS...)
- Communication, si projets de communication au delà du GdR MACS
  - ◊ Site web dédié à l'Action
  - ◊ Évolution (descriptif des activités mis à jour de l'avancée de l'action)

## A.4 Activités de prospective en 2021-2023

### A.4.1 Groupes de réflexion - MACS et l'IA

#### Synthèse de l'enquête GDR MACS et IA : Cartographie des techniques utilisées, des domaines et objets de recherche concernés

Le Comité de Direction a mis en place un groupe de travail pour mener une enquête sur l'utilisation des techniques d'Intelligence Artificielle (IA) par les chercheurs du GDR MACS. Ce groupe, animé par Eric Bonjour et Laurent Geneste, était composé de Damien Trentesaux, Vincent Cheutet, Bernard Grabot, Samir Lamouri et Olivier Cardin. Les résultats de cette enquête ont été publiés sur le site du GDR MACS en janvier 2022 (<https://hal.science/hal-04004385>).

Le groupe a élaboré une liste des domaines et une liste des objets de recherche étudiés. Il a distingué 4 grandes classes de techniques d'IA (Approches type Recherche Opérationnelle (RO) ; Approches modélisation des connaissances et raisonnement ; Approches données ; Transversal) dans lesquelles 20 techniques d'IA identifiées ont été classées. Il a ensuite construit un outil web pour supporter un questionnaire, qui a été diffusé aux membres du GDR MACS en juin 2022.

139 personnes ont répondu à cette enquête, en majorité des maîtres de conférences et professeurs (92). Les répondants avaient une activité de recherche de plus de 5 ans (117) mais ont une expérience en IA de moins de 5 ans (63) ou sont sans expérience (22).

Les domaines de recherche concernés sont bien représentatifs des domaines couverts par le GDR MACS avec pour moitié des répondants (73 /139), l'automatique (commande et pilotage, estimation et observation) et pour l'autre moitié, le génie industriel (ingénierie dirigée par les modèles, RO et aide à la décision, ingénierie des connaissances et sciences des données, maintenance, planification...).

Au niveau des objets de recherche, le groupe de travail a noté une prédominance de la "robotique, cobotique, mécatronique" et de la "conception" avec une forte présence de thèmes plus récents comme l'"IoT, systèmes cyber-physiques" ou les "Jumeaux numériques" ou de thèmes en lien avec des transitions sociétales majeures, comme les transports, l'énergie, le développement durable et la santé.

En ce qui concerne l'utilisation des techniques d'IA, 3 niveaux ont été distingués : utilisateur ; contributeur ; intéressé. Il ressort une prédominance de l'"apprentissage automatique (machine learning)" (57 ; 25 ; 38) et des "approches heuristiques" (28 ; 14 ; 14) avec un intérêt marqué pour les "Systèmes Multi-Agents" (9 ; 9 ; 20), et ce, de façon transversale aux domaines de recherche (en automatique et en génie industriel). Des contributions soutenues (>12) sur les "techniques à base de logique" et sur les "connaissances incertaines" ont été relevées. Un intérêt particulier (>15) ressort aussi sur l'"interaction humains-IA" et sur la "validation, explication, confiance" dans l'IA.

Environ 20% des répondants ont une contribution en "Apprentissage automatique", principalement des chercheurs confirmés (de plus de 10 ans d'expérience). Les contributions sont plutôt réparties en fonction de l'expérience en IA, avec une dominance pour les chercheurs ayant plus de 5 ans d'expérience en IA.

Ensuite, des clusters ont été recherchés sur les domaines à partir des réponses obtenues. Fort logiquement, les domaines "Commande, pilotage + Estimation, observation" (27 répondants), "Analyse des systèmes, simulation, vérification, preuve" (38) et "Identification" (41) ont montré leur proximité : on retrouve ici les domaines classiques de l'Automatique. De la même façon, les domaines "Ingénierie des connaissances et sciences des données", "Modélisation, ingénierie dirigée par les modèles", "Systèmes d'information" et "Analyse des systèmes, simulation, vérification, preuve" ont montré leur proximité (23 répondants). A noter que le domaine "analyse des systèmes, simulation, vérification, preuve" est transversal à ces deux clusters. Un autre cluster relatif à l'utilisation des techniques de "RO et aide à la décision" en "Planification et Ordonnancement" a été identifié (10 répondants). Enfin, contrairement à ce que l'on aurait pu supposer, les domaines "Diagnostic, détection de fautes" et "Maintenance, pronostic" n'ont pas fait apparaître de proximité forte (seulement 5 répondants).

### A.4.2 Contribution pour les prospectives du CNRS

Dans le cadre de la préparation du document d'évaluation du CNRS menée par le Hcéres, les GdR de l'INS2I ont été sollicités le 19 avril pour produire des contributions pour le 27 mai. Plus précisément la sollicitation était formulée comme suit :

*En lien avec l'évaluation du CNRS qui aura lieu en 2023 et la préparation du futur contrat d'objectif*

et de performance 2024-2028 de l'organisme, nous vous sollicitons pour recenser les éléments qui vous semblent importants à faire apparaître dans une prospective à l'horizon 2024-2028 (évolutions du domaine, nouvelles thématiques, domaines prioritaires, enjeux majeurs), à la fois pour l'INS2I, mais plus généralement pour le CNRS. L'idée n'est pas à ce stade de rédiger des documents complets, mais plutôt de faire des propositions courtes, où chaque proposition ainsi que sa pertinence dans ce cadre sont étayées par quelques lignes. Le document demandé doit faire moins de deux pages et adresser (si pertinents) les items suivants. Le document comportera typiquement au plus une douzaine de propositions.

\* Y a-t-il eu des évolutions significatives de votre domaine (couvert par votre GDR) au cours des 5 dernières années ?

\* Quelles thématiques (actuelles et futures) au sein de votre domaine vous paraissent prioritaires pour 2024-2028 ?

\* Y a-t-il des nouvelles thématiques émergentes à soutenir pour 2024-2028 ?

\* Quelles problématiques venant d'autres disciplines génèrent de nouveaux verrous scientifiques dans votre domaine ?

\* Quels sont les grands enjeux sociétaux sur lesquels vos thématiques peuvent jouer un rôle dans la période 2024-2028 ?

En se basant sur les actions MACS en cours à cette période, le comité de direction de MACS a proposé 3 orientations prospectives.

### **Les sciences de l'information au service de la santé - de l'analyse de données à la régulation**

Il est établi que les sciences de l'information ont des contributions majeures sur des questions de santé, en particulier dans le cadre de l'analyse de données médicales par exemple pour les neurosciences ou de l'assistance robotisée en chirurgie. Ces résultats ouvrent dorénavant la voie à de nouvelles études dans lesquelles les processus seraient abordés en tant que systèmes dynamiques en interaction entre eux et avec leur environnement. Dans ce cadre, les méthodes issues de l'Automatique (identification des modèles dynamiques, réduction de modèles et modèles incertains, détection de phénomènes anormaux, observation d'états non mesurables, régulation robuste) commencent à fournir des résultats préliminaires avec un très fort potentiel. Un travail de recensement des résultats existants est en cours ([gdr-macs.cnrs.fr/node/3717](http://gdr-macs.cnrs.fr/node/3717)) et liste des réussites pour la régulation du diabète (pancréas artificiel), en anesthésie, en traitement des cancers, en simulation cérébrale pour le contrôle de la maladie de Parkinson, en surveillance et affaiblissement des épidémies, pour la prise de décisions au niveau du système hospitalier dans sa globalité (organisation complexe à la fois humaine, technique, médicale, réglementaire et financière)... Ces travaux montrent en outre que les enjeux scientifiques ne sont pas de simples transpositions au corps humain de techniques utilisées pour la conduite des machines. Les résultats scientifiques attendus relèvent aussi d'avancées fondamentales pour l'analyse et la conduite des systèmes dynamiques en général.

### **Méthodes pour les nouveaux enjeux industriels - résilience, soutenabilité, obsolescence**

L'organisation du travail en entreprise est le fruit de réflexions sur l'organisation sociale, humaine mais aussi le fruit de raisonnements issus de domaines techniques voire mathématiques. La recherche opérationnelle propose une mathématisation sous la forme de problèmes d'optimisation sous contrainte pour le domaine de la logistique. L'ordonnancement et la conduite des chaînes d'assemblage repose sur des modèles sous forme de graphes à états discrets et probabilistes. L'organisation de la production de biens et de services font appel à des techniques d'intelligence artificielle. Les outils méthodologiques établis répondent de façon plus ou moins parfaite aux questions de minimisation des coûts ou de maximisation des profits. Ils doivent être revus et révisés face aux enjeux actuels que sont la résilience en particulier vis-à-vis de situations critiques, de soutenabilité en situation de dégradation écologique globale, et en lien avec cela face à l'obsolescence (programmée ou pas) des biens et services. Ils doivent également être revus en tenant compte des nouvelles exigences sociétales autour de la place de l'humain dans ces systèmes. Ces enjeux et d'autres nécessitent de repenser les méthodes permettant de modéliser puis de piloter les processus socio-techniques impliqués dans les structures de production.

**Modèles pour dompter la complexité** La compréhension, et par là même la modélisation, des phénomènes physiques, techniques et sociaux progresse, permettant leur étude à différentes échelles. Par contre, l'étude de ces phénomènes imbriqués, corrélés, en réseau, incluant de nombreuses boucles de d'action et de rétroaction reste largement hors de portée. L'enjeu est en partie dans les capacités à considérer des modélisations hétérogènes de grande taille, combinant des complications diverses, alors même que l'étude de chacune de ces complications est déjà un sujet en soi. Parmi les pistes pour y

répondre on trouve l'idée des jumeaux numériques. Profitant des capacités de calcul en croissance, l'idée est de construire un simulateur complet de tous les composants d'un système complexe synchronisé avec un ensemble de données en temps-réel permettant de projeter son comportement dans un futur proche. De tels jumeaux existent pour des avions où un double numérique, régulièrement synchronisé avec les mesures faites sur son jumeau physique, permet d'anticiper les pannes et de prévoir au mieux la maintenance. Siemens aurait envisagé récemment d'étendre cette idée à l'échelle d'une usine complète. D'autres l'envisagent pour le suivi de santé sur un corps humain. Mais, même en simulation, les questions de la taille des modèles complets et des temps de calcul s'avèrent limitantes. Les travaux sur la réduction des modèles et données dans un contexte de big data, d'apprentissage de modèles compacts suffisamment représentatifs, la modélisation hiérarchique pour séparer les différents usages des modèles (connaître l'état du système, prendre des décisions, réguler) permettront progressivement de dompter la complexité que ce soit en simulation avec un temps de réaction maîtrisé, mais aussi pour l'analyse qualitative des dynamiques et la conception de paramètres de contrôle.

### A.4.3 Prospectives Interdisciplinaires

Ce qui vient a été produit le 2 mai 2022 à la demande de l'INS2I concernant des prospectives interdisciplinaires

**Une partie de l'interdisciplinarité de MACS se fait sur les méthodes et outils théoriques.** Cette forme d'interdisciplinarité nécessite rarement le montage de projets de dimensions conséquentes, en tous les cas rarement au delà du binôme INS2I-INSMI. MACS envisage de les mener en coopération avec les GdR de l'INS2I (voir par exemple la prospective de coopérations avec ISIS mentionnée ci-dessus). Des coopérations prospectives sont également en cours de mise en route avec les mathématiques appliquées par le biais "d'Actions MACS" sur les thématiques du Contrôle Optimal, d'une part, et sur le Contrôle des Equations aux dérivées partielles, de l'autre.

**L'autre part de l'interdisciplinarité relève de l'incorporation d'outils et de méthodes développées au sein de MACS dans des projets** visant à analyser des systèmes dynamiques complexes dans l'idée de les piloter ou les contrôler. Un exemple de ce type de coopération est dans le domaine du contrôle actif des écoulements de fluides qui peuvent réduire la traînée derrière des véhicules ou maîtriser la portance sur les pales d'éoliennes. D'autres exemples de ce type de se trouvent en génie des procédés, en électrotechnique, en anesthésie, etc. Ces coopérations ne sont pour autant pas des prestations de services avec des outils sur étagère, mais ouvrent en retour des questions théoriques nouvelles pour MACS. Cependant, dans ces exemples, les porteurs des projets sont rarement les collègues de MACS, d'où sans doute le peu de retours que j'ai eu aux sollicitations pour proposer des projets interdisciplinaires. Par contre, il est important que les contributions des collègues INS2I aux projets, contributions souvent rangées dans la rubrique un peu trop générique de l'Intelligence artificielle ou du développement d'algorithmes intelligents, soient pleinement reconnues. En cela, les appels à projet pourraient utilement demander une description des verrous scientifiques relevant des sciences de l'information. L'appel [miti.cnrs.fr/appel-projet/sciences-pour-lia-lia-pour-les-sciences/](https://miti.cnrs.fr/appel-projet/sciences-pour-lia-lia-pour-les-sciences/) est en ce sens bien écrit. Un bémol cependant : il tend à résumer l'IA à l'apprentissage (extraire des informations des données) mettant de côté les questions telles que - la prise automatisée ou aidée de décisions à base d'informations - la prise de décisions et le contrôle à base de données Ou bien devrions-nous envisager un appel similaire avec ces mots-clés là ?

