

Délibération 2021-36

Point de l'ordre du jour : V 5.2

Objet : Création du laboratoire de mécanique Paris-Saclay (LMPS)

Vu le décret n° 2011-21 du 5 janvier 2011 modifié relatif à l'École normale supérieure Paris-Saclay.

Vote unique :

Le conseil d'administration approuve la création du laboratoire de mécanique Paris-Saclay tel que présenté dans le document annexé à la présente délibération.

Nombres de votants :	25
Pour :	25
Contre :	0
Abstention :	0

Fait à Gif-sur-Yvette, le 10 décembre 2021

Pour extrait conforme,
Le Président de l'École normale supérieure Paris-Saclay


Pierre-Paul ZALIO

Pièce jointe : Création du laboratoire de mécanique Paris-Saclay (LMPS)

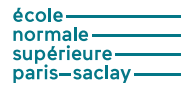
Classée au registre des délibérations sous la référence :
CA – 10/12/2021 - D.2021-36

Publiée sur le site internet de l'ENS Paris-Saclay le :
05/01/2022

Rendue exécutoire compte tenu de la transmission au
Ministère de l'Enseignement supérieur de la Recherche et
de l'Innovation le : 15/12/2021

Modalités de recours contre la présente délibération :
En application de l'article R.421-1 et suivants du code de justice
administrative, la présente délibération pourra faire l'objet, dans
un délai de deux mois à compter de sa notification et /ou de sa
publication, d'un recours gracieux auprès du Président de l'ENS
Paris-Saclay, et/ou d'un recours pour excès de pouvoir devant le
Tribunal administratif de Versailles.

LMPS



Présentation du projet

Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay

Pierre-Alain Boucard - Véronique Aubin

Document destiné au CA de l'ENS Paris-Saclay

Construction menée avec les membres des comités de direction LMT/MSSMat
Fabrice Gatuingt, Olivier Hubert, David Néron, Bing Tie, Elsa Vennat

Présentation du projet LMPS

Résumé

Ce document présente le projet de fusion des deux laboratoires LMT et MSSMat qui doit donner naissance au 1er janvier 2022 au LMPS - Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay. Cette co-construction est le fruit du travail piloté depuis près de 2 ans par les 2 comités de direction du LMT et du MSSMat impliquant de très nombreux acteurs et actrices des deux laboratoires, mais également des tutelles, des services de ressources humaines et de l'accompagnement depuis janvier 2021 d'Arnaud Laroche.

Mots clés

Recherche, Mécanique, Fusion, CNRS, CentraleSupélec, ENS Paris-Saclay.

Presentation of the LMPS project

Abstract

This document presents the merger project of the two laboratories LMT and MSSMat which should give birth to the LMPS - Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay - on January 1st 2022. This co-construction is the result of the work led for nearly two years by the two management committees of LMT and MSSMat involving many actors of the two laboratories, but also of the tutelles, the human resources services and the support since January 2021 of Arnaud Laroche.

Keywords

Research, Mechanics, Fusion, CNRS, CentraleSupélec, ENS Paris-Saclay.

Table des matières

Table des matières	i
1 Présentation de l'unité	1
1 Introduction - Historique	1
2 Thématiques et défis sociétaux adressés par le LMPS, partenariats	3
3 Projections chiffrées	7
2 Présentation de l'écosystème de l'unité	8
1 Positionnement international	8
2 Positionnement national	10
3 Positionnement local	11
3 Organisation et vie de l'unité	13
1 Pilotage	14
2 Centres de ressources en appui à la recherche	16
3 Vie scientifique	18
4 Développement durable	19
5 Protection et sécurité	19
6 Harcèlement et risques psycho-sociaux	19
7 Intégrité scientifique	19
8 Parité	20
4 Analyse SWOT	21
1 Forces	21
2 Faiblesses	21
3 Opportunités	22
4 Menaces	22
5 Équipes scientifiques et projets associés	23
1 Présentation de l'équipe <i>COMMET</i> : <i>CO</i> mportement des <i>Ma</i> tériaux, <i>MO</i> délisation, <i>EX</i> périmentation et <i>TH</i> éorie	24

2	Présentation de l'équipe <i>MilA</i> : <i>Milieux Architecturés</i>	30
3	Présentation de l'équipe <i>STAN</i> : <i>Sciences et Techniques Avancées en mécanique Numérique</i>	37
4	Présentation de l'équipe <i>OMEIR</i> : <i>Ouvrages, Matériaux, Environnement : Interactions et Risques</i>	45
6	Annexes	i
1	Courriers de soutien des tutelles au projet	ii
2	Liste des personnels permanents au 01/01/2022 (projection)	vii
3	Organigramme du LMPS	xi
4	Rôle de la ou du responsable d'équipe	xv
5	Résultats du sondage réalisé auprès des personnels sur le mode de fonctionnement du laboratoire et le rôle du responsable d'équipe	xviii
6	Compte-rendu suite à la présentation du projet par les porteurs aux conseils des laboratoires LMT et MSSMat	xx

Présentation de l'unité

DANS cette première partie sont présentés quelques rappels sur l'historique qui a mené à la naissance du LMPS et les grandes lignes des thématiques et défis sociétaux qu'il adresse. On indique également quelques projections chiffrées.

1 Introduction - Historique

Parmi les tutelles du LMPS, on retrouve outre le CNRS et l'Université Paris-Saclay, 2 établissements sous tutelles du MESRI : l'ENS Paris-Saclay et CentraleSupélec, établissements composantes de l'Université Paris-Saclay. L'ENS Paris-Saclay se distingue des autres ENS par la présence forte et historique des Sciences pour l'Ingénieur. Le LMT crée en 1975 est le premier laboratoire de recherche créé à l'ENS Paris-Saclay (à l'époque Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technique - ENSET). CentraleSupélec est une Grande École d'Ingénieur, où est né le MSSMat, issu du regroupement en 1987 du Laboratoire de Mécanique des Sols Structures, et du Laboratoire d'Étude des Matériaux.

Depuis plus de 10 ans, ces deux UMRs qui se connaissent bien discutent d'un possible rapprochement. Les premiers échanges datent de décembre 2009. Des journées d'échanges avaient eu lieu les 1^{er} et 2 février 2011 suivies en particulier par des invitations croisées des commissions scientifiques des 2 laboratoires. Les échanges informels qui avaient suivi n'ont pas débouché sur un projet concret. Un deuxième processus s'est mené entre juin 2017 et octobre 2018, avec la tenue de journées MSSMat/LMT en juillet 2017 organisée par V. Aubin, A. Barbarulo, O. Hubert et D. Néron qui a conduit à travailler en novembre 2017 un projet de fusion poussé par les trois tutelles. Ce projet avait pour objectif de créer en janvier 2020 un futur laboratoire rassemblé. Suite à la naissance en décembre 2018 d'un autre projet réunissant d'autres laboratoires sur le périmètre de CentraleSupélec, et après échanges entre les établissements tutelles, il avait été proposé de poursuivre les discussions amorcées depuis une année entre le LMT et le MSSMat mais en pratique, l'existence de ces deux projets parallèles a conduit à l'arrêt des échanges sur la fusion entre le LMT et le MSSMat.

Avec la structuration de l'Université Paris-Saclay, une réflexion est menée entre mars et juillet 2019 autour de la création de Structure(s) Fédérative(s) au sein de l'Université Paris-Saclay. Dans le cadre du projet HCERES du LMT présenté en 2018, le porteur avait proposé qu'en lien avec son implication forte au sein du département MEP (Mécanique, Énergétique et Procédés), du LabEx LaSIPS, de la Graduate School Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes soit lancée une réflexion autour de la « mécanique » au sein de l'Université Paris-Saclay (n'incluant pas les laboratoires de recherche du périmètre de l'IPP). A l'issue de ces échanges avec les laboratoires EM2C, FAST, ICMO, LGPM, LIMS, LMEE, LMT, LURPA, MSSMat, 2 sensibilités se sont dégagées qui ont conduit à la poursuite séparée des échanges entre un pôle milieux fluides et réactifs (laboratoires potentiels : EM2C, FAST, LIMS, LMEE... qui souhaitaient mener une réflexion à échelle de 5 ans) et un pôle milieux solides, génie-civil, matériaux, procédés, structures (laboratoires concernés : ICMO, LGPM, LMEE, MSSMat...). Au sein de ce dernier pôle, deux groupes ayant des interactions aux interfaces se sont dégagés (voir figure 1.1 : « Science des matériaux », laboratoires potentiellement concernés : LGPM, SPMS, équipe SP2M ICMO, membres du MSSMat et/ou du LMT et « Mécanique des matériaux et des structures », laboratoires potentiellement concernés : MSSMat, LMT, équipe « Modélisation en dynamique des structures » et « Thermique et Énergétique » du LMEE avec pour une objectif une réflexion sur une UMR à échelle de 2 ans. Après discussion avec le CNRS, le cercle de discussion autour de la thématique a été restreint au LMT et au MSSMat, et a conduit à la naissance du projet du LMPS.

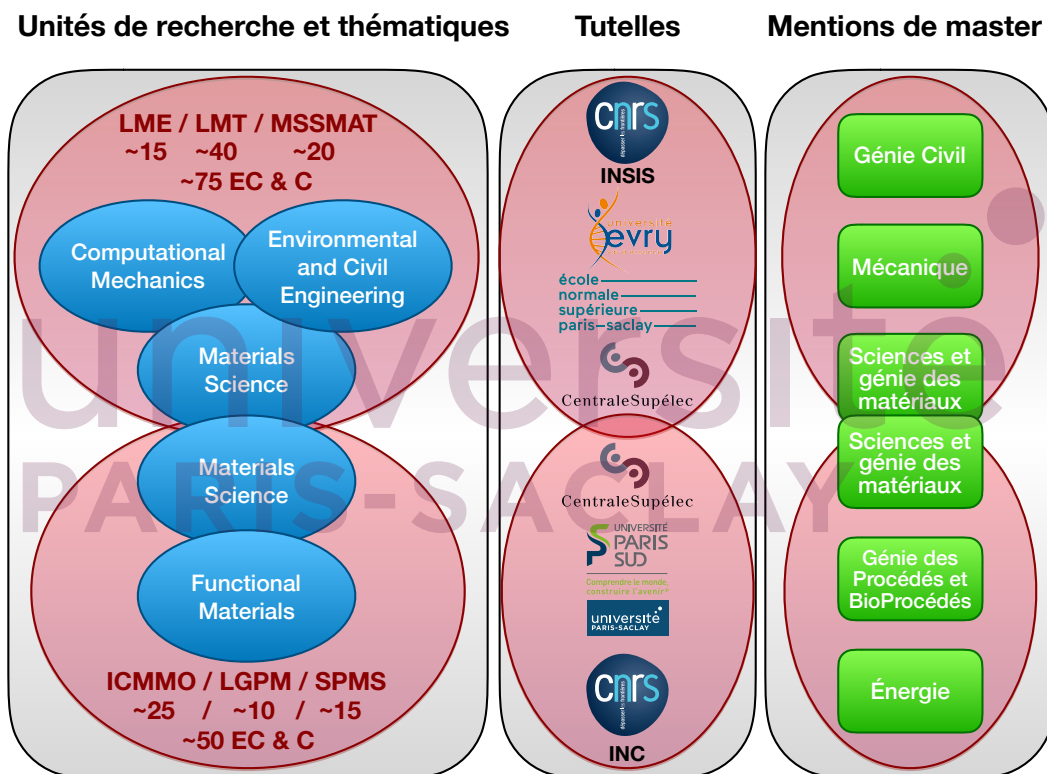


FIGURE 1.1 – Vision synoptique du pôle milieux solides, génie-civil, matériaux, procédés, structures, ses groupes et interfaces - juin 2019

2 Thématiques et défis sociétaux adressés par le LMPS, partenariats

Deux fondamentaux guident l'action scientifique du LMPS et de ses membres : la création de connaissances et de résultats scientifiques, et l'interaction collaborative forte avec les partenaires socio-économiques. La volonté de participer à la création de connaissances ayant une résonance au plus haut niveau international, ainsi que la volonté de structurer notre discipline en lui donnant d'avantage de visibilité, a conduit précocement les membres du LMPS, dans les années 1980-90, à initier la structuration au niveau national de plusieurs communautés liées à la mécanique des solides et des structures. On peut citer à titre d'exemple le GRECO « Grandes déformations et endommagement » précurseur de l'association MECAMAT pour la mécanique des matériaux, le GRECO « Calcul des structures » qui est devenu l'association CSMA pour le calcul des structures et enfin le réseau de laboratoires GEO pour le génie civil. Les membres du LMPS sont encore aujourd'hui très fortement impliqués dans le pilotage de ces associations, mais aussi dans d'autres comme l'Association Française de Mécanique (AFM) et l'Association Universitaire de Génie Civil (AUGC).

Ce positionnement au sein de ces associations résonne complètement avec le cœur du métier du LMPS qui concerne l'expérimentation, la modélisation et la simulation en mécanique des matériaux et des structures au travers de la mécanique expérimentale, l'endommagement, les instabilités et la rupture, l'optimisation des matériaux, le lien structure/propriétés, les comportements mécanique et leurs couplages, la simulation et les structures, le développement de modèles et de méthodes numériques.

Plusieurs membres du laboratoire participent également au board d'associations prestigieuses tel IACM, IUTAM, ou encore Euromech. Les prix et médailles (Médaille IACM Gauss-Newton 2018 de P. Ladevèze, médaille d'Argent CNRS 2017 de F. Hild, Médaille d'argent Tipper de l'Int. Congress on Fracture 2017 de S. Pommier, ...) ainsi que l'organisation d'événements à portée mondiale (co-organisation de la conférence WCCM 2020 en version digitale, avec deux membres du LMPS dans le comité d'organisation restreint, dont un des cochairmen) sont par ailleurs autant de marques de reconnaissance nationale et internationale de l'excellence des travaux réalisés par les membres du LMPS. Nos actions de recherche s'articulent également autour de collaborations avec nos partenaires industriels. Par des travaux pérennes, en relation étroite avec le monde industriel, le LMPS participe à identifier les verrous scientifiques sous-jacents aux verrous technologiques, permettant de dégager des axes de travail amont et menant à la définition d'actions de recherches sur plusieurs années. Ce mode collaboratif ne peut se mettre en place que sur la durée. Des contrats cadres ou des interactions plus imbriquées font partie intégrante des activités du LMPS

Les voies de recherche amont sont en constante évolution à l'image des préoccupations de nos partenaires, prêts à abonder aux financements du laboratoire de manière significative. Ce partenariat permet également de donner un cadre professionnel structurant à nos doctorants, ce qui se traduit par une insertion aisée dans le monde du travail après l'obtention de leur doctorat. On peut estimer sur la base des données du LMT et du MSSMat que plus de 50% des doctorants entameront une carrière directement dans l'industrie après

l'obtention de leur diplôme. Un indicateur important de la réussite de cette structuration se lit par le biais du nombre de thèses CIFRE au laboratoire. A la création du LMPS, plus de 30 thèses CIFRE seront en cours : le LMPS est l'un des laboratoires qui détient le plus grand nombre de ces financements sur tout le plateau de Saclay, toutes disciplines confondues, et il est le premier laboratoire pour le ratio nombre de thèses CIFRE / nombre de chercheurs permanents.