**Proposition de programme interdisciplinaire sur la thématique du risque.** La thématique du risque et de la résilience peut ouvrir des opportunités de développement interdisciplinaires, et offrir un beau terrain de jeu aux automaticiens au sens large. Cette thématique peut concerner différents instituts du CNRS (INS2I, INSU, INSIS, INSHS, INSMI, ...). Cette interdisciplinarité est à la base des Sciences des Risques développées dans le projet de PEPR exploratoire IRiMa « Integrated Risks Management for more resilient societies at the global changes era » (annonce officielle en attente) et les automaticiens ont un rôle important à jouer en particulier dans l'Axe2 de IRiMA "Axis 2 : data, quantitative models and algorithms for risks analysis and decision-making support » qui comporte les challenges suivants : Challenge 1. Data quality management issues and model reduction. Challenge 2. Improve multiscale and multi-physics modelling, incl. social stakes and economics, specifically adapted to the wide range of spatial (local to global) and temporal (from past to future horizons accounting for global change) scales, cascading effects, etc, Challenge 3. Multidimensional risk metrics and decision-making issues

#### A.4.4 Correspondant Europe

Dans sa configuration d'origine, le CODIR du GDR prévoyait un responsable des activités internationales. Cependant, nous avons réalisé au fil du temps que les activités internationales ne sont pas une priorité pour le GDR (même si bien sûr notre communauté a un rôle et une ambition internationale importants). En 2022, l'institut INS2I a demandé à tous les GDR d'identifier un correspondant Europe, avec des objectifs multiples : favoriser les activités des membres du GDR vers les appels européens ; communiquer avec l'INS2I toute difficulté des membres du GDR dans ce contexte ; et surtout apporter à l'INS2I une expertise disciplinaire sur les problématiques scientifiques propres au GDR. Cette expertise est destinée à orienter les initiatives de l'institut vers la Commission Européenne dans les phases d'élaboration des futurs programmes.

Le correspondant Europe a participé à deux journées thématiques organisées par l'INS2I sur les programmes européens en cours, et sur les forces et faiblesses vécues par les chercheurs de l'institut.

### A.5 Actions MACS

Les textes qui suivent ont été rédigés en janvier-février 2023 par les porteurs des actions MACS. Ce sont pour certains des bilans de clôture des actions et souvent des bilans alors que l'action est en cours.

#### A.5.1 Amélioration de la résilience des systèmes complexes dans un contexte de perturbations

**Porteurs** Sondes Chaabane, Lamia Berrah, Virginie Goepf

**Objectifs de l'action** Nous avons présenté notre action lors d'un séminaire du 01/07/2021 du comité technique IMS2 et nous l'avons lancé officiellement lors d'un webinaire le 21/10/2021. Lors de ces premiers séminaires nous avons présenté les objectifs de notre action. La résilience devient un critère de performance qu'il conviendra de positionner par rapport aux critères traditionnellement utilisés dans le pilotage de systèmes de production de biens et de services (flexibilité, réactivité, fiabilité, etc.). L'objectif de cette action est la prise en compte de la notion de résilience dans le pilotage des systèmes complexes soumis à des perturbations. Notre ambition sera de réaliser une cartographie des travaux rattachés à la résilience et sa projection par domaines applicatifs et par disciplines scientifiques. Nous envisageons d'établir un bilan des modèles existants pour l'évaluation de la résilience en identifiant leurs avantages et leurs limites. Une identification également des industriels, des centres de recherches ou des organismes qui peuvent être impliqués dans ce type d'étude sera menée. Lors de ces deux premiers séminaires nous avons présenté une première recherche bibliographique avec Scopus en utilisant le mot clé : Résilience dans le domaine de l'ingénierie. La figure A.1 montre l'abondance des publications et la visualisation des mots clés avec l'outil VOSViewer des 2000 premiers articles. Cette recherche bibliographique a mis l'accent sur l'intérêt porté à la notion de la résilience dans la communauté scientifique. Les discussions ont été lancées sur le concept de la résilience, sa définition et son positionnement dans notre communauté :

1. Quelle est la définition de la résilience ?
2. Quelle est la différence entre « Robustesse » et « Résilience » ?
3. Quels sont les facteurs de la résilience ?
4. Quels comportements dans les systèmes qui sont favorables à la résilience ?
5. Quel est le lien entre la résilience et les perturbations et leurs typologies (menaces régulières / irrégulières / exceptionnelles) ?
6. Peut-on parler de typologie de la résilience – typologie de résilience – résilience adaptative – résilience transformative – différentes formes de résiliences ?

Toutes ces interrogations et ces discussions montrent que le concept de la résilience couvre plusieurs domaines, plusieurs disciplines scientifiques et suscite une structuration des travaux à mener dans cette action (Webinaire du 25/04/2022).

Nous avons présenté notre action lors des journées du SAGIP le 25/05/2022. Cette présentation était l'occasion d'identifier des rapprochements avec d'autres actions (Obsolescence et raréfaction animée par Marc ZOLGHADRI et Claude BARON) et des comités techniques du SAGIP (IMS2). Ensuite nous avons travaillé sur la définition des sous thèmes afin de réaliser une structuration de notre réflexion et impliquer

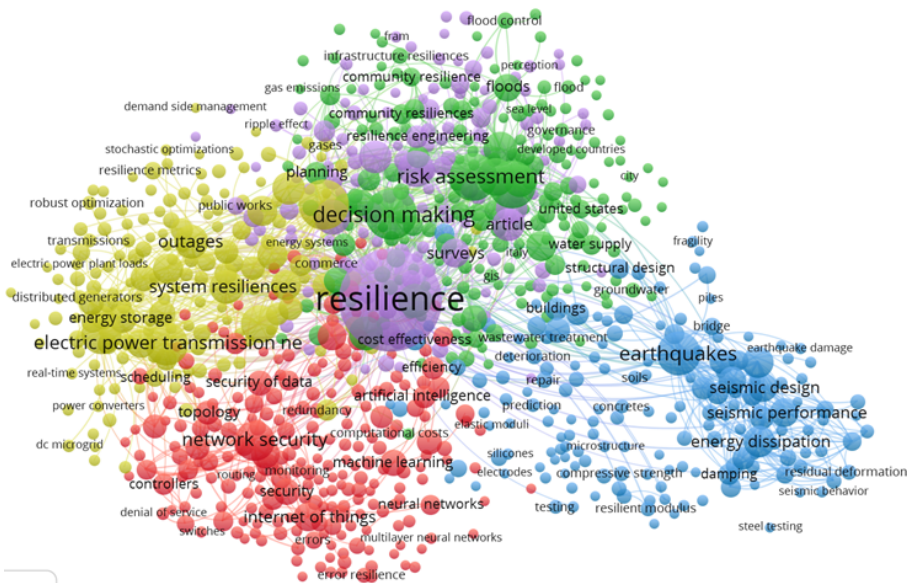


FIGURE A.1 – Résultat de la recherche bibliographique avec Scopus (mot clé : Résilience, 2000 articles en ingénierie des 10 dernières années)

les collègues dans l’animation (Webinaire du 08/07/2022). Nous avons profité de cet échange pour définir une feuille de route des activités pour la suite. 4 thèmes ont été identifiés :

1. Thème 1 : Etat de l’art du concept de résilience :
  - (a) Définition, articulation selon les disciplines
  - (b) Concepts connexes
  - (c) Positionnement GDR MACS (STP / Automatique)
  - (d) Projection : système, humain, ressource, environnement .
2. Thème 2 : Caractérisation de la résilience :
  - (a) Typologie de la résilience
  - (b) Facteurs de la résilience
  - (c) Quantification de la résilience
3. Thème 3 : Stratégies pour améliorer la résilience :
  - (a) Phases de la résilience
  - (b) Approches de pilotage
  - (c) Horizon temporel
4. Thème 4 : Domaines d’applications
  - (a) Identification des acteurs socio-économiques
  - (b) Collecte de témoignages et de retours d’expériences
  - (c) Industrie 4.0

Cette répartition de thèmes a été validée par plusieurs participants et des groupes de travail ont commencé à immerger afin de mener des recherches selon ces thèmes (Webinaire du 09/11/2022).

Deux séminaires avec des présentations de participations ont été programmés. Le premier sous forme de webinaire le 07/12/2022. 4 présentations ont été réalisées autour des travaux dans des disciplines différentes (automatique, les réseaux télécommunications et le génie industriel). Des approches de modélisation de systèmes complexes sous forme de réseaux et de l’apport de cette modélisation pour une définition de la robustesse et de la résilience ont été discutées. Le triangle de la résilience a été présentée comme étant un mode d’évaluation de la résilience avec une application dans les transports (cas du métro parisien). Un état de l’art état des approches de résilience dans des systèmes distribués en réseaux a été discuté avec des différentes applications. Enfin une ouverture sur la communauté de l’automatique avec une présentation sur les contrôles robustes Contrôle robuste et détection de défauts d’actionneurs. Nous

avons pu voir les différentes problématiques de modélisations, d'évaluation et les différentes applications et que la résilience pourra être associée aux problématiques liées à la robustesse.

Nous avons ensuite invité Pr. Anne BARROS pour présenter la Chaire Risques et Résilience de Systèmes Complexes (<https://hal.science/CHAIRE-RRSC>) (Séminaire 09/01/2023). Lors de cette présentation Mme Barros a montré les défis liés à la modélisation et l'évaluation de la résilience dans un contexte de crise. Elle a relaté également les difficultés rencontrées en travaillant avec 3 industriels différents (Orange, SNCF et EDF).

Nous avons profité de ce séminaire pour présenter notre article (« Towards a framework to position resilience and Industry 4.0 »<sup>1</sup>) accepté à la conférence MIM 2022 dans la session spéciale que nous avons animée « Resilience of Cyber-Physical Production Systems in Industry 4.0 : Issues, Modelling, Implementation and Evaluation. Cet article a été rédigé suite au co-encadrement M2R GI - Grenoble - Emna Drira : Performance indicators for assessing the resilience of production systems in a context 4.0. Ce papier a présenté un état de l'art sur la notion de la résilience dans le contexte 4.0. Nous avons identifié les différentes facettes de la résilience et son positionnement dans le cadre de l'industrie 4.0. Nous avons proposé un framework de l'évaluation de la résilience regroupant toutes les briques nécessaires.

Nous présentons dans la figure A.2 une première extension de ce framework qui va nous permettre de guider nos travaux futurs de positionnement de la résilience dans notre communauté scientifique. D'après

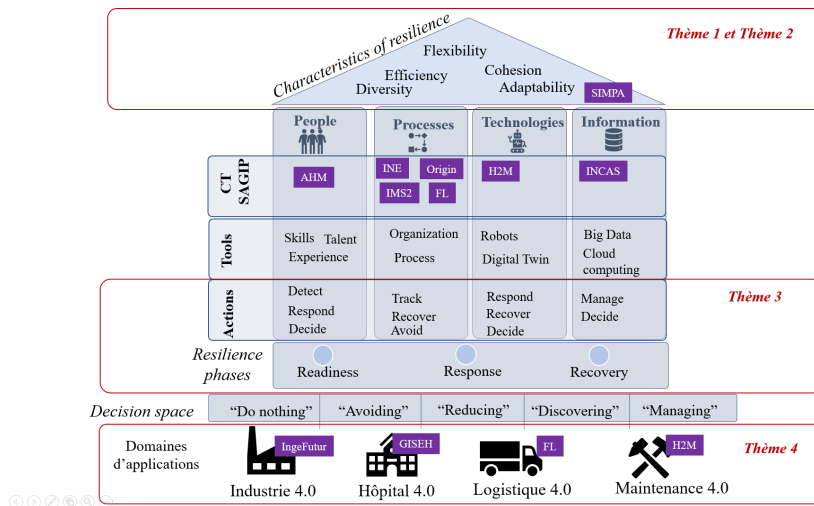


FIGURE A.2 – Framework de la définition et l'évaluation de la résilience

la figure A.2 nous identifions notre apport par rapport aux différents sujets abordés par la communauté comme par exemple les « jumeaux numériques » dans le pilier des technologies avec une vision multi-disciplinaires associant les autres piliers comme l'humain, et l'information ou les différents domaines applicatifs. Nous identifions également notre positionnement dans le thème de INS2I : « Méthodes pour les nouveaux enjeux industriels - résilience, soutenabilité, obsolescence ». Les domaines applicatifs offrent également la possibilité de s'orienter vers des thèmes comme « Les sciences de l'information au service de la santé - de l'analyse de données à la régulation » avec la brique « Information », la brique « Technologie » et le domaine application « Hôpital 4.0 ».