D'un point de vue scientifique, le LMPS structure ses activités et assure le développement de ses moyens autour des thématiques suivantes.

- Mécanique expérimentale, avec pour originalité les aspects multi-axiaux, le pilotage hybride, la mesure de champs 2D-3D-4D in situ multi-modale, les mesures et sollicitations multiphysiques et/ou à petite échelle, les approches intégrées, le vieillissement chimie-mécanique, la dynamique.
- Comportement mécanique et ses couplages, couplages magnéto-électro-mécaniques, changements de phases, matériaux méso-structurés, comportement non-linéaire, procédés de fabrication, couplages hydriques/mécaniques, couplages chimie/mécaniques, déformations différées et vieillissement.
- Endommagement, instabilités et rupture, fissuration par fatigue en mode mixte, endommagement anisotrope, fissuration aux petites échelles, effet de gradient, intégrité de surface et tenue en fatigue, modélisation hybride micro-méso de l'endommagement des composites et effets d'échelles.
- Simulation et HPC, réduction de modèles, décomposition de domaines, transition d'échelles, optimisation, dynamique et vibrations, approches dédiées aux propagation d'ondes et aux moyennes fréquences.
- Vérification et validation, analyses probabilistes, prise en compte de l'incertain, optimisation, pilotage par les données.

Si on développe ces thématiques à un grain plus fin, on peut lister les volets suivants :

- Développement d'outils d'observation et de compréhension des mécanismes de déformation, d'endommagement et de rupture
- Proposition et formulation mathématique de modèles fiables, utilisables pour une simulation physique du comportement des matériaux, et/ou adaptés aux problématiques et besoins industriels
- Développement d'expériences de pointe, des plus petites échelles avec des essais in situ (MEB, MET, tomographe, DRX, ...) jusqu'à l'échelle du milieu continu et des structures, faisant intervenir des chargements complexes
- Démarches de modélisation et des stratégies de calcul adaptées, efficaces et innovantes
- Méthodes et outils d'aide à la décision pour imaginer, concevoir, caractériser, fabriquer et contrôler les matériaux, structures et systèmes complexes
- Analyse de la physique et sa modélisation, mathématiques appliquées au service de l'ingénieur, simulation numérique avancée et algorithmie
- Mélange étroit de disciplines classiques (sciences des matériaux, mathématiques appliquées, etc.) et d'autres plus émergentes (sciences des données...)
- Étude des mécanismes et des interactions qui déterminent ces propriétés fonctionnelles aux différentes échelles
- Prise en compte des fortes hétérogénéités, des couplages entre échelles pouvant

- aller du nano au macro, nécessitant des approches non conventionnelles
- Etude et mise en place de méthodes spécifiques d'élaboration, de caractérisation expérimentale multimodale, de modélisation et de simulation numérique
- Prise en compte de phénomènes mettant en jeu des échelles en temps et en espaces très différentes : matériau, sol, structure du micro au km sous sollicitation de la μ s (impact) à la centaine d'années (fluage)
- Étude du vieillissement et des interactions avec leur environnement : objectif de développement durable des constructions avec prise en compte de la transition climatique
- Développement de méthodes probabilistes avancées afin d'améliorer la chaîne d'évaluation et de réduction des risques pour garantir la sûreté des installations
- Approches expérimentales hybrides (via jumeaux numériques) originales sur des sous-systèmes

Ces différentes thématiques permettent d'aborder plusieurs défis sociétaux définis par la Stratégie Nationale de Recherche, en cohérence avec le programme de l'Union Européenne pour la recherche et l'innovation. Nous pouvons citer parmi les principaux défis à relever :

- Une énergie propre sûre et efficace
- Transports et systèmes urbains durables
- Fiabilité des systèmes complexes
- Le renouveau industriel
- Gestion sobre des ressources
- Des sociétés sûres – protéger la liberté et la sécurité.

Au niveau international, grâce à une politique volontariste, plusieurs collaborations internationales ont été développées, permettant d'asseoir des collaborations fructueuses et pérennes. En sus des relations interpersonnelles que de nombreux chercheurs du laboratoire ont nouées avec leurs pairs dans de nombreux pays, on peut noter la mise en place de partenariats structurés permettant l'émergence d'activités de recherche en nombre conséquent. Les deux actions à mettre principalement en valeur concernent :

- Le LMPS et l'Université Leibniz de Hanovre (LUH) (initialement LMT et LUH) après avoir collaboré pendant 8 ans dans le cadre de l'IRTG (International Research Training Group) intitulé ViVaCE (Virtual Materials and their Validation : German-French School of Computational Engineering), ont été lauréats en 2020 d'un autre IRTG porté par U. Nackenhorst de LUH et D. Néron du LMPS autour de la thématique de la réduction de modèles et du big data. Cet IRTG nommé CoMeTeNd (Computational Mechanics Techniques in High Dimensions) aborde les problèmes dans les espaces paramétriques et stochastiques à haute dimension. En parallèle et en appui de ce futur IRTG, un Collège Doctoral européen Franco-Allemand a été créé entre LUH et l'ENS Paris-Saclay porté par U. Nackenhorst de LUH et D. Néron du LMPS et validé par l'UFA (Université Franco-Allemande) en 2019. Ce CDFA, financé de manière régulière par l'UFA, permet de mettre en place des programmes d'échange et mobilité entre les deux établissements pour continuer à favoriser les actions qui sont déjà lancées, mais aussi de postuler à des bourses de thèses dédiées.
- IRG (International Research Group) Cognac avec l'université de Brasilia au Brésil et le groupe SAFRAN. Il consiste à un co-développement de recherche autour de la prédiction de la tenue en fatigue (fretting fatigue) de pièces aéronautiques. Aujourd'hui ce partenariat a permis l'arrivée de plusieurs étudiants brésiliens et la réalisation de

thèses de doctorats, dont certaines en co-tutelles. Il est à noter le fort partenariat avec le Brésil, se réalisant de manière plus générale au sein du Collège Santos-Dumont liant l'ENS Paris-Saclay à plusieurs universités brésiliennes.

Enfin, en termes de partenariats structurants, on peut citer :

- 2 Laboratoires Commun « CNRS »
 - SteeRLab - Michelin, ICMMO, LMPS - CentraleSupélec, CNRS, Université Paris-Saclay. Ce laboratoire commun a été créé en 2017 et traite du comportement en service des renforts métalliques et polymères dans les pneumatiques, de la compréhension de l'élaboration des renforts pour pneumatiques (tréfilage, assemblage), de la compréhension de la relation structure-propriétés de matériaux métalliques, et du développement de méthodes expérimentales et numériques pour l'étude des matériaux sous forme de fil, câble, tissu
Sa directrice est V. Aubin (CentraleSupélec)
 - MC2E (Matériaux Cimentaires Eco-Efficaces) - ECOCEM, LMPS - ENS Paris-Saclay, CNRS qui traite des sujets suivants : développement de ciments alternatifs à faible impact carbone du fondamental jusqu'au applications, nouveau ciment (breveté) à base de résidus de l'industrie sidérurgique et dont l'impact carbone est diminué de 80 % par rapport au ciment traditionnel
Son directeur est M. Chaouche (CNRS)
- Autres laboratoires communs ou groupement scientifique
 - PREVI (CEA, ENS Paris-Saclay, Grenoble INP, Centrale Lille) dont les laboratoires partenaires sont : 3S-R, LaMcube, LMPS. Les thèmes concernés sont : la prévision de la tenue mécanique jusqu'à la ruine de structures soumises à des agressions de type extrême (explosions, impacts, séismes, ...), les effets dynamiques sur les structures à travers des simulations physiques et numériques en statique et dynamique des matériaux d'ouvrages (bétons standards, bétons fibrés à ultra-hautes performances, briques, sols, ...) avec comme domaine d'action de l'expérimentation, la modélisation, et la simulation numérique et la mise en commun de moyen expérimentaux.
Le contact pour le LMPS est F. Gatuingt (ENS Paris-Saclay)
 - Comp'Innov (CNRS, CETIM, ENS Paris-Saclay, Centrale Nantes) dont les laboratoires partenaires sont : GeM, LMPS. Les thèmes concernés sont : les composites pour l'industrie de la mécanique et des transports terrestres avec 3 axes de recherches : méthode de caractérisation avancée et application à l'étude de la nocivité des défauts, méthode de conception originale : méthode numérique avancée, approche multi-physique, optimisation, relation procédé/propriété et chaînage numérique
Les contacts pour le LMPS sont : F. Daghia (ENS Paris-Saclay), E. Baranger (CNRS)
 - GIS Institut SEISM (CEA, EDF, CNRS, BRGM, CentraleSupélec, ENS Paris-Saclay, ENSTA) dont les laboratoires partenaires sont : IMSIA, LMPS Les objectifs sont de fédérer les compétences des différents partenaires en matière de risque sismique et d'en faire un pôle de référence international à terme sur ces sujets.
Les contacts pour le LMPS sont : F. Lopez-Caballero (CentraleSupélec), F. Ragueneau (ENS Paris-Saclay)

3 Projections chiffrées

La figure 1.2 propose une projection des effectifs du LMPS à sa naissance. On trouvera également en annexe 2 une projection de la liste des personnels permanents présents dans l'unité en janvier 2022.

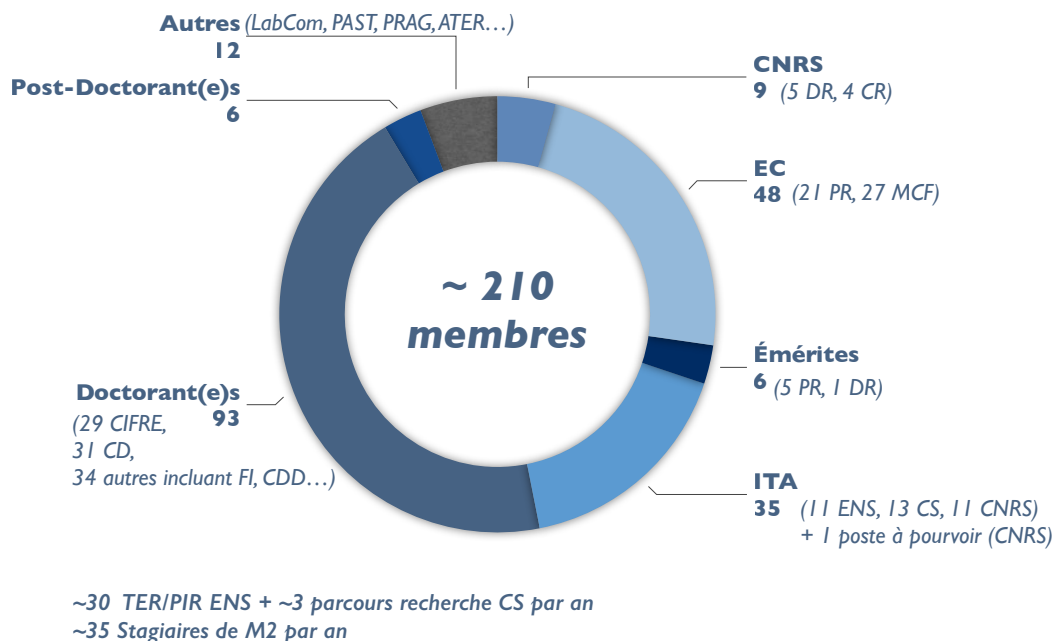


FIGURE 1.2 – Projection des effectifs du LMPS

En terme macroscopique, on peut résumer les effectifs du laboratoire de la façon suivante :

- les effectifs sont constitués pour moitié de membres permanents et pour moitié de doctorant(e)s et post-doctorant(e)s,
- parmi les doctorants et doctorantes, environ 30 % sont en CIFRE,
- ramené au nombre de permanents, on compte environ 1/3 de personnels supports techniques et administratifs,
- environ 1/5 des permanents sont CNRS, qui représentent 1/3 des personnels techniques et administratifs et 1/6 des chercheurs, enseignants-chercheurs et chercheuses, enseignantes-chercheuses
- parmi les chercheurs, enseignants-chercheurs et chercheuses, enseignantes-chercheuses il y a une proportion égale de rang A et rang B,
- on compte environ 35 % de doctorantes, 30 % de femmes Rang B, et 14 % de rang A (rappel : chiffres DGRH du MESRI, proportion de femmes en Sciences de l'ingénieur en 2014 : 22 % de femmes chez les Maîtres de Conférences, 12 % chez les Professeurs, et en section 60, seules 19% des Maîtres de Conférences et 8% des Professeurs d'Universités sont des femmes). Il est important de constater ce déséquilibre de genre dans notre discipline, et en science de manière plus générale, dont nous ne pouvons-nous satisfaire à moyen terme.

Présentation de l'écosystème de l'unité

ON présente ici des éléments de positionnement de l'unité au niveau international via un positionnement disciplinaire, ainsi qu'au niveau français et enfin au niveau local à l'échelle de l'Université Paris-Saclay.