Le tableau A.7 résume les orientations que nous envisageons donner à notre action en adéquation avec le framework présenté.

### Feuille de route et perspectives

1. Sessions spéciales : CIGI-MOSIM2023 + SOHOMA2023
2. Publication de nos travaux sur les thèmes (openscience)
3. Journée avec des industriels – co-organisation avec le DISP de l'INSA de Lyon
4. Participation au Colloque de SAGIP (on ne sait pas quel format : Bilan des actions et puis une session d'ouverture organiser une table ronde sur la résilience et quelle suite ? )

1. Goepp V., Berrah L., Drira E., Chaabane S. (2022). Towards a framework to position resilience and Industry 4.0.. IFAC-PapersOnLine, Volume 55, Issue 10, pp. 2258-2263, January, ISBN 2405-8963 [DOI=10.1016/j.ifacol.2022.10.044].

Thèmes	Action « Amélioration de la résilience »
Jumeau numérique	+++
Observation en temps réel	+
Interactions avec d'autres GdR	++
Les sciences de l'information au service de la santé - de l'analyse de données à la régulation	++
Méthodes pour les nouveaux enjeux industriels - résilience, soutenabilité, obsolescence	+++
Modèles pour dompter la complexité	+

TABLE A.7 – Pistes à explorer. + (faible) à +++(fort)

## A.5.2 Commande décentralisée des systèmes multi-agents sous contraintes

**Porteurs** Constantin Morarescu (Univ. Lorraine) Elena Panteley (Centrale Supélec) Emmanuel Moulay (Univ, Poitiers) Mohamed Djemai & Michael Defoort (UPHF)

**Type d'action** Création et animation d'une communauté scientifique

**Objectifs** L'objectif de l'action proposée est de coordonner les chercheurs travaillant en France sur la commande des systèmes multi-agents sous contraintes de communication afin de stimuler la coopération et d'accroître la visibilité. Les résultats attendus sont :

- Cartographie thématique et géographique abordées par la communauté automatique dans les travaux rattachés à la commande des systèmes multi-agent.
- Synthèse des thèmes traités pour conduire à une prospective sur la commande des systèmes multi-agents.
- Préparation de propositions nationales de recherche collaborative (ANR, ...)
- Deux réunions de travail par an
- Atelier scientifique (à la fin du projet) sous la forme d'un workshop ou d'une session spéciale dans une conférence.

**Justification** Les Systèmes Multi-Agents (SMA) sont composés d'un ensemble d'agents interagissant entre eux et avec leur environnement, un agent étant vu comme un système dynamique autonome. L'analyse et la commande décentralisée de SMA ont reçu de plus en plus d'attention ces dernières années en raison de leurs applications nombreuses et variées, allant de l'étude de la dynamique d'opinions dans le réseau social et le marketing viral à la commande des flotte robotiques et des véhicules autonomes en passant par le calcul distribué et les réseaux des capteurs. Ils sont notamment utilisés pour la flexibilité et l'adaptabilité données par la structure d'une commande décentralisée en sachant que les objectifs à atteindre peuvent être très complexes. Le design d'une commande centralisée considérant l'ensemble des agents comme un seul système nécessiterait une connaissance fine de toutes les interactions éventuellement dynamiques entre ces agents. En revanche, l'approche SMA demande juste que chaque agent partage ses informations avec ses voisins (qui peuvent varier au cours du temps) pour atteindre un objectif commun sans qu'il n'y ait pour autant une centralisation de l'information et de l'objectif. Les performances de cette approche distribuée et collaborative sont donc tributaires de la qualité des informations échangées entre les agents.

L'enjeu soulevé concerne la prise en compte des contraintes de communication lors de la conception d'un contrôleur distribué. Il s'agira donc de considérer d'une part cette contrainte dans la synthèse de la commande et d'autre part lui associer d'autres contraintes physiques telles que les contraintes non-holonomes, les fautes, les retards (etc.).

À cette fin, cette action visant à rassembler les chercheurs en automatique intéressés par les questions de commande robuste des systèmes multi-agents est donc proposée par cette action du GDR.

### Références bibliographiques

- E. S. Tognetti, T. R. Calliero, I.-C. Morarescu, J. Daafouz. Synchronization via output feedback for multi-agent singularly perturbed systems with guaranteed cost. *Automatica*, Vol. 128, 109549, 2021.



- O. Lindamouillage De Silva, S. Lasaulce, I.-C. Morarescu. On the efficiency of decentralized epidemic management and application to Covid-19. IEEE L-CSS, Vol.6, 884-889, 2022
- I.C. Morarescu, V.S. Varma, L. Busoniu, S. Lasaulce. Space-time budget allocation policy design for viral marketing. Nonlinear Analysis : Hybrid Systems, Vol. 37, 100899, 2020.
- Menard, T., Ajwad, S. A., Moulay, E., Coirault, P., & Defoort, M. (2020). Leader-following consensus for multi-agent systems with nonlinear dynamics subject to additive bounded disturbances and asynchronously sampled outputs. Automatica, 121, 109176.
- Babenko, S., Defoort, M., Djemai, M., & Nicaise, S. (2018). On the consensus tracking investigation for multi-agent systems on time scale via matrix-valued Lyapunov functions. Automatica, 97, 316-326.
- Bernuau, E., Moulay, E., Coirault, P., & Isfoula, F. (2019). Practical consensus of homogeneous sampled-data multiagent systems. IEEE Transactions on Automatic Control, 64(11), 4691-4697.

### Premières réalisations

- Première réunion (uniquement avec les porteurs) 03 Janvier 2023
- Lancement de la cartographie thématique et géographique abordées par la communauté automatisée dans les travaux rattachés à la commande des systèmes multi-agent. [Questionnaire en ligne](#). A ce jour 20 réponses.
- Séminaire scientifique à Paris le 10 Mars 2023. Programme
  - 10 :15-10h55 : Exponential Bipartite Containment Tracking over Signed Networks with Multiple Leaders. Auteurs : Pelin Sekercioglu (ONERA & L2S, Université Paris-Saclay), Elena Panteley (L2S, Univ. Paris-Saclay), Ioannis Sarras (ONERA), Antonio Loria (L2S) et Julien Marzat (ONERA).
  - 10 :50-11 :30 : Space-time budget allocation policy design for viral marketing. Auteurs : Constantin Morarescu (CRAN, Univ. Lorraine)
  - 11 :30-12 :05 : Commande homogène et robustesse des systèmes multi-agents échantillonnés. Auteurs : Patrick Coirault (LIAS, Univ. Poitiers) et Emmanuel Moulay (XLIM, Univ. Poitiers), Tomas Menard (LAC, UNICAEN)
  - 13 :30-14 :10 : Distributed predefined-time optimization in multi-agent systems . Auteurs : Pablo De Villeros (LAMIH, UPHF), Michael Defoort (LAMIH, UPHF), Mohamed Djemai (LAMIH, UPHF)
  - 14 :10-14 :50 : Synchronization enforcement, emergent behaviors, and its application. Auteurs : Jin Gyu Lee (INRIA, Lille)

### A.5.3 Commande des EDPs, mathématique et ingénierie

**Porteur** Swann Marx - LS2N Nantes

**Résumé** L'action MACS "Commande des EDPs" vise à réunir deux communautés a priori concernées par des préoccupations communes, à savoir la commande des EDPs. L'étude des systèmes modélisés par des équations aux dérivées partielles (EDPs) est relativement ancienne, mais ce n'est qu'à partir des années 70 que les chercheurs en mathématiques s'y sont intéressés. Plus récemment, avec notamment la méthode de backstepping développée par Miroslav Krstic, c'est au tour des automaticiens de s'être intéressés à la commande des EDPs. Dans un premier temps, l'Action MACS a tenu, au travers d'un workshop, à réunir certains acteurs des deux communautés. Ce workshop, qui s'est tenu du 2 au 3 novembre 2022, a fait intervenir les chercheurs suivants :

- Vincent Andrieu (automatique)
- Lucie Baudouin (automatique)
- Delphine Bresch-Pietri (automatique)
- Jean-Michel Coron (mathématiques)
- Sylvain Ervedoza (mathématiques)
- Nicolás Espitía (automatique)
- Yann Le Gorrec (automatique)
- Frédéric Marbach (mathématiques)
- Hoai-Minh Nguyen (mathématiques)
- Christophe Prieur (automatique)
- Ying Tang (automatique)
- Marius Tucsnak (mathématiques).

Nous avons tenu à faire intervenir autant d'automaticiens que de mathématiciens. Le programme peut être trouvé sur le site du workshop .

**Premières conclusions thématiques** De nombreuses préoccupations communes existent dans les deux communautés. Ce qui distingue essentiellement les deux communautés relève du vocabulaire et des thématiques. En effet, les mathématiciens vont davantage s'intéresser à la commandabilité des systèmes de dimension infinie, tandis que les automaticiens s'intéressent à la stabilisation (si possible robuste) de ces systèmes. Quant au vocabulaire, il semble, du côté automaticien, plus sophistiqué, puisque beaucoup de notions sont utilisés, notamment l'ISS (Input to state stability), ou encore la stabilisation en temps fini. L'un des axes qu'il serait bon d'aborder dans les prochains séminaires est le lien entre les notions de controllabilité et celle de stabilisation (relativement claires en dimension finie, beaucoup moins en dimension infinie).

**Pour le futur** Pour sa seconde année l'action MACS, de nombreux points méritent d'être abordés :

- Le lien entre commandabilité et stabilisation
- La mise en pratique numérique des commandes considérées ;
- L'explication de concept inconnu des mathématiciens (et vice et versa).

Un changement de formule pourrait donc être envisagé. En effet, des demi-journées thématiques pourraient être organisées autour de ces questions. De même, plutôt qu'un workshop, une école d'été pourrait être envisagée, afin de réunir tous les acteurs de ces communautés une semaine entière.

#### A.5.4 Epidemics : modeling, identification, control

This action regrouped the following researchers and teams in France :

- Denis Efimov, Rosane Ushirobira (Inria, Lille)
  - modeling of societal feedback on virus propagation
  - identification of outbreak models based on real data
  - prediction of epidemics development using interval tools
- Carlos Canudas de Wit, Alain Kibangou, Umar Niazi (GIPSA-Lab, Grenoble)
  - modeling and control of testing policies
  - models for mixed : people mobility & Epidemics
  - healthy mobility under sanitary and economic constraints
- Alain Rapaport (MISTEA-INRAE, Montpellier), Abderraham Iggidr (Inria, Metz), G. Sallet (U. Lorraine), F. Hamelin (Agrocampus Ouest), J. Harmand (LBE-INRAE)
  - Modeling, estimation and control of population dynamics, including epidemics
- Pascal Bellemain, Christophe Prieur (CNRS, Grenoble), Didier Georges (INP), Clémentine Prieur, Emmanuel Witrant (UGA), Olivier Zahm (Inria)
  - modeling using a multi-scale dynamical systems
  - sensibility analysis, calibration
  - observation using real data and control policies
  - simulation and prediction
- Simon Mauras, Vincent Cohen-Addad, Guillaume Duboc, Max Dupré la Tour, Paolo Frasca, Claire Mathieu (CNRS), Lulla Opatowski (Institut Pasteur), Laurent Viennot (INRIA)
  - modeling and simulating outbreaks in schools and workplaces
  - mitigation strategies
- Samson Lasaulce (CNRS), Constantin Morarescu (UL), Olivier Linda de Mulage (UL)
  - study of epidemics in the presence of multiple regions and multiple performance criteria
- Pierre-Alexandre Bliman (Inria)
  - modeling and control applied to mathematical epidemiology and population dynamics
- Raymond HOUE NGOUNA, Hedi KARRAY and Bernard ARCHIMEDE (LGP/ENIT)
  - development of an intelligent individual mobility assistant to mitigate health and environmental risks in the context of a pandemic spread
- Mohammad GHOUSEIN, Emmanuel MOULAY, Patrick COIRAULT (LIAS)
  - modeling and distributed robust control of the COVID19 pandemic
- Sophie Hennequin, Daniel Roy, Aimé Nyoungué (LGIPM, Université de Lorraine) and Josephine Wairimu Kagunda (University of Nairobi, Kenya)
  - adaptation of epidemiological model to production systems (maintenance activity) - LGIPM
  - definition of epidemiological models (malaria, HIV...) University of Nairobi

- Alain OUSTALOUP, Stéphane VICTOR (Université de Bordeaux)

- non-integer (or fractional) power model of a viral spreading : application to the COVID-19

During the action period, papers and preprints of participants have been distributed among the consortium.

One workshop has been organized on 14 October 2021 (Inria, 2 Rue Simone IFF, 75012 Paris – salle Emmy Noether) with the following program :

Morning section

10 :00-10 :30, P.-A. Bliman, Minimizing epidemic final size through social distancing

10 :30-11 :00, A. Oustaloup, S. Victor, Approche non entière de la dynamique d'une épidémie : le modèle FPM (Fractional Power Model)

11 :00-11 :30, U. Niazi, C. Canudas de Wit, Optimal Control of Urban Human Mobility for Epidemic Mitigation

11 :30-12 :00, U. Pratap, C. Canudas de Wit, Parameters tuning of the model and demonstrator

Afternoon section

14 :00-14 :30, F. Hamelin, A. Iggidr, A. Rapaport, G. Sallet, About identifiability and observability of the SIRQ model

14 :30-15 :00, S.Hennequin, D. Roy, Utilisation de modèles épidémiologiques pour l'étude de la propagation d'aléas au sein de systèmes différents

15 :00-15 :30, W. Mei, D. Efimov, R. Ushirobira, A nonlinear observer for a multi-group SIS model

15 :30-16 :30, Discussion and planning

### A.5.5 Étude du rapprochement de communautés scientifiques autour du thème "Systèmes d'Information"

**Animateurs** Olivier CARDIN, Virginie GOEPP

**Contexte** La société savante INFORSID a contacté le Conseil de Direction du GDR MACS afin d'étudier une prospective commune avec la communauté MACS sur la thématique des systèmes d'information. Cette thématique est très présente dans les thématiques du GDR. La société INFORSID traite cette problématique d'un point de vue essentiellement Informatique, alors que le GDR la traite avec un aspect plutôt Génie Industriel. Cette complémentarité des approches est recherchée par les deux partenaires afin de donner plus d'ampleur aux travaux menés dans la thématique, et ce rapprochement est ressenti comme une opportunité par les membres du GDR.

**Objectifs** L'action MACS : Étude du rapprochement de sociétés savantes autour du thème « Système d'Information » a eu pour objectif de définir la potentialité et éventuellement les modalités de rapprochement entre les actions du GDR MACS et de la société savante INFORSID. L'objectif principal de l'action est de proposer une cartographie préliminaire des thèmes communs et des éventuels points de disjonction entre les deux communautés. Un second objectif consiste en une synthèse des préconisations d'actions à mettre en œuvre dans les années suivantes afin de concrétiser ce rapprochement, notamment sur le lien entre INFORSID et la prospective du GDR.

**Mise en oeuvre** Pour atteindre ces objectifs, les deux porteurs représentant la société savante INFORSID (D. TAMZALIT & M. CORTES CORNAX) et les deux porteurs représentant la communauté MACS (O. CARDIN & V. GOEPP) ont travaillé en collaboration. Tout au long de l'action les quatre porteurs se sont appuyés sur un ensemble de participants issus des deux communautés pour former des groupes de travail côté INFORSID et MACS. Voici ci-dessous la composition des groupes de travail :

- Groupe MACS
  - Abdelghani BEKRAR, LAMIH - Université de Valenciennes
  - Olivier CARDIN, LS2N - Université de Nantes
  - Sondes CHAABANE, LAMIH - Université Polytechnique Hauts-de-France
  - Vincent CHEUTET, DISP - INSA Lyon
  - Virginie GOEPP, ICube - INSA Strasbourg
  - Mamadou Kaba TRAORE, IMS - Université de Bordeaux
  - Bernard KAMSU-FOGUEM, LGP - ENIT
- Groupe MACS

- Mario CORTES CORNAX, LIG - Université Grenoble Alpes
- Agnès FRONT, LIG - Université Grenoble Alpes
- Lilia GZARA, DISP - INSA Lyon
- Jannik LAVAL, DISP - Université Lumière Lyon 2
- André MIRALLES, INRAE – UMR Tetis
- Selmin NURCAN, CRI - Université Paris 1
- Christophe PONSARD, Centre de recherche CETIC – Belgique
- Dalila TAMZALIT, LS2N - Université de Nantes

Une fois les deux groupes constitués, les porteurs ont défini une démarche de travail pour construire de manière progressive et structurée la cartographie préliminaire des thèmes communs aux deux communautés. Cette démarche s’articule autour de trois étapes principales :

- Un travail préliminaire d’état de l’art spécifiques à chaque communauté et donc groupe. L’objectif de cette première étape a été de pré-identifier dans l’ensemble des thématiques traitées par chaque communauté, celles susceptibles d’intéresser l’autre communauté. Ici les spécificités d’organisation de chaque communauté ont été exploitées. Ainsi, la recherche en système d’information a été caractérisée au sein de la communauté MACS à travers trois sujets d’intérêt commun, qui ont fait l’objet d’un état de l’art dans les actes du congrès INFORSID.
- Une présentation des états l’art à l’autre groupe pour que chaque participant puisse prendre connaissance des travaux de l’autre communauté. Ces présentations ont été enregistrées pour rester accessibles aux différents participants de manière pérenne.
- Enfin la tenue d’une session commune MACS/INFORSID lors du congrès INFORSID’2021 qui s’est organisée autour de sujets d’intérêt commun. Les participants ont été affectés, selon leur domaine de compétence, à chaque sujet. La répartition des participants s’est faite de sorte à avoir une représentation « mixte » MACS et INFORSID.

**Bilan et préconisations** Le travail réalisé lors de cette action commune INFORSID/MACS a permis d’étayer l’hypothèse initiale selon laquelle des points de convergence scientifique forts existaient entre les deux communautés. Ces points de convergence ont été mis en avant au travers de trois sujets d’étude importants, regroupant plusieurs dizaines de chercheurs de chaque structure : Interopérabilités technique et opérationnelle, Capitalisation de connaissances, conception de connaissances et Vers des SI métier innovants : Prise de décision, collaborations éphémères. La synthèse de ces actions a été présentée au Comité Directeur du GDR MACS et au bureau de l’association INFORSID sous la forme d’un document de synthèse. Sur un aspect méthodologique, les approches restent fondamentalement différentes, avec un angle d’attaque sur des sujets proches étant généralement opposés, mais proposant des résultats complémentaires permettant de tendre vers la robustesse des solutions proposées : approches génériques/paramétrables/réutilisables côté INFORSID, mais avec peu de cas applicatifs concrets pour confronter ces résultats théoriques, contre approches orientées terrain côté MACS avec un manque généralement de capitalisation et de généralisation. Ces différences ont mené au fil du temps à un silotage des démarches, avec peu d’interactions et de mutualisation d’efforts et d’expertises observées dans les travaux récents. Pourtant, il apparaîtrait pertinent de réussir à proposer un ensemble de modalités permettant de faire se croiser les points de vue afin de faire émerger des collaborations effectives entre les membres actifs de chaque communauté. Les préconisations suivantes sont issues d’une réflexion globale du groupe de travail afin de proposer les moyens nécessaires à cette fertilisation. Les objectifs mis en avant par le groupe de travail sont de proposer des modalités permettant de :

- Permettre des rencontres entre les deux communautés : apprendre à se connaître et à comprendre les principales thématiques de recherche de chaque communauté. Le premier facteur de réussite est la compréhension mutuelle du « jargon » et de l’identité scientifique de chaque communauté.
- Identifier les sujets émergents : il existe des sujets émergents et en cours d’appropriation par les communautés et certainement transverses aux deux communautés telles que la Blockchain, le low code... mais également de manière plus globale les problématiques de soutenabilité, de responsabilité sociétale, de responsabilité environnementale, de circularité, etc. Nous pensons que ces sujets émergents pourraient représenter des points d’accroches possibles pour permettre aux deux communautés de collaborer et de se les approprier ensemble.
- Étendre la culture scientifique des doctorants : au travers des travaux menés par les doctorants, acculturer les équipes de recherche aux thématiques, outils et méthodes disponibles dans l’autre communauté.

Dans cette optique, les préconisations du groupe peuvent se présenter ainsi :

- Organisation d’évènements communs

- Dans le cadre du congrès INFORSID : le congrès a lieu tous les ans début juin. Il constitue le seul lieu de rencontre régulier des participants à la communauté. Il existe la possibilité d'organiser des ateliers thématiques, avec un thème ouvert, sur lequel un appel à participation ciblé pourrait être rédigé chaque année. Cette modalité permettrait aux chercheurs MACS de participer au congrès sur un aspect ciblé et s'ouvrir aux autres thématiques lors des autres sessions.
- Dans le cadre des journées SAGIP : le congrès annuel de la SAGIP a tendance à être organisé sur la même période qu'INFORSID. De ce fait, il semble difficile de mobiliser les membres deux fois consécutivement. Il est donc proposé de mobiliser les journées SAGIP d'Automne lorsqu'elles se déroulent, afin d'organiser une session spéciale à l'initiative d'un Comité Technique.
- Sur le rapprochement des événements : le congrès de la SAGIP 2024 se dirige vers une organisation lyonnaise. Ces mêmes collègues souhaitent se positionner également pour l'organisation d'INFORSID 2024, ce qui pourrait constituer un événement conjoint particulièrement intéressant pour les communautés
- Création d'une école thématique à destination des doctorants :
  - Pour permettre une fertilisation croisée efficace des travaux de doctorants, il semble pertinent de créer une école thématique centrée sur les sujets exposés dans ce document, et permettant chaque année un focus sur l'un ou l'autre de ces sujets.
  - Côté MACS, l'objectif est de réussir à inclure à tour de rôle les CT concernés par cette étude dans la construction des contenus de l'école, afin de mobiliser graduellement le plus de chercheurs possibles.
  - La modalité retenue ressemblerait à 2 jours de formation en moyenne, suivie d'une journée de travail ciblée sur les permanents co-organisée par le CT concerné et les animateurs du thème côté INFORSID.
  - La période ciblée est l'automne, avec la possibilité de prévoir une réunion d'organisation lors d'INFORSID en juin précédent.

### A.5.6 L'automatique au service de la santé : de la modélisation aux thérapies en boucle fermée

**Animateurs** Jérôme Cieslak, Antoine Chaillet, Jean-Julien Aucouturier

**Introduction** Il est établi que les sciences de l'information ont des contributions majeures sur des questions de santé, en particulier dans le cadre de l'analyse de données médicales pour, par exemple, les neurosciences ou de l'assistance robotisée en chirurgie. Ces résultats ouvrent dorénavant la voie à de nouvelles études dans lesquelles les processus seraient abordés en tant que systèmes dynamiques en interaction entre eux et avec leur environnement. Dans ce cadre, les méthodes issues de l'Automatique (identification des modèles dynamiques, réduction de modèles et modèles incertains, détection de phénomènes anormaux, observation d'états non mesurables, régulation robuste) commencent à fournir des résultats à très fort potentiel. Un travail de recensement des résultats existants est en cours ( ) pour accroître la visibilité des actions menées par les chercheurs et enseignants/chercheurs dans la régulation du diabète (pancréas artificiel), en anesthésie, en traitement des cancers, en stimulation cérébrale notamment pour la maladie de Parkinson, en surveillance et affaiblissement des épidémies, pour la prise de décisions au niveau du système hospitalier dans sa globalité (organisation complexe à la fois humaine, technique, médicale, réglementaire et financière)... Le bilan partiel présenté ci-après porte sur l'analyse d'un questionnaire (16 questions, 82 réponses) diffusé en mai 2022 sur les adresses professionnelles des membres du GDR MACS et de la SAGIP.

**Profils des répondants** Les répondants (Figure A.3 gauche) sont principalement des personnels permanents (87%), avec une majorité de MCU/CR (n=40/82, 49%), PU/DR (n=29, 35%) et seulement 2 IR/IE (2%). Les réponses n'incluent que 2 post-doctorant.e.s (2%) et 9 doctorant.e.s (11%); ce dernier chiffre est probablement très inférieur au nombre de jeunes collègues réellement concernés par l'action vu le nombre de réponses de personnels permanents, qui sont autant d'encadrants potentiels Pour la population sondée, les employeurs déclarés sont principalement des universités (n=48/82, 59%), des écoles d'ingénieurs (n=18, 22%) et des EPST (CNRS : n=10, 12%; INRIA : n=3, 4%). Il est à noter seulement 1 réponse de l'industrie et 1 réponse de personnel co-financé par l'hôpital, ce qui souligne là encore qu'un effort particulier devra être fait pour toucher ces populations lors de futures actions. Les réponses

couvrent un bel éventail de laboratoires nationaux : 33 laboratoires (M=2.3 réponses par laboratoire), répartis relativement équitablement sur tout le territoire, voir Figure 1. Treize structures contribuent à plus de 2 réponses, où l'on retrouve la plupart des grands laboratoires en automatique et sciences de l'ingénieur : L2S (Gif/Yvette : 12 réponses), FEMTO-ST (Besançon : 7 réponses), LAMIH (Valenciennes : 7 réponses), IMS (Talence : 6 réponses), GIPSA Lab (Grenoble : 5 réponses), LS2N (Nantes : 5 réponses), CRAN (Nancy : 3 réponses) et Ampère (Ecully : 3 réponses). Il est à noter que les 3 laboratoires des animateurs de l'action concentrent 25 (30%) des réponses, ce qui traduit peut-être un biais (diffusion facilitée auprès des collègues?) qu'il conviendra de surveiller lors de futures actions.