1 Positionnement international

■ Analyse Scimago juin 2018, sur base 2013-2017, critère = nombre de publications

- Mechanics of Materials - IF : 2,65
1- Chine (148) 2- USA (128) **3- France (110)** 4- Iran (41) 5- Allemagne (36) 6- Inde (24) 7- UK (23)
- European Journal of Mechanics/A IF : 2,85
1- Chine (108) 2- Iran (80) **3- France (72)** 4- Italie (42) 5- USA (40) 6- Inde (35) 7- Allemagne (28)
- Cement and Concrete Composites IF : 4,26
1- USA (147) 2- Chine (99) **3- France (43)** 4- Corée du sud (39) 5- Italie (39) 6- Espagne (35) 7- Canada (32)
- Engineering Fracture Mechanics IF : 2,15
1- Chine (250) 2- USA (186) **3- France (91)** 4- Italie (91) 5- Allemagne (87) 6- Japon (87) 7- UK (76)
- Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering IF : 3,95
1- USA (453) 2- Allemagne (201) 3- Chine (188) **4- France (119)** 5- UK (106) 6- Espagne (101) 7- Italie (94)
- International Journal of Solids and Structures IF : 2,76
1- USA (368) 2- Chine (246) **3- France (216)** 4- UK (129) 5- Italie (118) 6- Allemagne (97) 7- Iran (51)
- International Journal of Plasticity IF : 5,7
1- USA (191) 2- Chine (108) **3- France (76)** 4- Allemagne (51) 5- Corée du Sud (40) 6- UK (28) 7- Japon (21)

FIGURE 2.1 – Extraits d'une analyse Scimago réalisée par l'INSIS en 2018 avec comme critère le nombre de publications

Afin d'analyser le contexte de la création du LMPS, on s'intéresse au positionnement international des domaines de cette future unité qui relèvent de la mécanique des matériaux, du calcul de structures, de l'ingénierie mécanique et de l'ingénierie civile. On s'appuie sur 2 analyse Scimago. La première réalisée par l'INSIS en 2018 est une analyse dont on a extrait quelques résultats pour des revues à fort facteur d'impact (IF) en lien avec les domaines

précédents (voir figure 2.1). A partir de cette analyse on constate que dans ces revues, la France se classe globalement troisième en termes de nombre de publications, ce qui montre l'importance jouée par les laboratoires français dans ces disciplines et dans lequel le LMPS souhaite avoir une place importante.

La deuxième analyse réalisée en 2021 est une analyse par thématique avec comme critère le nombre de publications ou le nombre de citations (voir figure 2.2). A partir de cette analyse on constate que sur ces thématiques, la France se classe entre la troisième et la douzième place en termes de nombre de publications, et entre la deuxième et la neuvième place en termes de citations. Il s'agit là encore d'un résultat remarquable dans ces disciplines, surtout si on le ramène aux effectifs des différents pays ou à la part du PIB consacrée à la recherche.

Analyse Scimago juin 2021 - sur base 1996-2020		
Critère	Thématique	Classement
Nombre de publications	Mechanics of Materials	1 - United States / 2 - China / 3 - Japan / 4 - United Kingdom / 5 - Germany / 6 - France
	Computational Mechanics	1 - United States / 2 - China / 3 - France / 4 - Germany / 5 - United Kingdom / 6 - Russian Federation
	Mechanical Engineering	1 - China / 2 - United States / 3 - Japan / 4 - Germany / 5 - United Kingdom / 6 - India / 7 - South Korea / 8 - France
	Civil and Structural Engineering	1 - China / 2 - United States / 3 - United Kingdom / 4 - India / 5 - Italy / 6 - Germany / 7 - Canada / 8 - Japan / 9 - Australia / 10 - Iran / 11 - South Korea / 12 - France
Nombre de citations	Mechanics of Materials	1 - United States / 2 - China / 3 - Japan / 4 - United Kingdom / 5 - Germany / 6 - France
	Computational Mechanics	1 - United States / 2 - France / 3 - China / 4 - Germany / 5 - United Kingdom / 6 - Italy
	Mechanical Engineering	1 - United States / 2 - China / 3 - United Kingdom / 4 - Japan / 5 - Germany / 6 - France
	Civil and Structural Engineering	1 - United States / 2 - China / 3 - United Kingdom / 4 - Canada / 5 - Australia / 6 - Italy / 7 - Germany / 8 - Japan / 9 - France

FIGURE 2.2 – Analyse Scimago en 2021 par thématique avec comme critères le nombre de publications ou le nombre de citations

On peut ajouter à ces différents chiffres qu'au dernier classement de Shanghai, l'Université Paris-Saclay se classait dans le domaine du "Mechanical Engineering" au 48^{ème} rang mondial, au 8^{ème} rang en Europe, et 1^{ère} en France.

Notons de plus qu'une analyse rapide sur 4 ans (évaluation PEDR) ou 5 ans (bilan HCERES) incluant 2020 donne un indicateur bibliométrique pour le LMPS de 3,5 ACL/ETP/an, ce qui le place parmi les meilleures unités de la discipline.

Il apparaît donc que le LMPS a un rôle important à jouer (comme le jouaient auparavant le LMT et le MSSMat) au niveau international. Comme indiqué précédemment, de nombreux membres du LMPS sont très présents dans des instances internationales permettant à la fois d'avoir une visibilité forte mais également de jouer un rôle important dans les grandes orientations données par ces instances.

2 Positionnement national

Pour analyser le positionnement du LMPS au niveau national, on s'appuie sur une source de l'INSIS de 2019 (voir figure 2.3).

■ **Source CNRS INSIS 2019 « Mécanique des Matériaux et des Structures » : Santé, Construction et Génie Civil, Aéronautique et Espace, Automobile, Ferroviaire, Energie, Traitement déchets, Chimie et matériaux, Aspects fondamentaux multi-applications...**

- CNRS : ~300 Chercheurs, ~270 ITA, 36 unités de recherche
- ~180 chercheurs organismes (Mines, IFFSTAR, CEA, ...) ~1850 EC et 610 ITA (+100 contractuels)
- ~1600 doctorants et 130 postdocs

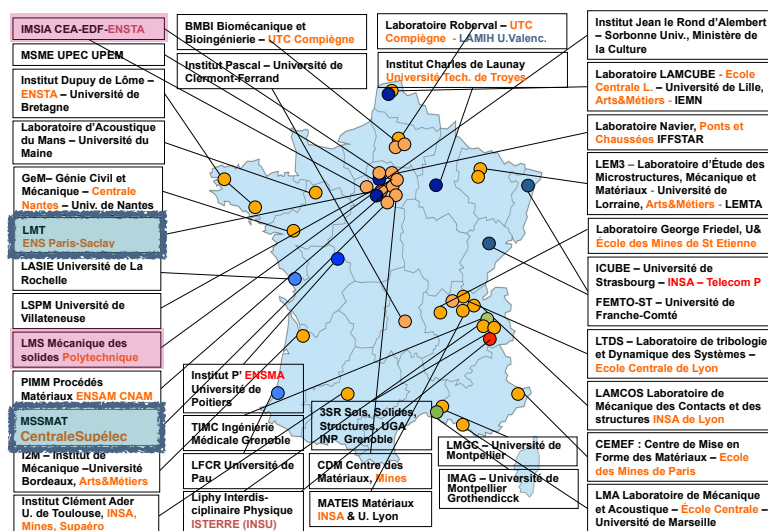


FIGURE 2.3 – Unités INSIS 2019

On constate qu'avec un effectif d'un peu plus de 2300 chercheurs et chercheurs (incluant également les enseignants-chercheurs et enseignantes-chercheuses), le LMPS représente un peu plus de 3 % de ces effectifs, pour près de 6 % des doctorants. On peut ajouter que le LMPS est donc un laboratoire de taille moyenne (certaines unités dépassent les 600 permanents) mais avec un nombre de doctorant(e)s important à la vue de ses effectifs.

D'un point de vue des spécificités du LMPS (mais d'autres unités peuvent également s'y retrouver), on peut citer les éléments suivants.

- La « mécanique » au sens large
- Une large gamme d'échelle : du nanomètre à la dizaine de kilomètres
- La mécanique des matériaux et des structures, le génie civil
- La modélisation, l'expérimentation fine et la simulation numérique performante
- Des approches originales nées des personnels (ce qui est peut-être un des principaux points différenciant)

Bien sûr, dans ce panorama national, on doit évoquer la présence sur le site de l'IPP de deux unités qui vont bientôt partager un bâtiment mais pour lesquels un regroupement ne

s'opère pas : l'IMSIA et le LMS. Bien que partenaires sur un certain nombre de sujets, il y a clairement un positionnement concurrentiel sur un certain nombre de thématiques entre le LMPS et ces deux unités.

Enfin, le LMPS est bien représenté dans les instances nationales, comme le CNU, et au sein de nombreuses associations : la Présidence du CSMA est assurée par un membre du LMPS et des membres du LMPS sont présents aux conseils d'administration de l'AMAC, de l'AUGC ou encore de Mécamat.

3 Positionnement local

Comme indiqué en début de ce document, le rapprochement entre le LMT et le MSSMat pour fusionner au sein du LMPS est naturel (rappelons que les premières discussions sur le sujet ont eu lieu en 2009 !). L'écosystème local considéré pour décrire le positionnement du LMPS est celui de l'Université Paris-Saclay. La figure 2.4 résume les différentes interactions avec l'environnement local.

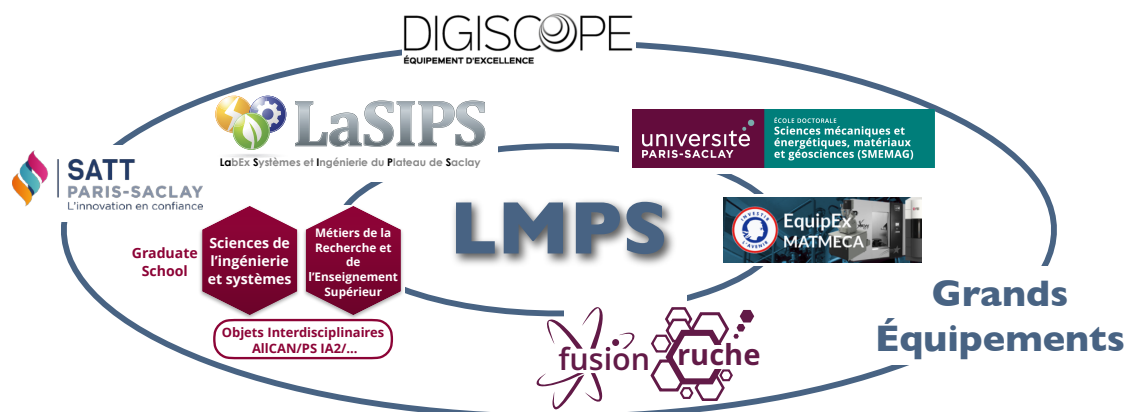


FIGURE 2.4 – Positionnement du LMPS au sein de l'écosystème local

Tant au niveau du CNRS, de CentraleSupélec ou de l'ENS Paris-Saclay, les membres du LMPS sont très investis. On peut citer notamment :

- CentraleSupélec
 - Direction du département Mécanique, Énergétique et Génie des Procédés
 - Responsabilité programme Masters
 - Élu au Conseil d'Administration
 - Élu au Conseil Scientifique
 - ...
- CNRS
 - Membre nommée Comité National de la Recherche Scientifique
 - Chargé de mission « Mécanique des solides » à l'INSIS
 - ...
- ENS Paris-Saclay
 - Vice-présidence déléguée aux études et à la vie étudiante de l'ENS Paris-Saclay,

- Présidence du Conseil d'Administration Restreint de l'ENS Paris-Saclay
- Elu(e)s au Conseil Scientifique
- Directions des DER de Génie Mécanique et de Génie-Civil et Environnement
- Vice-Présidence de Concours d'entrée
- ...

A l'échelle de l'Université, le LMPS est représenté dans de nombreux organes, dont certains dont il assure par ses membres la direction ou la coordination. Ainsi, les fonctions où les membres du LMPS sont présents sont :

- Université Paris-Saclay
 - Vice-Présidence adjointe de l'Université Paris-Saclay en charge du Doctorat
 - Direction de l'École Doctorale SMEMAG
 - Direction de la Graduate School Métiers de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur
 - Direction adjointe Formation de la Graduate School Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes
 - Coordination du LabEx LaSIPS
 - Coordination de 2 mentions de Master
 - Coordination scientifique et équipe d'administration du mésocentre de calcul qui a hébergé la machine Fusion (démantelée en juillet) et la machine Ruche financée dans le cadre du CPER 2015-2020.
 - ...

Le LMPS est également partenaire de 4 parcours de M2 en formation par la recherche, que ce soit au sein de la mention Mécanique avec les 2 parcours MAGIS - Material and Engineering Sciences in Paris et (MS)2SC Advanced Techniques in Computational Mechanics, ou au sein de la mention Génie-Civil avec les M2 MAISES Matériaux et Structures et ECD Enveloppes & Constructions Durables.

Comme indiqué précédemment, le LMPS est également positionné au sein de l'Université Paris-Saclay au sein de 2 Graduate School : Sciences de l'Ingénierie et Systèmes d'une part, et Métiers de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur d'autre part. Concernant les doctorants et doctorantes présents au sein du LMPS, ils et elles sont essentiellement inscrites à l'ED SMEMAG dont la direction est assurée par un des membres du LMPS. Enfin, toujours au sein de l'Université Paris-Saclay, deux objets interdisciplinaires (AIIKAN, et PS IA2) sont co-portés par des membres du laboratoire.

Au niveau des projets fédératifs, outre le mésocentre de simulation qui a déjà été évoqué, le LMPS est impliqué au sein de DIGISCOPE, de l'EquipEx MATMECA et la coordination du LabEx LaSIPS est assuré par un des membres du LMPS. Enfin on peut également citer qu'historiquement le LMPS, par ses laboratoires d'origine, a tissé des partenariats de longue dates avec des acteurs du plateau : Safran, EDF, ONERA, Thalès ou le CEA. . .

Les membres du LMPS sont donc très impliqués au niveau de l'écosystème local : cela offre une forte visibilité au LMPS et permet de tisser un réseau de relations pérennes avec les nombreux organes des différentes tutelles du laboratoire.

3

Organisation et vie de l'unité

DANS cette partie, on précise les grandes lignes de l'organisation de l'unité, sa structuration et son pilotage, sa vie scientifique et la prise en compte des aspects parité, risques psycho-sociaux, intégrité scientifique et protection et sécurité.

Eu égard à notre discipline, nous pouvons noter un taux d'encadrement (nombre de doctorants par HDR) important : il est près du double de celui des laboratoires de la Graduate School SIS de l'Université Paris-Saclay. Deux faits expliquent un tel résultat. Tout d'abord, la forte implication industrielle génère un nombre de contrats CIFRE et de projets en collaboration avec des industriels (ANR...) très important, permettant un co-encadrement industriel favorisant le développement de l'activité. De plus, l'environnement du LMPS favorise le recrutement d'étudiants brillants en thèse. L'environnement proche que constitue l'ENS Paris-Saclay dont la mission principale est la formation par la recherche incite un nombre important de ses élèves à démarrer un travail de doctorat, pour certains au sein même du laboratoire, favorisé par la possibilité d'obtention de contrats doctoraux spécifiques pour normaliens (CDSN). De manière générale, l'implication des enseignants-chercheurs du laboratoire dans les formations portées par les tutelles du laboratoire, formations de master recherche et d'ingénieur, offre de la visibilité au laboratoire pour attirer des étudiant(e)s issus de ces formations. Nombre de doctorant(e)s également ne sont pas issu(e)s de ces voies de recrutement ce qui donne une grande variété de profils, y compris internationaux, aux doctorant(e)s présent(e)s au LMPS.