**Activités de recherche** Les domaines d'application de l'automatique reportés dans les réponses couvrent sans surprise un vaste éventail de thématiques cliniques, dont en premier lieu les neurosciences (mentionnées par n=22/82 répondants, 27%), les sciences du mouvement et du contrôle moteur (n=19, 23%), le diabète (n=14, 17%), le cancer (n=14, 17%), le système cardio-respiratoire (n=13, 16%) et l'épidémiologie (n=13, 16%). Outre ces domaines purement médicaux, la robotique chirurgicale est également mentionnée dans n=17 (20%) des réponses, pour des activités qui incluent vraisemblablement une partie contrôle spécifique à ces dispositifs (ex. commande de robotique souple), mais peut-être aussi des activités de conception et instrumentation robotique qui pourraient s'avérer plus distantes des thématiques du GDR MACS et dont il serait être utile d'explorer l'interdisciplinarité avec d'autres GDR de la communauté (ex. GT Robotique et Santé du GDR Robotique). Ces activités recourent de façon

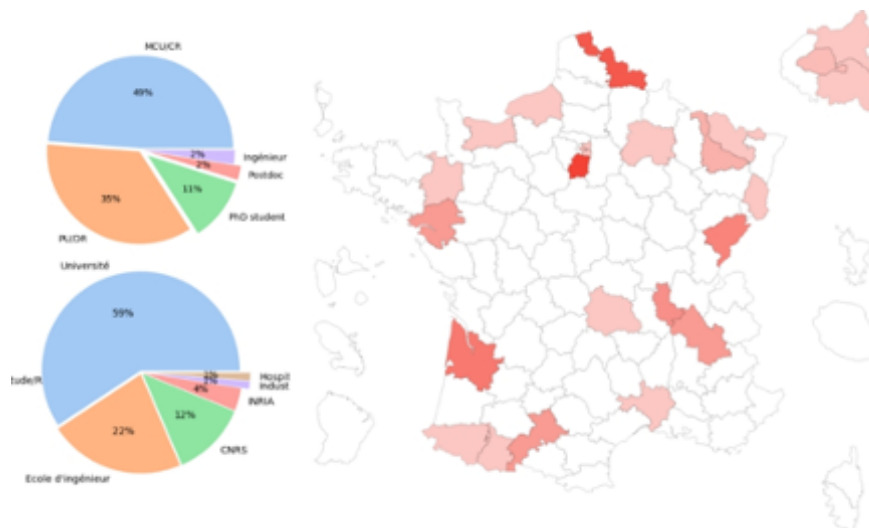


FIGURE A.3 – Gauche : répartition des répondants en termes de position et d'employeur. Droite : répartition par département des laboratoires d'origine sur le territoire français, codé en couleur par nombre de répondants

équitable la plupart des méthodologies de l'automatique, dont la modélisation (mentionné par n=59/82, 72% des personnes), la commande (n=53, 65%), les observateurs (n=34, 41%), l'identification (n=30, 37%) et l'analyse (n=27, 33%). Il est à noter que seulement 14 réponses (17%) des réponses mentionnent des méthodologies dites "autres" - dont l'IA (n=7, 9%), les capteurs (n=1) ou l'optimisation (n=3) - qui ne relèvent pas directement des activités du GDR MACS, ce qui conforte notre diagnostic de l'existence d'une vraie communauté spécifiquement automatique se reconnaissant dans ces thématiques.

**Publications** Les questionnaires ont permis d'assembler une impressionnante première bibliographie de plus de 250 références, dont n=172 (66%) articles de revues et 82 (31%) communications de conférences, concernant plus de 540 co-auteurs. Celle-ci inclut à la fois des références dans des revues de la communauté automatique (n=186, 69%), des revues de bio-ingénierie, mais aussi une grande variété de revues biologiques / médicales (n=73, 27%). La Figure A.4 montrent le nuage de mots extrait des 268 publications recueillies.

**Recensement des besoins** Les questionnaires exploraient également les besoins des personnes sondées. La majorité des personnes seraient favorables, d'une part, à l'organisation d'une communication



### A.5.7 Les enjeux de la soutenabilité et leurs impacts sur la recherche en conception et contrôle des systèmes techniques

Rédaction émanant des Regards Croisés sur la soutenabilité et le développement durable au sein de la communauté académique française SAGIP, GDR-MACS, club EEA section Automatique, GIS.mart

**Animateurs et rédacteurs** Valérie Botta-Genoulaz (club EEA), Pascale Marange (club EEA), Samir Lamouri (SAGIP), Maud Rio (GDR- MACS), Lionel Roucoules (GIS S.mart)

**Introduction** Cet atelier Regards Croisés a permis à plusieurs communautés de se retrouver et échanger autour des enjeux de la soutenabilité et le développement durable » tant dans les approches pédagogiques que scientifiques. Il s'est déroulé sur 2 journées de travail :

- 1er juillet 2022 : une journée permettant d'identifier les besoins/ressources que les personnes de chacune des communautés pouvaient avoir sur le thème. Cela a permis de poser les bases et de démarrer les discussions en 2 groupes « pédagogie » et « recherche ». Cette journée a abouti à une première cartographie des principaux éléments clés sur le thème et les premiers éléments de structuration.
- 26 octobre 2022 : une seconde journée qui a permis, sur les deux ateliers, de collectivement finaliser la structuration des idées sous forme de cartographie et définir les actions à mener au sein des communautés scientifiques.

Liste des participants volontaires via les listes de diffusion de la SAGIP, du GDR-MACS, du club EEA et du GIS S.mart à venir présenter leurs besoins, leurs compétences et échanger sur le sujet. Les participants à la première journée ont été invités à la seconde réunion afin de finaliser le travail initié.

Les réflexions lors des ateliers « recherche » cette année 2022 ont porté sur 3 points : (1) Le socle commun : références, définitions (2) Les questions de recherche qui étaient traitées par nos 4 communautés (3) Les questionnements des chercheurs travaillant sur la thématique du développement durable. Il en est ressorti que l'ensemble des participants aux ateliers partent de la même hypothèse, c'est-à-dire que les ressources planétaires sont limitées et qu'il est nécessaire de trouver des solutions pour limiter l'utilisation de celles-ci. Les références utilisées pour identifier les problèmes liés à cette hypothèse sont multiples : ressources scientifiques, d'associations et rapports ministériels. Par contre, le vocabulaire utilisé pour décrire les travaux autour de la soutenabilité et le développement durable, est hétérogène et pluriel. Ces termes définissent aussi bien le concept de soutenabilité, les principes liés au développement durable, les processus de revalorisation. L'une des perspectives qui seront proposées à la suite de ces ateliers sera l'uniformisation d'un vocabulaire commun. Les liens avec le volet « pédagogie » apparaissent évidents, pour faire avancer les compétences des chercheurs dans ces domaines. Plusieurs associations, sociétés savantes, groupes de travail, mènent des travaux sur la thématique et certaines d'entre elles souhaitent travailler ensemble (Club EEA, SAGIP, GdR MACS et S.mart) pour créer une communauté pérenne autour de cette thématique. Il est ressorti également des discussions qu'il était nécessaire de mener un travail transverse à différentes communautés reflétant les enjeux socio-techniques et environnementaux du développement durable. Une autre perspective à ces ateliers « Regards croisés » est la création d'une communauté regroupant des chercheurs de différentes sections CNU.

Les questions de recherche traitées par les chercheurs participant à ces 2 ateliers portent (i) sur l'ensemble du cycle de vie du produit (ii) sur le produit lui-même (conception, fabrication, usage) mais également les processus permettant de revaloriser les produits en fin de vie. À chaque phase de vie, plusieurs parties prenantes sont à prendre en compte parce qu'elles (i) sont impactées (nature humaine ou non, société, consommateurs), ou (ii) contribuent (travailleurs, fabricants) à la soutenabilité. Les questions de recherche traitées pour répondre aux problématiques liées à la soutenabilité, portent sur (A) les indicateurs permettant de mesurer les effets sur le développement durable et cela quelque soit le moment du cycle de vie ou quelque soit l'objet d'étude : produit ou système. (B) La conception du produit pour qu'il soit durable dans le temps mais également sur la conception des processus de fabrication, de logistique, de revalorisation en fin de vie. (C) Des thématiques sur le fond de cette problématique de soutenabilité, transverses et plus globales. En support, plusieurs outils, méthodes et ressources sont ressortis et sont utilisés à différentes phases de vie du produit. Le dernier point qui est ressorti de ces ateliers est un questionnement sur la posture des chercheurs sur cette thématique et un réel besoin de reconnaissance. En effet, comme cette thématique étant transverse à plusieurs domaines, les chercheurs se posent des questions sur la légitimité de leurs travaux, sur la reconnaissance de leurs recherches et sur la mesure de l'impact de celle-ci sur le problème fondamental de la soutenabilité des systèmes socio-



techniques existants ou émergents. Suite à ces deux ateliers, les actions suivantes sont à mener pour créer une communauté scientifique de la soutenabilité :

- Action 1 : Pour répondre à la diversité des termes utilisés pour décrire les travaux autour de la soutenabilité et du développement durable, une première action a mené est de définir un glossaire commun pour identifier les synonymes et les termes complémentaires sur la thématique DD. Échéance visée : Fin juin 2023.
- Action 2 : pour répondre à un besoin de connaissances transverses à différentes sections CNU, il serait intéressant de créer une communauté regroupant les chercheurs du club EEA, de S.mart, du GdR MACS et de la SAGIP mais également des chercheurs en économie, en sociologie, en matériaux ... Pour cela, une action à court terme est de cartographier les autres communautés s'intéressant à la thématique du développement durable. Échéance visée : Fin mars 2023
- Action 3 : Pour répondre au besoin d'une communauté et d'une reconnaissance des travaux dans le domaine, proposer des numéros spéciaux dans un journal.
- Action 4 : Créer une gare centrale / espace collaboratif et définir un processus de gouvernance approprié. Échéance visée : fin mai début juin 2023.

Fonctionnant en symbiose de ces actions orientées recherche, se situent les actions relevant de l'évolution des connaissances en soutenabilité. La première journée permis de faire un tour de table des actions pédagogiques déjà entreprises par les participants à travers la présentation du livret qui leur était demandé de réaliser collectivement. La discussion ouverte qui a suivi a permis des échanges extrêmement intéressants montrant que les positions personnelles et les actions engagées dans la pédagogie et la recherche sont variées au sein de nos structures académiques : les cultures sur le sujet et les courants de pensée sont hétérogènes ; des personnes intégrant d'ores et déjà les sujets « soutenabilité » ou « développement durable » dans leurs activités pédagogiques avec des ponts avec leurs activités de recherche (ou l'inverse) ; certaines personnes en attente de ressources pour pouvoir débiter cette intégration (dans un sens ou un autre). La seconde journée fondée sur cette analyse a permis de cartographier les besoins, verrous et ressources sur 3 axes, de manière collective, dans une démarche « brainstorming » pour faire émerger des actions au sein des communautés. Il apparaît clairement le besoin d'une intégration des sujets dans des cours plutôt « individuel et disciplinaire » (i.e. Boîte à Outils) afin de donner à l'enseignant-chercheur une première culture, les premiers outils qui le rendront « à minima » légitime dans son cours disciplinaire, qui par ailleurs, est lié à son domaine de recherche. Parmi les besoins principaux : celui d'un partage d'un référentiel (ou modèle) d'analyse structurant permettant de se positionner et ses collègues (comme étant potentiellement des référent/sujet) et les actions de chacun, et de regarder objectivement la situation comme point de départ des réflexions et décisions, de manière constructive et collective. Ce besoin soulève le manque de compréhension globale et systémique, et du manque de conseils formulés par les membres de nos communautés sur la soutenabilité ; de production de contenu : de soutenabilité faible ou forte à tiroir pour approfondir, maintenir, les 3 niveaux d'action complémentaires ; de définition d'indicateurs avec niveaux à considérer et les évaluations relatives ; de supports adaptés : logiciels, outils, méthodes, etc. ; de jeux de données permettant l'utilisation des supports adaptés à des fins de démonstration, de tutoriels, d'expérimentation disciplinaire. Les ponts entre les sphères de la recherche et celles de l'enseignement ont été mis en valeur. Les verrous pour répondre à ces quatre besoins prioritaires, en faisant référence aux cinq référentiels sur la soutenabilité analysés et croisés dans le projet ANR ET-LIOS (module F, publication présentée à ISDRS<sup>2</sup> en 2022), mettant en évidence les catégories de compétences minimales structurant la démarche et le contenu d'un enseignement en soutenabilité dans le domaine de l'ingénierie. En toute complémentarité, les travaux de thèse de Catherine Perpignan (2022)<sup>3</sup> formalisent au travers du modèle ROSET la méthode pédagogique nécessaire à l'intégration de ces compétences minimales nécessaires, et ce, tout au long de l'apprentissage de chacun. Enfin, en termes de ressources existantes et accessibles à tous, le support proposé sur la plateforme "Ecocloud" sur YesWiki<sup>4</sup> apporte les fondamentaux d'une synergie recherches et enseignements en soutenabilité les sciences de l'ingénieur portés par nos communautés. Enfin, la plateforme est collaborative, les contenus sont open source et en creative common. Un glossaire, des forums, la possibilité de contacter les personnes ayant déposé du contenu, et la possibilité de modifier les contenus et de les soumettre, sont autant de fonctionnalités de l'Ecocloud, correspondant à ce niveau « boîte à outil » (cf. Action 1 envisagée).