De nombreux succès à des appels d'offres d'investissement ont augmenté considérablement les capacités expérimentales du LMPS, ainsi que la diversité des moyens d'asservissement et de mesure. Dans le laboratoire, le centre expérimental est aujourd'hui le plus doté en termes de moyens humains et en diversité de compétences partagées : c'est un point important qui permet de mener une activité de recherche expérimentale soutenue et originale.

Il est à noter également un point particulier concernant la gestion du LMPS : il est installé sur deux sites géographiques, CentraleSupélec et l'ENS Paris-Saclay. Ces deux bâti-

ments sont très proches (300m, soit quelques minutes à pied) et hébergent les personnels du laboratoire ainsi que les moyens expérimentaux et numériques propres de l'unité. Afin d'organiser la vie de l'unité, les réunions dans les différents organes du laboratoire seront réalisées en alternance sur les deux sites et cette même organisation sera très fortement encouragée à tous les niveaux. Cette alternance de sites est déjà la règle pour les échanges qui se tiennent en préparation du LMPS.

Dans la suite, on s'appuiera sur l'organigramme donné en annexe 3. Cet organigramme montre les grandes lignes d'organisation du laboratoire :

- un comité de direction qui s'appuie sur un conseil de laboratoire et une commission scientifique
- 3 centres de ressources en appui à la recherche (noms encore à finaliser) : centre de gestion, centre d'expérimentation et centre de simulation. Ces deux derniers s'appuient sur un comité de pilotage qui fait le lien entre le fonctionnement/l'investissement des centres, les équipes de recherche et le comité de direction
- 4 équipes de recherche composées d'opérations de recherche (OR)
- des axes transverses dont des premiers contours seront dressés d'ici fin 2021
- des chargé(e)s de mission internes et externes à affiner entre fin 2021 et début 2022.

Faisant écho à ce qui a été dit précédemment concernant le positionnement du LMPS sur ses 2 sites géographiques, il est important de noter que dans chaque équipe de recherche et chaque centre de ressources en appui à la recherche, on retrouve des membres sur les 2 sites géographiques. Aucune de ces entités n'est donc constituée que de personnels hébergés sur un seul site. Si ce point est une contrainte fonctionnelle à intégrer, il est aussi important pour développer le sentiment d'appartenance des personnels à l'unité. Si une des équipes ou un des centres était constitué de personnels issus d'un seul site, cela conduirait très probablement à une vie de cette entité qui se limiterait sans doute à ce seul site géographique.

Le détail de la structuration scientifique est donné dans la partie 5, relative à la présentation du projet scientifique.

1 Pilotage

Comme indiqué précédemment, le LMPS est doté de différentes instances lui permettant de gérer son activité et anticiper son développement. Les grandes lignes de ces instances sont précisées dans la suite. Le pilotage du laboratoire est assuré par un comité de direction composé du Directeur de l'Unité, de la Directrice-Adjointe et des 4 responsables des équipes de recherche. Il se réunit de façon hebdomadaire et prend toutes les décisions courantes permettant le fonctionnement quotidien du laboratoire. Il s'appuie sur deux instances consultatives que sont :

- le conseil de laboratoire, dont la composition sera précisée au dernier trimestre 2021, en respectant les préconisations du CNRS. Il comprendra classiquement la direction du laboratoire, des membres élus des différents collèges, des membres nommés, remplissant certaines fonctions au laboratoire. Son rythme de fonctionnement sera

à préciser et il sera consulté sur toute question relative au fonctionnement général du laboratoire (campagne d'emploi, profil de postes, nominations de responsables d'équipes, etc).

- la commission scientifique, dont les contours sont encore à préciser mais dont on peut supposer qu'elle regroupera la direction du laboratoire, des responsables des équipes de recherche, et d'autres représentants des personnels à définir. Elle a pour but d'éclairer la politique scientifique et favorise les réflexions transverses. Cette commission peut également être amenée à faire des propositions en termes d'accompagnement de la politique scientifique notamment en matière d'investissements lourds.

La réunion de l'assemblée générale qui rassemble tous les personnels est un point d'orgue de la vie au laboratoire. Elle est réalisée au moins deux fois par an, en début et en fin d'année universitaire, elle permet de faire un point sur la vie de l'unité et d'informer les personnels sur les changements en cours ou à venir, de toute nature. Dans la phase de vie initiale du LMPS, il sera sans doute organisée plus d'assemblées générales.

La gestion financière du LMPS a fait l'objet de nombreux échanges, et a abouti au mode de fonctionnement suivant qui s'appuie sur un investissement important du responsable d'équipe dont les missions principales ont été explicitées (voir annexe 4).

Les modalités de fonctionnement financier proposent une gestion mutualisée à 2 niveaux (équipe et laboratoire) et visent à répondre aux objectifs suivants : garantir les moyens à chacun de travailler sereinement, solidarité financière, possibilité de financement par le laboratoire de sujets exploratoires, investissement commun (moyens d'essai et de calcul), organisation de journées du laboratoire, financement d'événements scientifiques et d'actions favorisant le lien social au sein du laboratoire et le sentiment d'appartenance (buffet après les séminaires, événements réguliers pour organiser du lien social. . .), etc.

Un point important est que ces modalités sont également un moyen de construire une future unité où le dialogue et les échanges seront très présents que ce soit au niveau des équipes ou des axes transverses, au niveau des organes de pilotage (conseil de laboratoire, commission scientifique, comités de pilotages. . .) ainsi qu'au niveau de la direction. C'est un outil de cohésion pour le laboratoire qui doit permettre que le LMPS soit un lieu qui joue tout son rôle et conduise à développer un sentiment d'appartenance pour qu'au bilan l'union de tous ses membres soit plus que leur juxtaposition.

Le premier niveau de gestion est donc celui de l'équipe, afin d'ajouter à une proximité scientifique, une proximité de mutualisation et une gestion équilibrée de l'ensemble des personnels dans le respect des règles de gestion des fonds publics. Cela paraît aussi être le bon niveau de subsidiarité qui allie — comme cela a déjà été dit — une proximité scientifique des concerné(e)s et une taille des effectifs qui permet d'avoir de la souplesse. Le rôle de la/du responsable d'équipe est alors très important puisque de nombreux aspects sont gérés et validés à ce niveau.

Le deuxième niveau de gestion est celui du laboratoire, et par là on entend qu'il met en œuvre des organes communs : commission scientifique, conseil de laboratoire, centres et comités de pilotage, comité de direction. . . Ce niveau de gestion a pour but essentiel :

- d'articuler les investissements communs et le fonctionnement des centres d'appui (maintenance...) sur la base d'une politique pluriannuelle,
- de financer le fonctionnement des personnels des centres communs (formation...),
- de participer au financement des axes transverses, si ce n'est pas déjà pris en charge par un financement spécifique ou une ou plusieurs équipes,
- de permettre la réalisation d'événements à vocation scientifique,
- de créer du lien et de la convivialité, de soutenir le sentiment d'appartenance à l'unité,
- d'organiser la communication.

Si dans le processus de gestion global, la signature « finale » appartient à la directrice ou au directeur de l'unité, la proposition faite s'appuie sur un retour à différents niveaux du laboratoire : le comité de direction intègre les responsables d'équipe qui remontent les avis de leurs membres, les projets présentés ont sollicité — selon la nature du projet — les comités de pilotage des centres d'appui à la recherche impliqués, la commission scientifique, le conseil de laboratoire... L'objectif est donc d'avoir une décision qui s'appuie sur un ensemble d'avis afin d'éviter des décisions prises uniquement de manière centralisée par la direction du laboratoire.

Le mode de gestion mutualisé proposé :

- permet d'activer de réels leviers pour mener des explorations scientifiques et favoriser de nouvelles initiatives validées par toutes et tous,
- privilégie la solidarité en régulant les ressources contractuelles nécessairement fluctuantes,
- crée du dialogue et des interactions aux différentes échelles du laboratoire (équipe, centre de ressources, comités de pilotage, comité de direction, conseil de laboratoire, commission scientifique...), ce qui est particulièrement important dans la phase de démarrage d'une nouvelle structure,
- ne fonctionne que lorsque les membres du laboratoire sont actifs dans les réponses aux appels à projets et la construction de liens contractuels permettant de dégager des ressources propres.

Au bilan, le mode de gestion proposé n'a pas pour but de contrôler, mais de donner une vision d'ensemble, condition nécessaire pour une gestion cohérente, intelligente et responsable des moyens.

Ce mode de fonctionnement (incluant le rôle du responsable d'équipe) a été soumis à un sondage auprès de tous les permanents futurs membres du MSSMat et a recueilli 82 % d'avis favorable ou globalement favorable pour un taux de participation des permanents de 86 % soit la quasi-totalité des personnels permanents compte tenu de quelques congés maternité et arrêt maladie (voir résultat du sondage en annexe 6).

2 Centres de ressources en appui à la recherche

La gestion administrative et financière du laboratoire est effectuée par le centre de gestion constitué de 7 personnes : une responsable de ce centre, et six personnels dont les

missions précises sont en cours de définition. La structuration de ce centre est construite avec les personnels concernés afin de répondre aux besoins du laboratoire en s'appuyant sur les compétences de chaque personnel.

Il est important de disposer d'outils d'investissements communs permettant une mutualisation importante des ressources. En cela, le laboratoire s'est doté de deux autres centres de ressources transverses en termes d'investissement, de ressources humaines et de formation :

- le centre d'expérimentation gérant les différents moyens expérimentaux ainsi que les personnels gérant ces moyens expérimentaux,
- le centre de simulation, gérant le parc informatique (station de travail) et co-gérant le mésocentre commun du Moulon et assurant aussi la pérennisation des outils logiciels développés au laboratoire.

Ces deux centres sont chacun dotés d'un comité de pilotage permettant de prioriser les investissements communs au laboratoire, qu'ils soient initiés directement par les équipes ou sur des actions transverses au laboratoire.

On détaille ici les missions du centre de simulation : du fait du nombre de personnels présents dans le centre d'expérimentation et de la grande diversité des matériels, les missions détaillées du centre d'expérimentation sont encore en cours de définition.

La mission principale du centre de simulation est d'offrir à l'unité un cadre informatique pour la recherche et le développement, tant en matériels, logiciels et services, suffisamment performant, fiable et sécurisé pour qu'ils puissent travailler dans des conditions de confort et d'efficacité optimales. Ainsi il offre à l'ensemble des usagers du laboratoire des moyens informatiques de calcul, de stockage et de visualisation répondant au besoin commun. L'ensemble de ces moyens est mutualisé et mis à disposition de tous les usagers. Il offre un environnement basé sur des plates-formes « Linux » pour l'utilisation de logiciels industriels et la réalisation de logiciels scientifiques intégrant les dernières avancées de la recherche dans les domaines des matériaux et des structures, ainsi que des nouvelles stratégies de calcul multi-échelle, multi-physique et parallèle, le traitement des données et leur post-traitement. Il assure également le fonctionnement des divers serveurs indispensables aux différentes activités. Bien que gérant la connexion des ordinateurs dit « bureautique » au réseau du laboratoire, ce centre de ressources, compte tenu de ses compétences, n'intervient pas dans leur gestion ni leur administration. Le centre de simulation a aussi pour mission d'aider les utilisateurs du laboratoire dans leur développements informatiques. En particulier, les développements concernent l'interfaçage entre codes et dispositifs expérimentaux (caméra, pilotage de machines d'essais) ou l'utilisation de bibliothèques de calcul libres ou encore les bonnes pratiques de développement en génie logiciel. Enfin le Centre de simulation est un acteur fort de la gestion et du fonctionnement du mésocentre commun CentraleSupélec/ENS Paris-Saclay/Université Paris-Saclay : 2 de ses personnels sont impliqués dans la gestion de ce mesocentre. Tant au niveau du projet MesoNET (lauréat de l'appel à manifestations d'intérêt (A.M.I) Equipements Structurants pour la Recherche (E.S.R. : EquipEx+)) que dans le cadre d'un CPER déposé pour la construction d'un mésocentre d'ampleur à l'échelle de l'Université Paris-Saclay (dont l'arbitrage final est encore en attente), le laboratoire est donc très investi sur les aspects de simulation. En tant qu'acteur majeur, le centre de simulation initie et encourage ses membres à l'utilisation de ces moyens de calcul haute performance

mutualisés. La localisation physique et effective du centre de simulation permet d'introduire une synergie importante entre personnels du laboratoire. Appartenant à des équipes et des opérations de recherche différentes, cet espace commun partagé permet une mutualisation et une transmission des savoirs et des expériences très riche principalement entre doctorant(e)s.

Le centre de simulation est doté d'un comité de pilotage qui a 3 missions principales :

- mener une veille technologique sur les besoins informatiques tant matériels que logiciels (évolution des architectures, logiciels libres et commerciaux, réseau...),
- proposer et mettre en œuvre des solutions répondant à certains besoins exprimés par les personnels du laboratoire,
- proposer les opérations de maintenance et d'investissement et les évolutions prévues.

Pour mener à bien ces missions, il est composé

- de membres des 4 équipes dont un ou une est responsable de l'animation du comité de pilotage (préparation des réunions, compte-rendu et avis pour proposition au comité de direction),
- de personnels du centre (dont a minima son responsable).

Ce comité de pilotage se réunit au moins trois fois par an pour faire un bilan des opérations en cours, évaluer le retour d'expérience des utilisateurs, et préparer les évolutions. L'ensemble des membres du comité de pilotage participent activement à la fédération des activités du centre de simulation (réunion des utilisateurs, remonté d'information, bonnes pratiques...) pour insuffler une dynamique autour des outils de calcul au sein du laboratoire.

3 Vie scientifique

L'animation scientifique du laboratoire est assurée à plusieurs niveaux. Plusieurs types de réunions scientifiques ont lieu au laboratoire : des réunions dans les Opérations de Recherche (au plus proche des équipes encadrant les doctorants), des réunions d'équipes et le séminaire interne du laboratoire. Toutes ces réunions ont globalement un rythme hebdomadaire ou bimensuel. Le séminaire du laboratoire se veut ouvert à l'extérieur, des personnalités extérieures sont invitées très régulièrement, sur les différents domaines d'intérêt du laboratoire. Ce séminaire, obligatoire pour tous les doctorants, offre un auditoire important aux invités. Il a lieu tous les jeudis. Il est prévu que des séances soient réservées aux doctorants où ceux-ci définissent l'ordre du jour et animent le séminaire.

Il est également souhaitable que s'organisent des « journées du LMPS », tous les 3 ans (afin que tous les doctorant(e)s y participent au moins une fois). Organisées à l'extérieur des locaux, elles permettent de réunir tous les membres du laboratoire pendant quelques jours autour de discussions scientifiques et organisationnelles. Elles permettent de faire un point sur les activités et d'évoquer la participation des personnels au bon fonctionnement du laboratoire.

4 Développement durable

L'objectif est de mettre en place une réflexion sur l'impact environnemental des activités de recherche menées par le LMPS. La première étape consiste à mesurer et analyser les émissions de gaz à effet de serre générées par le laboratoire. Pour cela, il est prévu de s'appuyer sur l'outil GES1point5 développé par Labos 1point5 qui permet de mesurer et de caractériser l'empreinte carbone d'un laboratoire en termes d'émissions de gaz à effet de serre. Des actions de sensibilisation seront à mettre en place coordonnées avec les actions des différentes tutelles. Dans un deuxième temps, l'analyse de ces données et des discussions au sein du laboratoire permettront de définir une priorisation quant aux actions de réduction de l'empreinte Co2 du laboratoire. Des chargés de mission Développement durable avaient été nommés dans les deux laboratoires MSSMat et LMT, il faudra nommer des chargés de mission sur cette action pour le LMPS.

5 Protection et sécurité

La sécurité est un enjeu au quotidien. Le laboratoire doit mener une action importante vis-à-vis de son personnel affecté à la prévention. En effet, des nouveaux assistants de prévention vont devoir être nommés par le laboratoire sur ses 2 sites géographiques et un programme de formation d'assistants de prévention doit être mis en place pour continuer à améliorer la sécurité au laboratoire. Des actions de prévention aux risques sont organisées et une incitation forte à la formation SST des personnels doit également être lancée.

Enfin, la protection des données se verra accentuée sous peu par le passage en ZRR du laboratoire : des travaux préparatoires ont été entamés sur ce sujet.

6 Harcèlement et risques psycho-sociaux

Des actions concernant le harcèlement sont également menées au sein du LMPS : on peut par exemple citer la volonté d'une sensibilisation en assemblée générale, l'existence d'éléments sur ces aspects à faire apparaître au sein du règlement intérieur, et la nomination d'Assistants de Préventions aux Risques Psycho-Sociologiques (comme il en existe déjà dans les 2 laboratoires). Là encore, le laboratoire s'appuiera sur l'ensemble de ses tutelles pour prendre en compte ces aspects.

7 Intégrité scientifique

La formation à l'intégrité scientifique est essentiellement prise en charge par l'Université Paris-Saclay car elle concerne en premier lieu les chercheurs en formation que sont les

doctorants. Le collège doctoral de l'Université Paris-Saclay a accompagné la création par le conseil d'administration d'un conseil pour l'éthique de la recherche et l'Intégrité Scientifique (POLETHIS), adossé à un service support doté de moyens dédiés, chargé d'organiser l'ensemble des actions relatives à l'éthique de la recherche et à l'intégrité scientifique au sein de l'Université Paris-Saclay. Le POLETHIS a pour missions principales d'assurer la formation en éthique de la recherche et en intégrité scientifique des doctorants inscrits à l'Université Paris Saclay. La formation est à la fois théorique et pratique, générale et spécialisée. Cette formation est obligatoire pour les doctorants de l'ED SMEMAG où est inscrite la très grande majorité des doctorants du LMPS.

8 Parité

Des actions concernant la parité sont mises en place à l'échelle de la direction de la Formation de l'Université Paris-Saclay via la mise en place une mission égalité-diversité-handicap. Elle prend en charge des thématiques d'égalité femmes-hommes, de mixité sociale et de handicap. Les objectifs stratégiques et opérationnels s'inscrivent dans le cadre légal des différents textes relatifs à la lutte contre les inégalités et sont modulés selon le contexte local de l'Université Paris-Saclay. Les actions mises en place pour lutter contre les inégalités hommes/femmes sont de différentes natures :

- Sensibilisation : actions pour les étudiants et personnels sur différentes thématiques : la lutte contre les discriminations et les stéréotypes de genre, le harcèlement sexuel, l'égalité et l'insertion professionnelle, le sexisme, la mixité des métiers : débats, conférences, affiches, projections, animations diverses, interventions théâtrales, etc
- Formation : sessions organisées par des prestataires spécialisés pour les étudiants et personnels sur l'égalité femmes-hommes et le harcèlement sexuel (tout au long de l'année).
- Insertion professionnelle et évolution de carrière : en projet (mentorat avec Femmes et Sciences, chiffres enquêtes insertion pro, réseau femmes Paris-Saclay, partenariat associations spécialisées à développer, etc.)
- Elaboration d'outils mis à disposition des établissements (manuel, kit d'animation, vidéos, expositions)
- Mise en place de groupes de travail sur le harcèlement

Le laboratoire s'appuie donc à la fois sur l'Université Paris-Saclay, mais également sur des actions menées au sein des établissements hébergeurs pour les actions concernant la parité. Des chargés de mission seront dédiés à la mise en place de ces actions.

4

Analyse SWOT

CETTE partie, se consacre à l'analyse des forces, faiblesses, opportunités et menaces (SWOT) relatives à la création du LMPS. Cette analyse intègre le fait que cette création est liée à la fusion du LMT et du MSSMat, ce qui pour certains aspects est à considérer.

**1 Forces**

- Activité scientifique très importante et variée : nombre élevé de publications et très bonne visibilité aux niveaux national et international
- Mode de gestion centralisé permettant de dégager du temps pour les permanents
- Recrutement d'étudiant(e)s d'excellente qualité
- Lien enseignement/recherche très fort : l'un enrichissant l'autre.
- Activité contractuelle au service des objectifs scientifiques
- Expérience avérée en expérimentation depuis de nombreuses années
- Approches numériques originales nées dans l'unité

2 Faiblesses

- Ratio rangs A/rangs B élevé et des rangs A très impliqués dans leurs établissements et à l'échelle de l'Université Paris-Saclay
- Personnels du laboratoire confrontés à une augmentation significative des tâches administratives et des processus complexes
- Déséquilibre de représentativité homme-femme en particulier pour les personnels de rang A

- Difficultés de projection pour les rangs B HdR
- Gestion de 2 sites proches... mais de 2 sites (pas d'unité de lieu)
- Réponse aux appels à projets : 1 unité et non 2 (certaines réponses à des appels à projets étaient portés en binôme par le LMT et le MSSMat)
- Qualité de l'offre de transport

3 Opportunités

- Deux bâtiment neufs : meilleure disposition et interaction des différents espaces
- Visibilité internationale de l'Université Paris-Saclay
- Laboratoire majeur au sein de la Graduate School Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes
- Parc matériel partiellement renouvelé
- Rapprochement avec la branche « matériaux et structures » de l'ONERA
- Paris-Saclay :
 - place naturelle pour le développement des activités pluridisciplinaires de l'unité
 - environnement scientifique et matériel de premier plan dans les différentes disciplines

4 Menaces

- Non-adhésion au projet de certain(e)s
- Mélange de cultures organisationnelles très différentes
- Existence et visibilité au sein d'une grande Université
- Retards dans les campagnes d'essais et dans les thèses en général (déménagement et Covid)
- Pertes de visibilité des marques MSSMat et LMT
- Concurrence avec les laboratoires de l'IPP
- Manque d'attractivité de la région parisienne et du plateau de Saclay pour recruter des étudiant(e)s, des ITA et de jeunes enseignant(e)s chercheurs et chercheuses

5

Équipes scientifiques et projets associés

CETTE partie détaille, pour chacune des 4 équipes, les contours, motivations et défis scientifiques. La structuration en opérations de recherches (OR) est également précisée ainsi que les enjeux sociétaux adressés par l'équipe, son positionnement national et international et ses partenariats tant industriels qu'universitaires.

1 Présentation de l'équipe **COMMET** : **CO**mportement des **Ma**tériaux, **Mo**délisation, **Ex**périmentation et **Th**éorie

1.1 Membres de l'équipe

Véronique AUBIN	PR CS	Hortense LAEUFFER	IR ENS
Ahmed BENALLAL	DR CNRS Émérite	Karine LAVERNHE-TAILLARD	MCF ENS HdR
Marc BONNET	IE CNRS	Joseph MARAE-DJOUDA	MCF EPF
Rodrigue DESMORAT	PR ENS	Jan NEGGERS	MCF CS
Bastien DURAND	MCF ENS	Marc OLIVE	MC ENS HdR
Camille GANDIOLLE	MCF CS	Sylvie POMMIER	PR ENS
Yoann GUILHEM	MC ENS	Nicolas ROUBIER	IE CS
Eva HERIPRE	IR CNRS	Stéphane ROUX	DR CNRS
François HILD	DR CNRS	Jean-Hubert SCHMITT	PR CS Émérite
Olivier HUBERT	PR ENS	Maxime VALLET	IR CS
Boris KOLEV	DR CNRS	Youssef YOUNES	IE CS
Sokona KONATE	Tech. CS	Han ZHAO	PR Sorbonne

1.2 Mots clés

Mécanique expérimentale, Prototypes, In-situ, Microscopie électronique, Tomographie, Mesures de champs, Multiaxial, Multiphysique Modèles de comportement, Couplages, Matériaux hétérogènes, Microstructure, Procédés Dynamique, Fatigue, Endommagement et Rupture, Visco-élasticité/plasticité, Magnéto-mécanique, Thermo-mécanique, Couplage microstructure/mécanique Transformations Symétries, Théorie effective des invariants, Covariance, Anisotropie, Grandes transformations, Géométrie différentielle en dimension infinie

1.3 Contours, motivations et défis scientifiques

L'objectif visé est le développement d'outils d'observation et de quantification des mécanismes de déformation, d'endommagement et de rupture, la proposition et la formulation mathématique de modèles de comportement fiables de matériaux et de structures, et leur implémentation numérique. Ces modèles, à base physique, du comportement mécanique ont vocation à être adaptés aux problématiques et besoins industriels et à prévoir leur tenue en service et en condition extrême.

L'équipe porte une attention particulière au développement d'expériences de pointe, de l'échelle de l'atome, avec la microscopie électronique en transmission (MET), jusqu'à l'échelle du milieu continu et des structures, en passant par les échelles intermédiaires via les outils de dernière génération tels que le MEB- FIB, le MEB, le nanoindenteur, le tomographe, la DRX, ... Ces développements font intervenir des chargements complexes (uniaxiaux ou multiaxiaux, sous conditions monotones ou non, quasi-statiques ou dynamiques,

de fatigue, multiphysiques, sous environnement). Cela comprend notamment les aspects de pilotage d'essais jusqu'aux techniques les plus modernes d'identification et de validation des modèles développés en parallèle dans l'équipe.

L'expérimentation à toutes les échelles appuyée par des mesures de champs 2D et 3D, la modélisation multiéchelle du comportement mécanique, des couplages multiphysiques et des transformations métallurgiques, de l'anisotropie, de l'endommagement des matériaux solides et de la fissuration des structures, et la mécanique théorique, en lien avec les mathématiques fondamentales (théorie des invariants et géométrie différentielle) pour la modélisation, caractérisent les principales activités de l'équipe. Les modèles développés sont nourris par une connaissance approfondie des mécanismes physiques sous-jacents et par l'utilisation d'outils de transition d'échelles appropriés grâce à ce lien étroit entre modélisation et caractérisation expérimentale. Une attention particulière est portée à l'utilisation de ces modèles dans le contexte spécifique de nos partenaires industriels.

1.4 Opérations de recherche (OR)

OR 1. Approches multiéchelles de la déformation, de l'endommagement et de la rupture

V. Aubin, A. Benallal, R. Desmorat, C. Gandiolle, Y. Guilhem, E. va Heripre, S. Pommier, N. Roubier, J.H. Schmitt, M. Vallet

Cette OR vise à comprendre, simuler et prévoir la réponse des matériaux en fatigue ou en conditions d'usage sévère. Les activités de l'OR reposent sur 3 enjeux : - reproduire en laboratoire les sollicitations vues par la structure, ce qui nécessite des développements adaptés pour des sollicitations particulières (fretting fatigue...) ou des structures de forme spécifique (fils et câbles) - caractériser les mécanismes de plasticité et d'endommagement aux échelles pertinentes, - simuler la réponse mécanique par des approches multi-échelles construites sur mesure selon la catégorie de problèmes (fissuration, contact, endommagement diffus) afin de développer des modèles de prédiction de la durabilité des structures concernées. La fatigue, l'endommagement et la rupture des matériaux et des structures sont gouvernés par leurs hétérogénéités microstructurales, les défauts de surface ou de volume ainsi que les gradients de contrainte présents dans la structure. La compréhension des mécanismes nécessite une analyse fine de la microstructure, en lien avec le procédé d'élaboration, aux échelles pertinentes. Les études s'appuient alors sur des caractérisations à l'échelle du micromètre des propriétés. On peut citer à titre d'exemple, la mesure des contraintes résiduelles par découpe FIB, les essais mécaniques ou thermiques in situ dans le MEB ou le MET sur des échantillons prélevés au FIB, ainsi que la caractérisation de la microstructure en 2D ou 3D par microscopie ou tomographie. La prédiction de la durée de vie en fatigue nécessite d'évaluer précisément le problème au voisinage du front de fissure et comment l'histoire du chargement (multiaxialité, variations d'amplitude) et les non-linéarités du comportement du matériau (plasticité, texture, écrouissage, procédé...) modifient la vitesse et la direction de propagation de la fissure ou son amorçage. Un modèle incrémental de propagation de fissure a été développé afin de faciliter son utilisation dans le dimension-

nement des structures. La plupart des études réalisées par l'OR sont en partenariat avec les industriels des transports, avec en particulier des interactions fortes avec Michelin dans le cadre du laboratoire commun SteerLab ou Safran dans le cadre du projet Cognac.