D'autre part, il apparaît que ce sujet étant de nature systémique, transdisciplinaires et évolutif (car non stabilisé, évolant avec la société actuelle) nécessite d'être enrichi par un retour d'expérience venant

2. ISDRS : 28th International Sustainable Development Research Society Conference, Stockholm, 15-17 June 2022, [hal.science/hal-03820672](https://hal.science/hal-03820672)

3. Thèse de Catherine Perpignan (2022) accessible sur [www.theses.fr/2021COMP2653](http://www.theses.fr/2021COMP2653)

4. L'écocloud" sur YesWiki est accessible à <https://ecocloud.s-mart.fr/?Ressources-peda>

notamment des travaux de recherche aux membres de la communauté, afin de faire évoluer les contenus des supports, des « cahiers des charges » au niveau des livrables en recherche, et d'établir de « bonnes pratiques » entre enseignants-chercheurs. Parmi les verrous émis par les participants, sont apparus : des formats de retours expérimentaux (REX) orientés Sciences Humaines et Sociales adaptés aux formations techniques (ingénierie) ; la volonté d'observer les pratiques des collègues ; l'adaptation des moyens face aux sollicitations (comment aider un collègue dans un moment où le temps est limité) ; la mise en cohérence des dimensions de soutenabilité avec l'évolution de la société ; l'analyse critique selon les réformes mises en place dans l'éducation nationale (ex. : rapport Jean Jouzel), les appels à projets en recherche portés par la feuille de route de l'économie circulaire, horizon 2050 neutralité carbone, etc., qui supposent que les chercheurs soient au courant des évolutions récentes sur ces sujets pour y répondre de manière appropriée et pour créer des connaissances structurant nos sociétés dans des trajectoires cohérentes vis-à-vis de ces enjeux. Ainsi des actions collectives pour créer et organiser des ressources en recherche pertinentes pour les besoins de transdisciplinarité : mutualisation de ressources, analyses d'usage pour la co-création de ressources, formation de formateurs, par exemple au travers des réseaux de chercheurs actifs sur les sujets d'éco-conception de systèmes durables (ex. : EcoSD, Labo1point5). Les verrous sont principalement liés à la difficulté de suivre, de participer et de gérer l'évolution du niveau des compétences des chercheurs et communautés savantes. Il s'agit d'autre part de pouvoir systématiser l'usage de la prospective avec des méthodes adaptées, sinon les imaginaires ne pourront évoluer, et ne suivront pas les demandes de la société. Il s'agit en particulier d'aider à créer de nouveaux emplois dans de nouvelles structures, dans des entreprises qui font partie d'une future société plus soutenable, ou du moins compatible avec les limites planétaires.

**En conclusion** L'ensemble de ces actions doivent être le moteur d'une fédération de communautés académiques qui doit devenir « légitime (validation par les pairs, demandes d'expertises, conseil...) » dans la création et la diffusion de connaissances sur le sujet. Se croisent les enjeux au niveau recherche en soutenabilité (une discipline existante et plus développée dans d'autres pays que la France, cf. ISDRS) à ce niveau de créations de connaissances, de validations scientifiques de contenus, de dissémination, de reconnaissance et d'enrichissement par les communautés concernées au niveau international. Ces actions ont permis de renforcer la compréhension de ces enjeux collectivement et de mutualiser des besoins, des verrous et des ressources à dispositions. Ceci montre l'intérêt des réseaux académiques sur le sujet pour partager et mutualiser les ressources afin que chacun puisse « profiter » des compétences des autres et être plus agile sur ce thème qui est en évolution permanente et dont les éléments n'ont pas de vocation à être maîtrisés, mais davantage organisés afin d'accompagner les transitions nécessaires aux sociétés industrielles afin que la soutenabilité soit une composante essentielle en recherche.

Les organisateurs vont maintenant mettre en place et engager des groupes de travail en y invitant l'ensemble des membres des communautés afin d'impliquer un maximum de personnes ressources et donner toute sa légitimité aux actions initiées et pour lesquelles les acteurs sont en demande d'avancement et de résultats concrets sur lesquels se positionner.

### A.5.8 Les Jumeaux Numériques pour les systèmes de production

**Porteurs** Vincent CHEUTET, Nabil ANWER, Cédrik BÉLER, Bernard RIERA

**Membres du comité de pilotage** Valérie DOS SANTOS MARTINS, Sébastien HENRY, Samir LAMOURI, Frédéric NOEL, Mamadou Kaba TRAORE

**Origine** Le Jumeau Numérique (JN) vise à produire une réplique virtuelle d'un système physique (machine, système de production, produit, etc.) afin d'obtenir des fonctionnalités de visualisation, de simulation/prédiction et de monitoring. Son intérêt est de pouvoir répondre à un besoin de modélisation et de pilotage au plus proche du système physique et une meilleure anticipation du comportement grâce à l'intégration de la simulation et la modélisation prédictive. Une autre possibilité du Jumeau Numérique porte sur la formation et le développement de compétences des futurs utilisateurs.

Si aujourd'hui les JN sont appliqués aux systèmes de production, et ce à tout niveau (de la ressource unitaire au système complet), de nombreuses questions de recherche restent ouvertes :

- Quelle est la structure du JN en adéquation avec les usages définis ?
- Quelles synchronisations doivent être prises en compte entre les deux Jumeaux (physique et numérique) ?

- Comment valider un JN ?
- Comment assurer son appropriation par les usagers ?
- Quelles sont les méthodologies permettant de développer un JN ?
- Comment fédérer des JNs ?

La communauté scientifique internationale est très active sur ce sujet (Allemagne, Royaume-Uni, Chine, ...), mais il n'existait au lancement de l'action que peu d'initiatives au niveau français, malgré un fort niveau de compétences sur les différentes briques du JN. L'objectif de cette action est donc de créer une communauté dynamique autour de cette thématique et de partager expériences et compétences.

**Réalisations** Cette action a été pensée dès le début en forte interaction entre le GDR MACS, la SAGIP et le GIS S.Mart, afin de fédérer les membres concernés de ces trois communautés. Une diffusion auprès de plusieurs partenaires industriels a aussi été faite, vu le fort aspect applicatif du sujet. En bilan, plus de 280 personnes se sont inscrites à ces ateliers, dont au moins 30 industriels.

Dans un contexte de crise COVID-19, il a été décidé de réaliser plusieurs web-séminaires sur un sujet précis, permettant au plus grand nombre de participer. Quatre thèmes ont été sélectionnés :

- Atelier 1, 28 juin 2021 : Quelle est la place de l'humain dans le Jumeau Numérique ? Du simple observateur, au décisionnaire à un "composant" à part entière du Jumeau
- Atelier 2, 21 octobre 2021 : Comment tester et valider un Jumeau Numérique ? Quels test-bed ou proofs-of-concept sont possibles ? Une certification est-elle possible ?
- Atelier 3, 6 janvier 2022 : Comment développer un Jumeau Numérique ? Quelle standardisation d'un Jumeau Numérique ?
- Atelier 4, 24 mars 2022 : Systèmes de Jumeaux : application au territoire, supply chain, etc.

Ces séminaires ont été construits en deux parties, une première avec des présentations introductives sur le thème avec deux-trois spécialistes du sujet, et une seconde avec un échange (questions/réponses) permettant de faire émerger la maturité de l'audience sur le sujet.

Un site web a été mis en place pour cette action, qui regroupe les captations des ateliers : <https://action-jn.sciencesconf.org/>

**Synthèse scientifique** Nous avons structuré cette synthèse en quatre axes concernant la définition du JN, la place de l'humain dans le JN, le cycle de vie du JN et l'architecture du JN. De nombreuses perspectives sont mises en avant.

**Définition et périmètre du JN** Un premier résultat de cette action a été de montrer la diversité de définition de ce concept, sans véritable consensus. Récemment, Semeraro et al. (2021) ont identifié plus de 30 définitions de ce concept. Une généralisation proposée par ces auteurs est la suivante : "*A set of adaptive models that emulate the behaviour of a physical system in a virtual system getting real time data to update itself along its life cycle. The DT replicates the physical system to predict failures and opportunities for changing, to prescribe real time actions for optimising and/or mitigating unexpected events observing and evaluating the operating profile system*". La série de standards ISO 23247 :2021 vient de paraître sur le JN dans un contexte de fabrication.

Il faut noter qu'il y a de plus en plus une confusion entre le JN et la simulation, sachant que si la simulation est une brique importante du JN, elle ne peut pas se résumer à cette brique uniquement. La taxonomie de Krintzinger et al. (2018), même si elle est critiquable, met en avant l'importance des flux de données, d'informations et de décisions entre les deux jumeaux, ce qui peut clarifier le positionnement du JN par rapport à la simulation.

**Place de l'Humain dans le JN** La taxonomie de Krintzinger et al. (2018) place le JN dans un flux automatique avec son jumeau physique, ce qui place l'Humain hors de cette interaction. Les échanges dans la communauté de l'action ont mis en avant un désaccord sur cet aspect, préférant souvent définir le JN comme un outil d'aide à la décision au service des agents humains impliqués dans le système de production. Ce positionnement se retrouve aussi dans les définitions des objectifs du JN disponibles dans la littérature. La notion de Cognitive Digital Twin essaie de mettre en avant cette place de l'Humain avec le JN (Zheng et al., 2021)

De manière complémentaire, l'Humain se retrouve à plusieurs niveaux dans le JN :

- Modélisé à part entière pour évaluer son ergonomie, sa sécurité, son bien-être, etc.
- Modélisé dans le JN comme partie intégrante du système de production (un opérateur logistique d'un atelier par exemple),
- En interface avec le JN pour une aide à la décision, de la supervision, etc.

Cette diversité pose la question de l'interface entre le JN et l'Humain, que ce soit sur la captation de

données (et donc les données individuelles et la potentielle crainte d’une surveillance) et le partage d’informations et de connaissances (pour ne pas surcharger cognitivement). De plus, comme toute innovation technologique, le JN va avoir un impact sur le monde du travail, champ scientifique qui est à ce jour peu exploré.

**Cycle de vie du JN** Comme tout système, un JN a un cycle de vie qui lui est spécifique, surtout dans son interaction avec son Jumeau Physique et son cycle de vie.

Melesse et al. (2020) présentent les défis qui restent à relever sur le début de vie du JN sur les systèmes de production, à savoir sa conception et son déploiement, notamment : les difficultés à construire, comprendre et contrôler les systèmes avec des modèles multi échelles précis et fiables, le manque de connaissances et de méthodologie sur ces modèles, la difficulté de prédire le comportement de systèmes complexes, la difficulté d’accéder aux données pertinentes, le manque de synchronisation entre les mondes physique et numérique et la difficulté de maintenir les modèles et de vérifier et tester leur validité.

Ces défis ont aussi été relevés par les membres de l’action. Il a été aussi noté un manque important de méthodologie et de “testbed” sur les phases de validation et de certification qui tiennent compte des spécificités des JN.

**Architecture du JN** Un aspect essentiel du déploiement d’un JN est la définition de son architecture. De nombreuses architectures ont été proposées dans la littérature - certains articles les passent en revue (Semeraro et al., 2021), (Pystina et al., 2022). Parmi les architectures les plus référencées, on peut citer (Grieves et al., 2017, Tao et al., 2018, Redelinghuys et al., 2018, Boje et al., 2020), pour n’en citer que quelques-unes, mais aucune ne fait référence.