OR 2. Comportement dynamique et multiphysique des matériaux

M. Bonnet, B. Durand, O. Hubert, K. Lavernhe, J.H. Schmitt, H. Zhao

L'objectif des travaux au sein de l'OR « Comportement dynamique et multiphysique des matériaux » est la mesure, la compréhension et la modélisation du comportement des matériaux sous différentes sollicitations mécaniques ou/et physiques -par exemple thermique ou électro-magnétiques- en statique et en dynamique. Au sein de l'OR, une part importante des activités est tournée vers le développement d'expérimentations originales permettant l'identification ou la validation des modèles (thermomécanique, barres de Hopkinson, mesures magnétiques, ...). Les expérimentations sont réalisées sous différentes sollicitations, quasi- statiques ou dynamiques, uniaxiales ou multiaxiales, purement thermomécaniques et/ou physiques et à l'aide de mesures de différentes natures (champs cinématiques et thermiques, diffraction des rayons X, imagerie électronique, mesures électriques, magnétiques, ultrasonores...). Les mesures physiques permettent ainsi les suivis de transformations de phase, de la plasticité, de l'endommagement par fatigue, par des moyens non conventionnels. La spécificité des études réunies dans cette OR tient à la prise en compte explicite lors de la modélisation du caractère « dynamique et/ou multiphysique » des phénomènes mis en jeu. S'agissant de l'étude des couplages globaux ou locaux, d'état ou de dissipation, le cadre général servant à définir les modèles est la thermodynamique des processus irréversibles. Les approches physiques ou multi-échelles permettent cependant une description plus proche des mécanismes, puisqu'à tout phénomène multiphysique peut être associé un changement de microstructure. La modélisation par changement d'échelle et la compréhension des matériaux sous sollicitations dynamiques (phénomènes transitoires) présente cependant un certain coût numérique et d'éventuelles limitations physiques (par exemple, représentativité des volumes modélisés). Ce constat justifie le développement d'approches simplifiées permettant l'introduction de modèles multiéchelles dans des outils de calcul de structures. Si le développement de code n'est pas au cœur de notre activité, il est souvent nécessaire afin de pouvoir tester la faisabilité des essais au moment de leur développement, tester les modèles développés et ainsi traiter les situations hétérogènes. Les travaux réalisés au sein de l'OR trouvent des applications dans divers domaines liés à la sécurité (tenue au chocs des matériaux, rivets,...), aux procédés de fabrication (gammes métallurgiques des aciers, soudage, compactage/frittage des polymères), et du calcul de structures en service, du contrôle et de la santé des systèmes. Outre les matériaux classiques comme les métaux/alliages et les polymères, des matériaux cellulaires (mousse, nid d'abeille, ...) et granulaires, des alliages à mémoire de forme ou encore des multimatériaux sont également étudiés.

OR 3. Eikologie

M. Bonnet, E. Heripre, F. Hild, H. Laeuffer, J. Marae-Djouda, J. Neggers, S. Roux, M. Vallet

L'imagerie quantitative est au cœur du renouveau de la mécanique expérimentale. Au travers d'une multitude de modalités et d'échelles, elle permet d'enrichir la caractérisation structurale ou superficielle par son expression cinématique sous sollicitations mécaniques, mais aussi multiphysiques, et ce dans des configurations in situ à deux ou à trois dimensions. Elle concerne de plus à la fois les matériaux depuis les échelles les plus fines (nano :AFM, MET, MEB,.. et micro : tomographie X, MEB, optique,...) que les pièces industrielles jusqu'aux ouvrages d'art. L'OR « Eikologie » a pour vocation de faire le lien entre les mesures cinématiques et thermiques issues de ces moyens imageurs et la modélisation mécanique des objets étudiés en exploitant leur synergie : la mesure expérimentale alimente la modélisation qui en retour permet la mesure de quantités mécaniquement significatives dans un ensemble d'images et de données expérimentales. L'optimalité des traitements pour minimiser les incertitudes de mesures est le fil directeur des approches développées pour viser « la juste expérience ». Les développements projetés dans un futur proche concernent les conditions expérimentales extrêmes (hautes températures, phénomènes rapides, mesures en extérieur, couplages...), l'exploitation de données pauvres, incomplètes, rares et bruitées (pour étendre le champ d'application de nos méthodes), ou encore l'optimisation d'essais et de conditions d'acquisition (préconception d'essais multi-instrumentés, agilité des acquisitions, hybridation forte de l'imagerie et de la modélisation).

OR 4. Géométrie et mécanique théorique

R. Desmorat, O. Hubert, B. Kolev, M. Olive

Mesurer et modéliser l'anisotropie élastique, plastique ou de l'endommagement des matériaux est d'une grande importance pour de nombreuses applications, allant jusqu'à la propagation des ondes dans les biomatériaux tels que les os. Le développement récent de méta-matériaux acoustiques et élastiques et la volonté de concevoir des matériaux paradoxaux ont donné une nouvelle impulsion à l'étude de l'élasticité anisotrope et à l'étude de la géométrie des tenseurs constitutifs. Les outils et concepts de théorie des représentations des groupes permettent de modéliser efficacement les phénomènes multiphysiques anisotropes et l'endommagement des matériaux. Un premier objectif de l'OR consiste à développer des algorithmes efficaces pour le calcul des invariants et des covariants des représentations tensorielles, afin de décrire explicitement leur espace de modules (équations des strates, reconstruction de tenseurs à partir de covariants d'ordre inférieur). Un deuxième objectif concerne la mécanique théorique, notamment à travers l'utilisation de la géométrie différentielle en dimension infinie (en particulier la variété des métriques riemanniennes). Ce formalisme apparaît également dans la reconnaissance de formes et le traitement d'images. Cette approche ouvre des perspectives en ce qui concerne une meilleure formulation du couplage mécanique/électromagnétisme, y compris en grandes transformations, faisant notamment intervenir la covariance générale.

1.5 Enjeux sociétaux

- Une énergie propre, sûre et efficace
 - Limiter les besoins énergétiques dans le domaine des transports
 - Assurer la fiabilité et l'efficacité des moyens de production alternatifs (pile à combustible, fusion, éolien...)
- Sûreté, fiabilité des systèmes complexes
 - Tenue des matériaux et des structures
 - Fiabilité des procédés élaboration/caractérisation de matériaux
 - Mise en place d'expérimentations pour valider les modèles
- Le renouveau industriel
 - Conception/optimisation de nouveaux matériaux
 - Capteurs et instrumentation
 - Réduction du besoin en matériaux stratégiques
 - Usine du futur

La réponse à ces enjeux sociétaux se fait au sein de l'équipe :

- en proposant des réponses pratiques aux problématiques de l'industrie produisant et/ou utilisant matériaux et structures
- en développant des outils de modélisation, de simulation et expérimentaux utiles aux chercheurs comme aux ingénieurs,
- en innovant sur les plans théoriques, numériques et expérimentaux pour aborder les nouveaux défis en mécanique des matériaux.

1.6 Positionnement national et international

L'équipe se positionne en tant que leader international en imagerie pour la mécanique, identification intégrée des lois de comportement, couplages magnéto-mécaniques, expérimentations multiaxiales, mécanique de l'endommagement et de la fissuration, géométrie effective, expérimentations aux petites échelles.

L'équipe entretient des liens forts avec des sociétés savantes internationales : DYMAT, IUTAM, EUROMECH, SEM, IDICS. A l'échelle nationale, l'équipe participe à l'animation de plusieurs GdRs (GDM, SEEDS), et est présente au sein de différentes sociétés savantes (MECAMAT, SF2M, AFM, CNFM, ...)

1.7 Partenariats industriels et universitaires

Les partenariats industriels de l'équipe sont très larges et vont d'actions établies de longue date, notamment avec de grands groupes avec qui des contrats cadres peuvent avoir été établis, à des actions plus récentes ou ponctuelles. On peut citer notamment ; Michelin, Vallourec, Meredit, Thalès, CEA (CESTA, LISN, IRFU, SRMP), EDF R&D, SAFRAN (Safran Aircraft Engines - Safran Helicopter Engines - Safran Landing Systems - Safran Tech - Sa-

fran Ceramics - Safran Composites), Ariane Group, St Gobain, Air Liquide, ArcelorMittal, Aperam, Orano (ex Areva).

Les partenariats académiques sont très nombreux : certains sont réalisés dans le cadre d'actions de collaboration récurrentes, de gré à gré ou sont formalisés par des accords entre établissements. On peut citer les unités de recherche suivantes : ICMMO (Université Paris-Saclay), MATEIS (INSA Lyon), Centre des Matériaux et CEMEF (Mines Paris-Tech), LMS (Polytechnique), SPMS et LGPM (CentraleSupélec), ONERA (DMAS), KTH (Suède), Université de Zagreb (Croatie), UFSCar et USP (Brésil), Université Leibniz de Hanovre (Allemagne), Université Rome Sapienza et l'Aquila (Italie), Université Trondheim (Norvège), Université du Kansas (USA).

2 Présentation de l'équipe *MilA* : *Milieux Architecturés*

2.1 Membres de l'équipe

Denis AUBRY	PR Émérite CS	Paul HAGHI ASHTIANI	IE CNRS
Jinbo BAI	DR CNRS	Cuong HA MINH	MCF ENS
Emmanuel BARANGER	CR CNRS HdR	Ann-Lenaig HAMON	MCF CS
Elisa BUDYN	PR ENS	Delong HE	IR CS HdR
Farida DJEBARRI	Tech	Jacques LAMON	DR Émérite CNRS
Christophe CLUZEL	MCF IUT évy	Martin PONCELET	MCF ENS
Federica DAGHIA	MCF ENS HdR	Thomas REISS	IE CS
Bertrand DAVID	CR CNRS HdR	Nicolas SCHMITT	PR UPEC
Damien DURVILLE	CR CNRS	Elsa VENNAT	MCF CS HdR

2.2 Mots clés

Matériaux architecturés, matériaux fibreux, composites, nanomatériaux, biomatériaux, matériaux biomimétiques, matériaux à mécanismes. Ingénierie tissulaire osseuse, mécanique des tissus biologiques, biomécanique, lien structure-propriétés, multifonctionnalité. Du macro au nano. Material by design. Modélisation, caractérisation et simulation multi-échelle et multiphysique, élaboration. Compétition et interaction entre mécanismes, organisation hiérarchique.

2.3 Contours, motivations et défis scientifiques

Certains matériaux, biomatériaux ou structures, manufacturés ou naturels, tirent leurs propriétés particulières de l'organisation de leurs constituants internes. L'étude des mécanismes et des interactions qui déterminent ces propriétés fonctionnelles aux différentes échelles constitue l'objet de notre axe de recherche.

Nous nous intéressons tout particulièrement :

- aux différents niveaux d'organisation structurale d'organes tels que les os et les dents, depuis leur biofabrication in vitro à partir de cellules jusqu'à leur réparation ou régénération in vivo ;
- à la synthèse et à l'inclusion de nano-renforts dans des matériaux composites polymères, céramiques ou métalliques afin de coupler et d'optimiser les propriétés multiphysiques ;
- aux assemblages de filaments pouvant constituer des renforts de composites ;
- aux matériaux composites pour les industries du transport et de l'énergie ;
- aux comportements macroscopiques non classiques résultant des interactions complexes entre composants fibreux aux échelles inférieures.

Ainsi les grands enjeux sociétaux se situent au niveau de la santé, du stockage et de la récupération d'énergie, de l'augmentation des propriétés spécifiques, de la réduction des marges de dimensionnement et des matériaux sur mesure. Pour élaborer ces milieux architecturés et/ou décrire leur comportement, nous développons des méthodes spécifiques d'élaboration, de caractérisation expérimentale multimodale, de modélisation et de simulation numérique, visant à comprendre, à identifier et à caractériser les mécanismes contrôlant leurs propriétés spécifiques, et d'autre part à optimiser les procédés de synthèse et de mise en œuvre.

La structuration interne de ces objets engendre de fortes hétérogénéités, des couplages entre des échelles pouvant aller du nano au macro, et nécessite le plus souvent d'aller au-delà des approches usuelles. Pour répondre aux défis posés par la représentation de leur comportement, nous nous attachons donc à identifier les mécanismes élémentaires et leurs interactions et à caractériser leurs effets sur leurs propriétés.

2.4 Opérations de recherche (OR)

OR 1. Renforts fibreux et applications composites

E. Baranger, C. Cluzel, F. Daghia, C. Ha Minh, J. Lamon, D. Durville

Cette opération de recherche traite des composites à fibres longues orientées, de l'échelle de la fibre à celle de la structure. Les renforts fibreux secs ou les câbles sont aussi pris en compte dans cette opération de recherche. Il s'agit de caractériser, modéliser et/ou simuler le comportement de ces objets, afin de mieux comprendre le rôle de l'architecture dans le développement des phénomènes non-linéaires et dissipatifs, et d'apporter cette compréhension pour le dimensionnement au plus juste des structures. Ces trois volets peuvent apparaître de manière intégrée, en focalisant sur un matériau spécifique, ou découplée, pour focaliser sur une méthode ou un moyen.

Au niveau expérimental, il s'agit de mettre en place des essais riches, dédiés à la caractérisation de mécanismes élémentaires sous chargement thermo-mécanique. Des montages particuliers (pelage, ...), des sollicitations in-situ (MEB, Tomographe ...) sont donc utilisés ou développés. Des modèles de comportement intégrant différents mécanismes de dégradation/cicatrisation en compétition sont développés, souvent sur la base de la mécanique de l'endommagement anisotrope. De plus, des modèles de structure simplifiés sont travaillés afin d'accéder à un niveau de compréhension des interactions entre mécanismes, la prise en compte d'aspects statistiques...

Des modèles numériques et des stratégies de calcul sont aussi développés afin de rendre compte de ces milieux très hétérogènes voir granulaires. La prise en compte du contact frottant dans les renforts fibreux ou la modélisation par motifs de composites à l'échelle de la fibre font partie des thèmes. Ces différentes actions ont lieu en partenariat fort avec les industriels du domaine du transport principalement (laboratoires communs Complnov et SteerLab (renforts câblés métalliques et textiles pour les pneumatiques), modélisation

des tissages interlock 3D pour des pièces composites pour l'aéronautique (Safran)).

OR 2. Nanocomposites, récupération, transport et stockage de l'énergie électrique

J. Bai, D. He, P. Haghi-Ashtiani, A.-L. Hamon, D. Aubry

Cette opération de recherche porte sur la chaîne complète de la synthèse, la caractérisation et la modélisation des matériaux composites multi-échelles et multiphysiques. Nous établissons un dialogue permanent entre la voie expérimentale et une modélisation. Dans ce contexte, nous faisons appel à des collaborations extérieures, afin de prendre en compte ces effets nanométriques et les phénomènes physico-chimiques inhérents, à l'échelle pertinente, à l'interface ou dans le volume. L'objectif est d'obtenir des matériaux haute performance recherchés par l'industrie, pour répondre à l'exigence croissante en termes de propriété mécanique et d'autres fonctionnalités. Les renforts hybrides (nanorenforts alliés aux microfibrilles longues ou aux microparticules) sont une voie très efficace pour atteindre cet objectif. Les trois aspects traités sont :

- L'optimisation par approches multi-échelles et multi-physiques et le développement d'un procédé de CVD vert pour la fabrication de renforts hybrides, ainsi que pour le traitement de surface par dépôt de couches minces (synthèse contrôlée et zéro émission de produits dangereux). En particulier, les diagnostics optiques laser (LII, LIBS, LIF etc.) et la spectrométrie de masse et la chromatographie à phase gazeuse ont été mis en place pour étudier les phénomènes dynamiques du procédé.
- La récupération, le transport et le stockage d'énergie pour des systèmes soit de faible puissance tels que des (micro-)capteurs soit de grande puissance. Les ressources énergétiques pour la conversion peuvent provenir des vagues (mouvement perpétuel), du roulement des pneus, du compactage des sièges, ou encore de vibrations ambiantes (flagship NanoVIBES). Outre le design et le dimensionnement mécanique des dispositifs, nous nous concentrons sur la préparation, la caractérisation et la modélisation des matériaux innovants et multifonctionnels pour la tribo, thermo ou piézoélectricité et le transport dans un composite Cu/graphène. Les films minces de polymère/copolymère diélectrique pour condensateurs sont étudiés en répondant largement aux exigences de l'industrie.
- Des solutions intégrées pour des composites multi-échelles et multifonctionnels de haute sécurité et hautes performances. Les applications envisagées sont : a) Des composites structuraux (fuselage, ailes, etc. .) et des peintures conductrices (protection contre la foudre, électricité statique) ; b) De nouveaux matériaux composites absorbant les ondes électromagnétiques (furtivité radar) ; c) Des matériaux de blindage électromagnétique (CEM).

OR 3. Biomécanique et Matériaux du vivant

B. David, E. Vennat, D. Aubry, E. Budyn, C. Cluzel, E. Baranger, F. Daghia, N. Schmitt

Les tissus biologiques ont des architectures multi-échelles. C'est l'imbrication des structures aux différentes échelles qui leur confèrent leurs propriétés physiques, et en particulier

mécaniques, remarquables. Néanmoins, les structures aux différentes échelles ne sont pas encore tout à fait décrites et comprises ainsi que leur lien avec leurs propriétés mécaniques. De plus, de par leur caractère vivant, il s'agit de systèmes qui évoluent et se renouvellent en permanence. Le vivant est en effet soumis en permanence à différentes stimulations et les cellules reçoivent des informations mécaniques, chimiques ou biophysiques et peuvent induire une adaptation structurale des tissus. Ainsi, les tissus biologiques présentent une grande variabilité entre les individus, ce qui rend encore plus complexe leur étude. En nous appuyant sur ces constats, l'objectif de cette OR est double :

- Comprendre le comportement des tissus naturels et des biomatériaux développés à l'aide d'une analyse morphologique et mécanique aux échelles pertinentes
- Développer des matériaux de substitution soit pour réparer, remplacer, régénérer ou mimer les tissus naturels Notre démarche s'appuie sur l'observation, la description et la compréhension des phénomènes à toutes les échelles pertinentes du matériau ou tissu considéré par un dialogue entre expériences et simulation. L'originalité de notre approche est de s'inspirer des démarches et des approches développées pour d'autres milieux architecturés, composites fibreux notamment, pour décrire et comprendre le comportement macroscopique des tissus à partir de l'interaction et de la compétition entre les mécanismes élémentaires aux échelles fines. Nos travaux trouvent leurs applications en ingénierie tissulaire osseuse, dentisterie restauratrice, chirurgie orthopédique, training chirurgical. . .

OR 4. Matériaux à mécanismes

M. Poncelet, E. Venat

Les "matériaux à mécanismes" sont des matériaux architecturés ayant au moins 3 échelles d'organisation (micro/méso/macro) 2D ou 3D, et constitués d'au moins 2 matériaux constitutifs présentant un très fort contraste de propriétés (l'un des deux étant souvent une absence de matière). En termes de géométrie, ces matériaux peuvent être assez proches de ceux de l'OR Biomécanique et Matériaux du vivant, mais ils ne présentent pas de couplage biomécanique et sont généralement artificiels. L'exemple le plus commun est le "nid d'abeille", constitué de parois de matière créant un pavage hexagonal. De part ce contraste et ce jeu d'échelle, ces matériaux présentent un comportement (caractéristiques élastiques, élastodynamiques, plasticité, instabilité, etc.) qui repose sur des "mécanismes". Selon les architectures, ce peut être de la déformation en traction ou en flexion des parois ou une combinaison des deux. Si la raideur en rotation des liaisons est très faible par rapport à celle des parois/poutres, le matériau peut se rapprocher d'un comportement de type treillis/portique.

Ces caractéristiques en font donc des matériaux pleins d'attrait scientifiquement et industriellement, conquérant de nouveaux domaines des diagrammes d'Ashby, avec souvent l'intérêt d'être très "fonctionnalisables" (optimisation d'absorption d'énergie, de déformation spécifique, de transmission d'onde, etc.). La difficulté est leur modélisation (le calcul en force brut étant inenvisageable vu les différences d'échelles internes), car les théories d'homogénéisation classiques ne sont pas forcément applicables. En outre leur comportement apparent ne se limite souvent pas à un modèle élastique de Cauchy. Enfin leur mode de

production, qui est majoritairement de la fabrication additive, est encore mal maîtrisé et les caractéristiques réelles de ces matériaux doivent donc être évaluées expérimentalement.

Cet axe de recherche, encore récent en France et à l'international, est ici poursuivi avec d'autres partenaires académiques au travers de projets communs (MSME, PIMM, IJLRDA, GEM, Imath), l'expertise du LMT étant la mise en place d'approches expérimentales ad hoc.

2.5 Enjeux sociétaux

Les principaux enjeux sociétaux auxquels nos travaux répondent sont :

- La production, le stockage, le transport et la récupération d'énergie
 - le développement des plateformes éoliennes offshore fait apparaître de nouveaux besoins en termes de câbles d'ancrage et de transport de courant
 - les tokamaks pour la fusion nucléaire posent des problèmes importants sur les câbles supra-conducteurs pour les aimants de confinement du plasma
- La Santé
 - Propositions de pistes d'amélioration des soins (réparation, régénération, biomi-métisme, entraînement chirurgical)
 - Ingénierie tissulaire osseuse : développement d'un bioréacteur à perfusion optimisé pour créer des substituts osseux
 - Dentisterie : compréhension des tissus dentaires pour proposer des nouveaux matériaux de restauration plus durable
- Réduction de la consommation énergétique
 - Réduction de la consommation des transports par allègement (développement de pièces composites pour l'aéronautique), réduction de la dissipation dans les pneumatiques, et réduction des marges de dimensionnement
 - Amélioration de la thermique des bâtiments par conception de matériaux sur mesure

2.6 Positionnement national et international

Assemblage de compétences complémentaires de pointe, l'équipe Matériaux Architecturés permet d'atteindre une masse critique au meilleur niveau couvrant des domaines allant de la synthèse de matériaux à la simulation de structures en passant par la modélisation de lois de comportements et la caractérisation multimodale d'un large panel de matériaux aux architectures remarquables. A l'échelle nanoscopique, l'élaboration de nouveaux matériaux ou de nouvelles architectures permet de développer de nouvelles fonctionnalités comme le stockage ou la récupération d'énergie par exemple. Dans un contexte international très riche, le laboratoire propose des solutions innovantes sous forme de couples matériaux/procédés.

L'activité de modélisation par la mécanique de l'endommagement anisotrope pour les composites développée depuis 40 ans reste une compétence forte, reconnue, du laboratoire sur les composites à matrice organique mais aussi céramique. L'axe de travail est désormais

de faire plus de lien avec la physique des matériaux et des procédés associés en tissant un lien étroit entre modèle et mécanismes de dégradation. Outre les supports industriels traditionnels du secteur aéronautique et aérospatial, le laboratoire fait partie du laboratoire commun ComplInnov (GeM/CETIM) visant à développer des composites à forte cadence de production pour l'industrie. Le laboratoire a su tisser un lien fort avec l'ONERA dans ce domaine. Nos travaux sont complémentaires avec ceux menés au LCTS et MATEIS pour les CMC, à l'ONERA pour les Carbone/Epoxy et au GeM pour les composites à matrice thermoplastique. Sur la modélisation et simulation des renforts fibreux, une communauté émerge au niveau international pour traiter les problématiques centrées sur les arrangements entre fibres ; celles-ci procurant les bonnes propriétés mécaniques au matériau. Les travaux du laboratoire sont en avance sur ce point. Certaines problématiques sont proches du bio, d'autres des composites pour l'aéronautique. Le laboratoire est impliqué dans le laboratoire commun SteerLab sur les pneus. Ces activités et celles sur les composites sont très complémentaires (étude des fibres, arrangement entre fibres, impact des renforts. . .). On trouve une forte complémentarité avec les travaux du LAMCOS et de Louvain pour le tissage, ou encore de Kansas State Univ. . .)

L'activité portant sur les matériaux du vivant ou la biomécanique représente bien la diversité du groupe. D'une part, on s'attache à décrire les liens entre structures et propriétés à travers des caractérisation morphologiques inédites supportant des modèles mécaniques pour la dent, la peau, l'os. Coté ingénierie tissulaire osseuse, il s'agit de mieux comprendre la physique du devenir de cellules grâce à un dialogue simulation-expérience alors que classiquement ces études restent souvent très empiriques. Des liens étroits existent avec des laboratoires tels que le LVTS et l'URB2i (Université de Paris) et permettent notamment de rester proche des problématiques cliniques avec la présence de praticiens hospitaliers dans ces équipes.

Enfin, concernant les matériaux à mécanismes, des essais multiaxiaux riches sont développés. Les études sont en collaboration avec des chercheurs d'autres laboratoires (MSME, GeM, Imath, M&MOCS).

2.7 Partenariats industriels et universitaires

Les partenariats industriels de l'équipe sont très larges et variés, à l'image des thématiques traitées ayant comme point commun les milieux architecturés. Une liste non exhaustive par thématique peut être trouvée ici :

- composites à matrice organique ou céramique : CEA, CETIM, ONERA, Safran, Safran Ceramics, DGA, AIRBUS
- câbles : Michelin, Ifremer, Principia
- stockage et transport d'énergie : Geiri, CEA/IRFM
- biomécanique et matériaux du vivant : Biomodex, DGA, ...

D'un point de vue académique, les membres de l'équipe sont impliqués dans différentes sociétés savantes et réseaux nationaux et internationaux, notamment : l'AMAC (Association pour les Matériaux Composites), l'ESCM (European Society for Composite Materials), la SB (Société de Biomécanique), l'IRP Coss&Vita, ainsi que plusieurs GDR (Mephy, MecaFib,

MIC, CMC2, Polynano, MecaBio, Réparer l'humain). Des collaborations sont actives avec de nombreuses unités de recherche, par exemple MSME(U. Paris-Est Créteil / U. Paris-Est MLV), IJRLDA (Sorbonne U.), PIMM (ENSAM), GeM (EC Nantes/U. Nantes), LVTS et URB2i (U. Paris), G2ELab (U. Grenoble), CRPP (U. Bordeaux), LiPHY (UGA Grenoble) ...La thématique de modélisation et simulation des câbles est abordée dans le cadre du projet européen H2020 MSCA-ETN (European Training Network) THREAD, en collaboration avec 11 partenaires académiques européens .

3 Présentation de l'équipe *STAN* : Sciences et Techniques Avancées en mécanique Numérique

3.1 Membres de l'équipe

Olivier ALLIX	PR ENS	Pierre LADEVEZE	PR ENS Émérite
Faisal AMLANI	CR CNRS	François LOUF	MCF HdR ENS
Andrea BARBARULO	MCF CS	David NERON	PR ENS
Hachmi BEN DHIA	PR CS	Guillaume PUEL	PR CS
Pierre-Alain BOUCARD	PR ENS	Philippe SANCHEZ	IE ENS
Ludovic CHAMOIN	PR ENS	Bruno SOULIER	MCF ENS
Amélie FAU	MCF ENS	Bing TIE	CR HdR CS
Frédéric FEYEL	PAST ENS	Thomas VERBEKE	IR CNRS
Pierre-Alain GUIDAULT	MCF HdR ENS	Cédric ZACCARDI	MCF EPF
Elisabeth LACAZEDIEU	PR EPF		

3.2 Mots clés

Calcul hautes performances, décomposition de domaine, approches multi-échelles/multi-physiques, réduction de modèles, intelligence artificielle, big data, temps réel, assimilation de données, problèmes inverses, stochastique, dynamique vibratoire, propagation des ondes, contrôle-adaptation-validation des modèles, vérification, optimisation, mécanique du contact, modèles discrets, couplage de modèles

3.3 Contours, motivations et défis scientifiques

Le cœur de métier de l'équipe est la modélisation et la simulation en sciences de l'ingénierie mécanique et ses interactions. Mêlant étroitement les disciplines classiques (sciences des matériaux, mathématiques appliquées, etc.) et d'autres plus émergentes (IA, mécanique du vivant, etc.), l'équipe développe des démarches de modélisation et des stratégies de calcul intégrant des savoirs nouveaux et permettant d'aborder les grands défis sociétaux. Ces démarches et stratégies sont polarisées par l'analyse de la physique et sont largement influencées par les besoins des secteurs de l'ingénierie mécanique et ses interactions, afin qu'elles soient adaptées, efficaces et innovantes en contexte industriel.

Un des objectifs de l'équipe est de contribuer, par ses productions de recherche amont, au progrès des sciences mécaniques en termes de modélisation et de simulation numérique avancées. Ce progrès est nécessaire pour mieux comprendre et appréhender les systèmes physiques complexes étudiés, et pour relever les enjeux actuels et futurs dans différents domaines tels que la santé, l'énergie, l'environnement, ou la mobilité. Un autre objectif de l'équipe est de contribuer de manière forte et pertinente à la conception maîtrisée dans de multiples secteurs industriels, sous cahiers des charges de plus en plus exigeants (sécurité,

durabilité, coût, impact sur l'environnement, compatibilité avec les temps d'ingénieurs, etc.) demandant l'élaboration et le traitement juste et au juste coût de problèmes de plus en plus complexes (multi-échelles, multi-physiques, stochastiques, etc.). Il s'agit là de proposer des méthodes et outils d'aide à la décision pour imaginer, concevoir, caractériser, optimiser, fabriquer et contrôler les matériaux, structures et systèmes complexes d'aujourd'hui et de demain, et ainsi contribuer au développement de l'industrie du futur.

Les compétences mobilisées pour les activités de l'équipe sont, de manière complémentaire et indissociable, l'analyse de la physique sous-jacente et sa modélisation, les mathématiques appliquées au service de l'ingénieur, ainsi que les techniques avancées et l'algorithmique pour la simulation numérique. La mise en synergie de ces compétences permet d'aborder au sein de l'équipe un spectre large de thèmes pour la modélisation et la simulation en sciences mécaniques.