Sur la dimension comportementale du JN, un consensus est installé sur la prédominance de la simulation (quelle que soit sa nature, simulation à base d’agents, simulation de flux, etc.), même si la forte progression de la maturité des approches d’Intelligence Artificielle permet de diversifier cette composante.

**Conclusions** La communauté du GDR MACS (avec celles de la SAGIP et du GIS Smart) s’est bien appropriée ce concept de JN, avec un fort développement des travaux de recherche sur cette thématique. La communauté industrielle se mobilise aussi sur ce concept (AFIS, AFNET (Projet Atlas), AIF, AFNOR (nouvelle commission de normalisation JN), capdigital), avec une présence reconnue de la communauté scientifique.

Ce champ est encore jeune, comme le montre le manque de définitions, d’architectures ou de méthodologies de référence mais ouvre de nombreuses perspectives. Un livre blanc de synthèse est en cours de construction.

#### Références

- Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., Rezgui, Y. : Towards a semantic construction digital twin : Directions for future research. *Automation in Construction*, 2020, 114, 103179.
- Grieves, M., Vickers, J. : Digital twin : Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In : *Transdisciplinary perspectives on complex systems*, Springer, Cham 2017, 85–113.
- Kritzinger, W. ; Karner, M. ; Traar, G. ; Henjes, J. ; Sihn, W. Digital Twin in manufacturing : A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine* 2018, 51, 1016–1022.
- Melesse, T.Y., Di Pasquale, V., Riemma, S. : Digital twin models in industrial operations : A systematic literature review. *Procedia Manufacturing* 2020, 42, 267–272.
- Pystina, K., Sekhari, A., Gzara, L., Cheutet, V. : Digital twin for production systems : a literature perspective. In : *International Workshop on Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing*, Springer, 2022, 103–117.
- Redelinghuys, A., Basson, A., Kruger, K. : A six-layer digital twin architecture for a manufacturing cell. In : *International Workshop on Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing*, Springer, 2018, 412–423.
- Semeraro, C. ; Lezoche, M. ; Panetto, H. ; Dassisti, M. Digital twin paradigm : A systematic literature review. *Computers in Industry* 2021, 130, 103469.
- Tao, F., Zhang, M., Liu, Y., Nee, A.Y. : Digital twin driven prognostics and health management for complex equipment. *Cirp Annals*, 2018, 67(1), 169–172.
- Zheng, X., Lu, J., Kiritsis, D. : The emergence of cognitive digital twin : Vision, challenges and opportunities. *Int. J. Production Research*, 2021, 1–23.

## A.5.9 Les outils MACS appliqués aux drones aériens

**Porteur** Pedro Castillo

Cette action commencée en 2021 a pour objectif principal la consolidation de l'activité de l'automatique (outils MACS) appliquée aux drones aériens principalement en France. Par ailleurs, un des objectifs principaux est de stimuler la coopération entre les acteurs français travaillant sur cette thématique, afin de partager ces compétences scientifiques et/ou techniques. Un des points importants de cette action est d'inclure les acteurs français les moins visibles mais ayant une activité scientifique autour de la commande de drones. Finalement, notre idée est aussi de faciliter la coordination des chercheurs travaillant en France sur des thématiques de recherche scientifique (et/ou technique) sur les drones (ou leurs applications) et d'accroître la visibilité de cette activité à l'international (création de workshops).

La démarche de cette action pendant ces deux années a été menée en collaboration avec le GT2 (véhicules autonomes), spécifiquement le GT-UAV. Guillaume Allibert de l'I3S, co-responsable du GT-UAV, a participé activement à cette action. Pendant la première année (2021), l'invitation a été lancée au sein des acteurs du GT-UAV. La plupart des réponses se sont avérées positives. En revanche, un nombre restreint de nos interlocuteurs ont demandé de plus amples informations. Ils désiraient connaître les différences entre l'action et le GT-UAV; pour eux, cela semblait être la même chose (même responsable, lignes de travail, etc). Nous leur avons donc fourni des explications. Des invitations ont été lancées pour d'autres acteurs français travaillant sur l'automatique avec une application (ponctuelle) sur les drones aériens. Leurs réponses étant très positives, nous les avons inclus dans la 'mailing liste' GT-UAV-Action-MACs, ex : Sylvain Durand (INSA-Strasbourg & ICube), Cristina Maniu (Centrale Supélec), François Guerin (Université Le Havre Normandie - ISEL - GREAH), Didier Thelliol et Jean Christophe Ponsart de l'Université de Lorraine - CRAN, entre autres.

Une réunion de l'action a été organisée en collaboration avec la journée GT-UAV le 10 décembre 2021. La réunion a été organisée en format Webinar, en collaboration avec Guillaume Allibert. Nous avons eu 5 conférenciers et 39 participants. Avec l'idée d'utiliser les relations entre les groupes de travail GdR robotique/SAGIP afin de faire rayonner cette action, la mise en œuvre de plusieurs initiatives (nationales et internationales) s'est révélée indispensable en 2022. L'action a été présentée au colloque organisé par la SAGIP et le GDR MACS à Bidart du 23 au 25 mai. Les perspectives pour cette année 2022 ont également été présentées. Pendant cette réunion, j'ai eu l'opportunité de connaître d'autres groupes de recherche avec une activité automatique appliquée aux drones aériens. Par exemple, Kevin Guelton de l'Université de Reims Champagne-Ardenne. L'action a été également présentée durant le workshop « Robotique mobile - commande, estimation et applications », le 8 Juin 2022 à CentraleSupélec organisé par Cristina STOICA MANIU, membre de cette action.

Dans un cadre international, l'action a été diffusée et présentée au 11th IFAC Symposium SAFE-PROCESS 2022 (7-10 juin 2022) pendant le workshop « commande tolérante aux fautes appliqués aux drones aériens » organisé par Youmin Zhang de Concordia University, Canada, le 10 juin 2022. Pendant la conférence ICUAS 2022 ([www.uasconferences.com](http://www.uasconferences.com)) l'action a été également présentée au workshop FTC (Fault-tolerant control) pour les drones aériens le 21 juin 2022 organisé par Youmin Zhang (Canada) et Didier Thelliol (membre de l'action) de l'Université de Lorraine, France.

Cette action GdR-MACs a été active aussi aux journées communes GT2 - GT4 du 3 et 4 octobre 2022 au laboratoire CRISAL à Lille sur la thématique sûreté de fonctionnement et architecture de contrôle de systèmes robotiques autonomes. Didier Thelliol, invité plénier, a présenté ses recherches sur la commande tolérante aux fautes appliquée aux drones. Cette journée a été organisée en collaboration avec M. El Badaoui, S. Rohou, G. Allibert et C. Lesire-Cabaniols. La journée a accueilli 10 exposés, 32 participants, 1 table ronde et 1 retour d'expérience sur le challenge CoHoMA (challenge organisé par l'Arme de Terre). Une journée scientifique de l'action et du groupe de travail GT-UAV a été organisée, en présentiel, au laboratoire LS2N à Nantes le 07 décembre 2022, en collaboration avec Isabelle Fantoni (LS2N) et Guillaume Allibert (I3S). Nous avons bénéficié de la présence de 11 conférenciers et de plus de 30 participants (présentiels et virtuels).

Pour rappel, les objectifs secondaires de cette action sont : organiser des réunions/séminaires de travail réguliers ; planifier un workshop (national, international) ; créer une cartographie géographique des groupes de recherche impliqués sur l'activité des drones ; identifier des sujets scientifiques ; être présents dans les conférences internationales ; concevoir un site internet dans la but d'informer la communauté et la réalisation d'un ouvrage incluant des acteurs en France. Par conséquent, nous concluons qu'une grande partie des objectifs de cette action ont été atteints. Toutefois, certains sont toujours en cours. Enfin, nous avons songé à la réalisation d'un ouvrage ; cela ne sera pas effectif dans l'immédiat. Dans les réunions/séminaires organisés, nous constatons la présence de l'automatique et de son application

dans les drones aériens, soit en mode d'un seul agent, soit en mode multi-agents. Les participants aux réunions ont rencontré et échangé avec d'autres acteurs scientifiques, afin d'établir des liens professionnels. L'organisation de réunions dans différents laboratoires a permis d'inclure de nouveaux acteurs français, travaillant sur l'automatique appliquée aux drones aériens ; acteurs qui ne faisaient pas partie du groupe de travail GT-UAV initialement. C'est d'ailleurs le cas de Rochdi Merzouki du laboratoire CRISAL porteur d'un projet ANR sur l'automatique et avec une application aux drones aériens et d'Ionela Prodan du LCIS - Grenoble INP, Valence. L'inclusion et le rayonnement de ces nouveaux acteurs nous a permis de continuer à stimuler la coopération entre les groupes de recherche en France.

Pour la partie d'identification des sujets scientifiques, nous pouvons mentionner que le fait d'intégrer des nouveaux acteurs (grâce à cette action) dans le groupe de travail GT-UAV nous donne la possibilité d'organiser des journées scientifiques spécifiques à une thématique de l'automatique. Par exemple, lors d'une discussion avec Sylvain Durand et Ionela Prodan, nous projetons la possibilité d'une journée commune entre SAGIP/GT-UAV sur la commande prédictive non-linéaire appliquée aux drones aériens. Donc, il est aisé de constater que, par cette action, nous avons pu faciliter et inclure de rencontres scientifiques entre des acteurs connus et des acteurs moins connus.

Pour faciliter l'information quasi-pérenne de cette action et en illustrer les acteurs potentiels, un site internet a été créé ([amacs.hds.utc.fr](http://amacs.hds.utc.fr)). Des informations basiques sont présentes sur ce site. Cependant, afin de rendre ce site complètement opérationnel, un travail colossal reste à entreprendre ; par exemple, la cartographie géographique des groupes de recherche. L'idée du site est de faire connaître ce point dans la communauté scientifique et d'inclure des informations intéressantes pour les groupes de recherche liés à l'automatique et aux drones aériens.

En ce qui concerne la présence de la thématique (et par conséquent de l'action) dans les conférences internationales, plusieurs participations ont été effectuées. Ces réunions nous ont donné l'opportunité de faire rayonner ces outils MACs appliqués aux drones aériens. Cependant d'autres efforts sont nécessaires pour continuer à propager cette activité aux niveaux national et international. Au niveau international, une initiative prend forme, et nous avons des discussions avec Kimon Valavanis (organisateur de la conférence ICUAS) afin d'organiser, en 2025, cette conférence en France. Nous créons actuellement un groupe de travail (Didier Thelliot et Pedro Castillo) afin de mener à bien cette initiative. J'ai déjà contacté d'autres collègues pour les inclure dans le groupe de travail. L'objectif est de permettre le rayonnement à l'international des groupes de recherche en France travaillant sur des thématiques scientifiques avec une application aux drones aériens.

Nous pouvons donc conclure, que cette action a permis d'intégrer les petits groupes de recherche en automatique avec une application aux drones et de stimuler en même temps les réseaux existants (par ex : GT-UAV). Des efforts restent nécessaires afin de poursuivre cette action. Ceci permettra une mise en lumière plus importante de cette thématique de recherche française à l'international. Plusieurs questions ont été posées pendant les activités de l'action. Par exemple, organiser des réunions sur une thématique scientifique spécifique de l'automatique. Cependant, nous avons évoqué une autre difficulté : bien choisir les dates pour les réunions. En effet, la tenue de plusieurs réunions en France (journées scientifiques, workshops, conférences, etc) fait rejaillir l'impression de rater des opportunités à certains collègues. Finalement, la réalisation d'un ouvrage incluant des acteurs en France, demeure un point pertinent et captivant à édifier.

### A.5.10 Les réseaux sociaux et l'Automatique

**Porteur** Paolo Frasca

L'action vise à recenser, explorer et populariser les applications du contrôle automatique aux dynamiques sociales, notamment dans les réseaux sociaux. Ces dynamiques concernent des dynamiques d'opinion, d'engagement, de viralité. En effet, les dynamiques sociales, surtout dans les réseaux sociaux en ligne, sont de mieux en mieux observées et quantifiées. On est donc en situation d'en avoir des modèles mathématiques sur lesquels les méthodes de l'Automatique peuvent être utilisées. L'Automatique, de son côté, a développé au cours des deux dernières décennies une palette de méthodes pour l'étude de la dynamique des réseaux, surtout adaptées aux dynamiques dites "de consensus". Ces dernières ont des similarités avec certains modèles développés dans la sociologie mathématique. Il semble donc opportun pour la communauté française de mobiliser cette expertise en se mettant plus en relation avec des experts du domaine, dans le but de développer une approche automatique à l'analyse des réseaux sociaux. En raison du caractère central du modèle dans l'approche automatique, celle-ci pourrait se distinguer d'autres approches formelles, par exemple celles basées sur les données en intelligence artificielle.

Le but de l'action est donc de stimuler l'intérêt de la communauté de l'Automatique à considérer davantage ce domaine d'application, de promouvoir les outils de l'Automatique auprès des chercheurs en Sciences Sociales et en informatique, et de définir des problèmes, soit d'analyse, d'identification, d'observation, ou de commande, d'intérêt commun.

L'action fait partie d'un premier lot d'actions, annoncé fin 2019. En raison de la pandémie, le développement proprement dit de l'action a été différé et a commencé en 2022, avec une enquête en ligne auprès de la communauté MACS. Cette enquête a permis de mettre en évidence un bon intérêt pour le sujet et d'identifier un petit nombre de projets en cours dans différents sites universitaires. L'objectif de cette année 2023 sera de rassembler cette communauté, encore petite et éparpillée. Vraisemblablement, le moment fort pour cette rencontre serait un workshop à l'automne. Comme de nombreuses autres communautés (informatique, systèmes complexes, économie) traitent des réseaux sociaux, l'action entend également entrer en contact avec elles et notamment avec les GdR correspondants, tels que MADICS et CIS.

### **A.5.11 Obsolescence et raréfaction : freins inévitables ou niches d'innovation. Perspectives de recherche en prédiction de l'obsolescence**

**Porteurs** Marc Zolghadri, Claude Baron

**Contexte** En France, jusqu'en 2015 la problématique de l'Obsolescence avait été abordée quasi-exclusivement selon les points de vue suivants :

- Obsolescence programmée. Sujet pris par les associations de défense des consommateurs, à notre connaissance, il n'a pas été abordé, à notre connaissance, par une approche scientifique.
- Obsolescence des composants électroniques. De nombreux industriels confrontés à l'obsolescence de ces composants ont défini des méthodes spécifiques de gestion de l'obsolescence et de la pénurie. Des initiatives d'envergure plus large ont été identifiées aux États-Unis (dès les années 80s), en Angleterre et en Allemagne. En France, le groupe d'industriels AFNOR GE Obso a travaillé sur les questions liées à l'obsolescence de ces composants depuis la fin des années 90s.
- Hormis ces initiatives, les premiers et rares travaux scientifiques ont vu le jour aux USA dès les années 2000.

Nos travaux sur cette problématique ont démarré dès 2016. L'Action Obso 2020-2022 a permis de structurer la problématique liée à l'obsolescence et à la pénurie, d'identifier des disciplines en connexion directe avec celle-ci et de créer une communauté pérenne d'intérêts scientifiques et industriels.

Ce document présente très brièvement le déroulement de l'Action Obso, les résultats obtenus ainsi que les perspectives envisagées dont certaines font l'objet des investigations déjà engagées.

**Déroulement de l'action et Bilan des activités menées** La proposition de l'Action avait 3 objectifs.

[Objectif A] : Clarifier les concepts d'Obsolescence programmée et d'Obsolescence non-programmée.

Organisation de 3 réunions à distance (1 réunion plénière et 2 réunions de Comités techniques avec un groupe de travail déclaré sur Obsolescence programmée / "naturelle")

Premier résultat : publications multi-partenaires : Validation de la contribution du GT par une collection d'articles dédiés dans le journal Techniques de l'Ingénieur. A ce jour les articles suivants sont publiés :

1. Maintien en condition opérationnelle et gestion de l'obsolescence, Marc Zolghadri, Pascal Vrignat, Mariem Besbes, Frédéric Kratz, 2023, Réf : G7008 v1, [doi.org/10.51257/a-v1-g7008](https://doi.org/10.51257/a-v1-g7008)
2. Gestion de l'obsolescence dans le ferroviaire, Vincent Bourgeois, Vincent Narbot, 2022, [doi.org/10.51257/a-v1-g7020](https://doi.org/10.51257/a-v1-g7020)
3. Obsolescence des systèmes informatiques et du logiciel, Claude Baron, Yann Argotti, Marc Zolghadri, Sid-Ali Addouche, Mariem Besbes, Kevin Boissie, 2022, Réf : H7002 v2, [doi.org/10.51257/a-v2-h7002](https://doi.org/10.51257/a-v2-h7002)
4. Obsolescence des vêtements : un effet de mode? Noémie Pichon, Romain Benkirane, Sébastien Thomassey, 2022, G7004 v1, [doi.org/10.51257/a-v1-g7004](https://doi.org/10.51257/a-v1-g7004)
5. Obsolescence : un phénomène de société?, Claude Baron, Marc Zolghadri, Sid-Ali Addouche, Yann Argotti, Kevin Boissie, 2021, Réf : H7000 v2, [doi.org/10.51257/a-v2-h7000](https://doi.org/10.51257/a-v2-h7000)

6. Gestion de l'obsolescence des composants pour la CEM, Alexandre Boyer, Marine Stojanovic, Kevin Loudière, Frédéric Lafon, Sébastien Serpaud, (2022), Réf : G7034 v1, [doi.org/10.51257/a-v1-g7034](https://doi.org/10.51257/a-v1-g7034)

D'autres articles sont en cours d'écriture, de relecture ou de publication, sur les sujets comme l'obsolescence en Automobile, Durabilité et économie circulaire, Aéronautique ...

Deuxième résultat : Série de "petites" vidéos. Un travail sur l'action PUNCHY ([unit-3.crihan.fr/evenement/creer-actualites-28](https://unit-3.crihan.fr/evenement/creer-actualites-28)) de UNIT (Université Numérique Ingénierie et Technologie) visant la création d'une série de 13 micro-modules disponibles en ligne librement : conception de la série, choix des technologies H5P pour la réalisation des supports interactifs, scénarisation du premier module, identification d'intervenants industriels pour les interviews.

[Objectif B] : Structurer de façon consensuelle le domaine de recherche et créer la communauté d'intérêts - proposer un référentiel français - éléments de terminologie

Nos actions ont permis de créer un réseau grandissant de collaborateurs français et internationaux. Ces résultats sont énumérés ci-dessous.

Premier résultat : Animation de la communauté. Nous avons établi et renforcé nos collaborations avec des groupements d'industriels et d'académiques via une série d'actions listées ci-dessous :

- Conférence invitée PMMC 2022 : « Obsolescence and Supply Chain », 10 Mars 2022
- [www.dsp.dla.mil/Publications/DSP-Journal](https://www.dsp.dla.mil/Publications/DSP-Journal)
- Conférence invitée Changchun University of Technology (CN), « Obsolescence management », septembre 2021
- Conférence invitée du groupement Maintencia « Obsolescence et MCO », octobre 2021
- Participation au groupe de travail 'Management de l'obsolescence' du GE OBSO de l'AFNOR

"Obso-Days : Journées de l'Obsolescence". Fer de lance de notre action, depuis 2020, la 3ème édition du colloque Obso-Days sera organisée en Avril 2023 dans les locaux de Selha Group (Eu, Normandie). La première édition a eu lieu en visio-conférence (avril 2021) tandis que la deuxième édition s'est tenue en présentiel dans les locaux d'Alstom Villeurbanne en avril 2022. Pour le colloque qui aura lieu en avril 2023, nous avons obtenu le soutien des entités suivantes ([www.institut-obsolescence.fr](https://www.institut-obsolescence.fr)) : GDR-MACS, SAGIP, AFM (Association Française de la Mécanique), GIS Smart, Club EEA. Ainsi que le Pôle de compétitivité Systematic, le Pôle de compétitivité Véhicule du Futur, ALSTOM, Selha Group, Valeo.

Deuxième résultat : L'association loi 1901 « Institut Français de l'Obsolescence » est née en 2019. Elle est devenue le Chapitre Français de International Institute of Obsolescence Management, le 14 juillet 2022. Il s'agit d'un pas important permettant à notre association d'avoir accès à plus de 700 praticiens de la gestion de l'Obsolescence, répartis en Amérique du Nord, en Europe et en Asie. Le chapitre français a établi un premier contact avec l'Afrique (Nigeria) pouvant, à terme, d'aboutir à la création d'un chapitre sur le continent.

Troisième résultat : Le projet ANR PRCI « EOS » (Aide à la gestion active de l'obsolescence des systèmes) a été lauréat de l'appel ANR AAPG 2022. Il est financé (600k€ de subvention) pour une durée de 4 ans (2022-2026). Nos partenaires sont l'ISAE-Supméca, le LAAS-Toulouse, Valeo, Merem Electronique.

Quatrième résultat : Nos collaborations académiques et industrielles.

- Collaborations industrielles
  - Collaborations avec l'État-major de l'Armée de l'Air : obsolescences de Mirage 2000 et calcul des stocks de constituants critiques. 1 stagiaire Aspirant de l'école de l'air (Mars/Juin 2021). 1 stagiaire ingénieur (Juillet/Août 2021)
  - Collaborations avec l'Armée de Terre (SIMMT, structure intégrée du maintien en condition opérationnelle des matériels terrestres) : Processus de gestion d'obsolescence des matériels chez Nexter. 1 stagiaire de l'Armée de terre (Mars/Septembre 2021) : Réingénierie des procédures de gestion de l'obsolescence. Projet de poursuite en Thèse (VAE auprès de l'ED Sciences et Ingénierie de l'Université Cergy Pointoise). 1 stagiaire de l'Armée de terre (Mars/Septembre 2022) : Réingénierie des procédures de gestion de l'obsolescence.
  - Collaborations avec SNCF Réseau 2022-2025 : Thèse CIFRE sur MCO et Gestion de l'Obsolescence
  - Collaborations avec TemmaCare 2023-2026 : Thèse CIFRE sur Gestion de l'Obsolescence en Santé (Financement accepté, le doctorant candidat s'est désisté au dernier moment)
  - Soumission d'une demande d'Orange Lab (et Ecole Centrale de Paris via la chair Résilience) pour une thèse 100% financée. En attente de la décision.
- Elaboration d'un programme commun de Mastère spécialisé « Obsolescence » en collaboration



avec nos partenaires industriels (Valeo, Alstom, SNCF, ...) nous préparons un projet de création d'un Mastère Spécialisé (reconnu par le CGE) porté par l'ISAE-Supméca pour un démarrage prévu en septembre 2024.

Cinquième résultat : ObsoWiki. Création de l'architecture du site Obso Wiki et du manuel d'utilisation ([obsowiki.fr](http://obsowiki.fr)) : le site a été créé ; le contenu est à créer et déposer.

Activités menées au-delà des objectifs visés :

- Initialisation des travaux sur un prototype d'outil COBRA d'aide à la gestion de l'obsolescence (mise en place de l'architecture informatique)
- Projets étudiants ISAE-Supméca (4 mois, 2021-2022) : extraction automatique (Ui-Path) et analyse des données des composants électroniques à risque d'obsolescence des fournisseurs de composants électroniques Vishay ; ST Microelectronics, Intel. Ce travail a fait l'objet d'un article de conférence soumis au CIRP CMS 2023.

[Objectif C] : Cartographier ressources et compétences

Ce travail est réalisé au fil de l'eau. Nous avons une cartographie nationale et internationale de la communauté. Ces informations sont enregistrées sur l'espace Partage du LAAS-CNRS.

**Perspectives des actions** Le déclenchement de nombreuses actions menées pendant les deux dernières années nous a permis d'envisager plusieurs perspectives :

- Recherche scientifique
  - France. Nos travaux déjà lancés et l'animation créée autour des problématiques citées ont permis de voir une complémentarité avec plusieurs communautés scientifiques à savoir : Maintenance, Fiabilité, Ingénierie Systèmes, Economie circulaire. Les liens sont pour certaines existantes et pour d'autres à construire.
  - International. Nous avons entamé une collaboration avec notamment P.Sandborn de l'Université de Maryland. Un élargissement des travaux avec la communauté maintenance est en cours de réalisation dans le cadre de nos implications dans le TC5.1 de l'IFAC (le groupe de travail AMEST).
- Recherche appliquée et transfert.
  - France. La création du Chapitre Français de l'IIOM nous offre l'opportunité recevoir d'un nombre croissant d'adhérents industriels à l'association (Safran, Renault, Actia, MAN Energy, ...). L'institut est en train de préparer une roadmap de recherche appliquée permettant de créer des groupes de travail portant sur les problématiques industrielles. Nous définissons également les sujets d'investigation futurs de nos travaux.
  - International. Dans le cadre de nos activités au sein de l'IIOM, les deux projets importants à court terme sont : La coordination de la rédaction de livre portant exclusivement sur l'Obsolescence (2023-2024) ; La coordination d'un projet de lancement d'une revue scientifique portant sur les travaux de la discipline.