Tous ces développements de recherche sont menés en lien étroit avec les activités du mésocentre Moulon, au sein des sociétés savantes nationales (CSMA, F2M...) et internationales (IACM, ECCOMAS...) du domaine de la mécanique numérique, et avec des collaborations académiques et industrielles nombreuses, variées, et de plus en plus multidisciplinaires.

3.4 Opérations de recherche (OR)

OR 1. Développement intégré d'algorithmes et méthodes numériques performants

H. Ben Dhia, L. Chamoin, F. Feyel, P.-A. Guidault, E. Lacazedieu, P. Ladevèze, C. Zaccardi

- Calcul intensif, calcul parallèle, calcul asynchrone
- Décomposition de domaine
- Approches multi-échelles en espace et en temps
- Calcul collaboratif (méthodes non-intrusives, couplages de codes de calcul)
- Maîtrise des calculs, vérification des modèles

Cette opération de recherche vise à proposer et développer des algorithmes et méthodes numériques performants pour la simulation numérique des structures complexes, qui soient fiables, robustes et efficaces en tirant pleinement parti des ressources matérielles (machines à architectures parallèles, clusters...) et logicielles (codes de calcul commerciaux ou de recherche reconnus) disponibles en ingénierie mécanique tout en s'intégrant au mieux dans les processus de développement des produits des ingénieurs. Elle s'intéresse en particulier à la fois au domaine du calcul intensif mais aussi à celui du calcul collaboratif afin d'assister ingénieurs et chercheurs dans la validation, la vérification et la certification des modèles, la conception et l'optimisation des structures.

Un premier thème de recherche concerne le développement de méthodes de calcul intensif et l'exploitation pertinente et efficace des machines de calcul hautes performances

(HPC) notamment à architecture massivement parallèle. Les méthodes de décomposition de domaine, multiéchelles en espace et en temps, la réduction de modèle, le parallélisme synchrone ou asynchrone y sont notablement exploités afin de proposer des stratégies de calcul performantes (extensibilité) capable d'adresser une large classe de problèmes (robustesse). Les domaines d'application concernent la simulation des problèmes à grands nombres de degrés de liberté (structures hétérogènes, composites, milieux architecturés...), des assemblages impliquant éventuellement un nombre élevé d'interfaces (contact, frottement, décohésion...) en non-linéaire matériau et géométrie.

Un deuxième thème de recherche concerne l'exploitation pragmatique des méthodes précédentes de façon à répondre au plus près aux besoins courants des ingénieurs en matière d'outils de simulation tout en intégrant les contraintes liées à leur environnement numérique et leurs pratiques de conception, quitte à relâcher de façon mesurée les objectifs de performance mais sans compromis sur la qualité des résultats et la robustesse. Des méthodes de calcul collaboratives ou non-intrusives sont par exemple proposées afin d'apporter de nouvelles fonctionnalités aux logiciels (codes de calcul commerciaux) couramment utilisés par les industriels et permettre ainsi le couplage avec d'autres codes de calcul métier ou de recherche. Le couplage de modèles/codes peut ainsi être mis à profit pour mener l'analyse de l'influence de phénomènes localisés (détails structuraux, défauts...) sur le comportement global et la tenue en service d'une structure (zoom structural, ré-analyse locale...) ou encore l'adaptation de modèles (en lien avec les estimateurs d'erreur) pour prédire de façon garantie et au juste coût des quantités d'intérêt locales.

OR 2. Simulation basée sur la physique, augmentée par les données, et intégrée au réel

H. Ben Dhia, L. Chamoin, E. Lacazedieu, P. Ladevèze, F. Louf, D. Néron, G. Puel, B. Soulier, B. Tie, C. Zaccardi

- Exploitation parcimonieuse de (grands) volumes de données obtenues à différentes échelles, en ciblant un objectif à l'analyse de ces données
- Extraction de connaissances et apprentissage par les données, afin d'élaborer, alimenter et enrichir les modèles (hybridation entre modèles et données pour la création de jumeaux numériques)
- Assimilation de données et contrôle de système en temps réel
- Problèmes inverses, validation des modèles
- Quantification des incertitudes

Cette opération de recherche aborde la problématique générale du couplage entre les outils de simulation numérique et l'information expérimentale disponible (dialogue essais-calculs). Elle englobe naturellement les activités initiées de longue date sur l'identification/recalage de paramètres des modèles à partir de mesures, par résolution de problèmes inverses, et sur la validation de modèle qui reste un challenge industriel majeur pour la prise de décision. Dans ce cadre, elle traite de thématiques fécondes telles que le choix d'une régularisation pertinente, avec par exemple le filtrage de l'information expérimentale à retenir parmi un flot de données (qui peut être large, hétérogène, multi-échelle...), ou encore la question de la gestion, propagation et quantification des incertitudes, issues des mesures et des données d'entrée des modèles. Elle s'inscrit donc parfaitement dans la vision Predic-

tive Science qui analyse tous les facteurs susceptibles d'affecter la fiabilité des simulations numériques, en intégrant la modélisation et la connaissance partielle du réel.

Une thématique phare est également l'hybridation entre modèles et données (concept de jumeau hybride), visant à enrichir une modélisation incomplète par l'information contenue dans les données. Elle va au-delà du recalage de modèles, l'idée étant ici de pallier la méconnaissance de ces modèles (physique non représentée, phénomènes imprévus, variabilités...) afin d'être toujours plus fidèle au réel. L'apport des techniques d'apprentissage et de l'intelligence artificielle, contraintes par des considérations physiques, est particulièrement étudié ici. L'objectif est de générer tout ou partie d'un modèle, ou de corriger le biais d'une modélisation physique donnée, à partir d'une analyse appropriée d'un ensemble d'observations expérimentales.

Enfin, les activités s'orientent vers l'assimilation séquentielle de données expérimentales et le contrôle dynamique de systèmes physiques, en lien avec le concept DDDAS (Dynamic Data Driven Applications Systems) récent qui propose une synergie complète entre un système physique et son jumeau numérique (asservissement numérique) pour atteindre un objectif donné. Dans ce cadre, diverses approches et outils (réduction de modèle, modélisation adaptative multi-fidélité, filtrage de Kalman, ...) sont exploités en complément de techniques traditionnelles afin d'obtenir une complexité de simulation compatible avec la contrainte de temps réel, tout en assurant la performance (calcul juste au juste coût). La thématique du contrôle optimal est également abordée, afin de conduire une boucle complète de rétroaction avec le système physique.

OR 3. Problèmes paramétrés, stochastiques et optimisation

O. Allix, A. Barbarulo, P.-A. Boucard, L. Chamoin, A. Fau, P.-A. Guidault, F. Louf, D. Néron, B. Soulier, B. Tie

- Réduction de modèles (problèmes en grandes dimensions, non-linéaires...)
- Conception robuste
- Optimisation par méta-modèles, approches multi-fidélité (contrôle et adaptation)
- Approches stochastiques

Cette opération de recherche porte sur le développement de méthodes originales pour la construction, à moindre coût, de solutions de problèmes hors de portée des codes de calcul industriels. Les cibles sont les problèmes à très grand nombre de degrés de liberté, non linéaires, avec présence de plusieurs échelles ou d'interactions entre plusieurs physiques, ou encore, la volonté de prendre en compte les incertitudes ou les variations de paramètres.

Un premier volet des activités touche les techniques de réduction de modèles, qui connaissent actuellement un véritable engouement dans les communautés du Mechanical Engineering et des Mathématiques Appliquées, car elles offrent un fort potentiel pour développer des outils novateurs pour le calcul hautes performances. Dans ce contexte, l'OR mène des travaux amont sur le développement de la stratégie de calcul LATIN-PGD (LArge Time INcrement Method - Proper Generalized Decomposition), introduite il y a maintenant plus de 30 ans pour le traitement des problèmes non linéaires. La PGD est maintenant largement diffusée et développée dans la communauté scientifique internationale. Le cœur des acti-

vités autour de cette méthode est maintenant basé sur la construction de modèles réduits appelés « Abaques Virtuels ». Ces abaques paramétrés, calculés offline, peuvent être réutilisés online en temps réel, permettant un large éventail d'applications totalement inédites, par exemple en conception/optimisation ou pour le pilotage. La spécificité des travaux de l'OR au point de vue international est le traitement des problèmes fortement non linéaires. De nombreux résultats ont été transférés directement vers l'industrie avec des collaborations avec Airbus D&S, SAFRAN, CEA, SIEMENS. . . D'un point de vue académique, l'OR est très impliqué dans la communauté de la réduction de modèles au travers du GdR CNRS AMORE qui fédère les activités de la réduction de modèles en France.

Un second volet des activités est la réponse aux besoins de l'industrie en matière de modèles et d'outils de simulation numérique robustes et efficaces pour l'aide au dimensionnement et l'optimisation de structures complexes et soumises aux aléas environnementales et de production. Parmi les nombreux verrous du domaine de l'optimisation, celui du temps de simulation est un point de blocage majeur. Un moyen de réduire les coûts de calcul est d'utiliser des modèles de substitution. Les modèles de substitution développés au sein de l'OR s'appuient d'une part sur une approximation non basée sur la physique impliquant une régression par processus gaussiens des quantités d'intérêt générées à partir du modèle original et d'autre part, sur des techniques de réduction de modèles basées sur la physique, telle la PGD déjà évoquée. Sur la base de ces deux approximations, l'OR exploite des techniques multi-fidélité (également appelées fidélité variable, complexité variable) qui combinent ces différents modèles au sein d'une hiérarchie de modèles.

OR 4. Modélisation et simulation des problèmes multi-échelles/modèles/physiques

O. Allix, H. Ben Dhia, P.-A. Boucard, P.-A. Guidault, E. Lacazedieu, F. Louf, . Oliver-Leblond, D. Néron, G. Puel, C. Zaccardi

- Stratégies de couplage et de gestion des interfaces pour les problèmes multi-modèles et multi- physiques
- Assemblages de structures, mécanique du contact
- Milieux hétérogènes
- Mécanique moléculaire/particulaire

Cette opération de recherche vise la proposition de méthodes innovantes pour poser, analyser et résoudre de manière performante des problèmes dans lesquels les interactions peuvent être multiples. On s'intéresse notamment aux couplages entre physiques, modèles, échelles, régimes, corps, données. . . qui doivent être pris en compte avec précision dans les approches de conception d'aujourd'hui, mais encore plus de demain. Il s'agit de proposer des méthodes augmentées, basées sur la notion d'« interface » au sens large entre échelles, modèles ou physiques, tout en intégrant, autant que faire se peut, les impacts environnementaux. Les travaux menés portent aussi bien sur l'expression des conditions de « raccord », d'échange aux interfaces, que sur l'élaboration et la mise en œuvre d'algorithmes pour résoudre les problèmes couplés obtenus, tout en synergie avec les autres OR et équipes.

Un premier axe de recherche concerne le couplage de modèles mécaniques continus ou discrets/particulaires pouvant éventuellement s'appuyer sur des cinématiques différentes

(volumique, plaque, poutre. . .) par des techniques de raccord volumique ou surfacique. La méthode Arlequin propose ainsi un cadre de travail général permettant le couplage volumique de modèles. Cette technique, initiée dans le laboratoire, a été conçue pour traiter des problèmes dans lesquels plusieurs « zones » d'intérêt peuvent être distinguées et nécessitent différents niveaux d'analyse. Le terme « zones » doit être compris au sens large, puisqu'il peut s'agir de modèles numériques différents dont les champs peuvent être mélangés et accommodés ensemble. La méthode a fait l'objet de nombreux développements comme par exemples la simulation des procédés de fabrication additive (type SLM, avec des aspects de thermo-mécanique transitoire avec changement de phase), la conception de murs porteurs multi-matériaux, architecturés, (répondant aux normes d'épreuve du feu), la modélisation et la simulation des problèmes de contacts micros (comportement des composants micro ou nano-électroniques), ou encore la maîtrise de la propagation des fissures en dynamique. Les méthodes de type Mortar sont également étudiées pour mener des analyses locales/globales permettant le couplage surfacique de modèles continus homogènes et de zones d'intérêt décrivant à l'échelle fine des hétérogénéités, la microstructure. Les questions sous-jacentes de la calibration de modèles, d'homogénéisation afin d'assurer la transition d'échelles sont également cruciales. La modélisation d'interactions surfaciques plus complexes au sein des assemblages comme le contact-frottant ou l'endommagement est de même largement étudiée. Un second volet d'activités s'intéresse plus particulièrement aux couplages entre physiques afin de modéliser par exemples les interactions fluide-structure, les couplages magnéto-mécanique ou thermo-mécanique. Pour ce faire, la méthode LATIN propose un formalisme particulièrement adapté et flexible pour résoudre ces problèmes multi-physiques. Les algorithmes de résolution qui en découlent sont très similaires à ceux développés dans les autres OR dont on tire ici pleinement les bénéfices.

OR 5. Propagation des ondes et dynamique vibratoire pour les milieux complexes

O. Allix, A. Barbarulo, P. Ladevèze, G. Puel, B. Tie

- Modélisation et simulation numérique large-bande de la propagation des ondes
- Modélisation des interactions entre les ondes et la microstructure des milieux hétérogènes, inversion et optimisation
- Dynamique des structures et acoustique moyenne/haute fréquence
- Phénomènes et approches multi-échelles espace-temps et espace-fréquence, homogénéisation
- Analyse et réduction modale

Cette opération de recherche a pour objectif de développer des méthodes de modélisation et simulation pour les phénomènes de propagation des ondes dans divers milieux complexes et pour la dynamique vibratoire. Les milieux de propagation complexes à considérer peuvent être de natures et d'échelles très différentes : milieux hétérogènes et anisotropes tels que les matériaux polycristallins ; milieux périodiques ou quasi-périodiques tels que les cristaux photoniques, les métamatériaux, ou les voies ferrées ; problèmes issus de couplages de milieux de propagation de natures différentes, tels que la vibroacoustique. Les efforts de recherche portent à la fois sur le développement d'outils numériques de modélisation/simulation dédiés fiables et performants et sur l'application de ces outils afin de proposer une analyse précise et pertinente pour les phénomènes physiques à identifier et à quantifier, ainsi que les mécanismes sous-jacents impliqués. Concernant le volet de la mise en œuvre

des outils numériques, il s'agit de développer des solveurs capables de simuler la propagation des ondes large-bande (MF et HF) et de prendre en compte les aspects multi-échelles des milieux de propagation. Les deux types approches en temporel (FEM, DGM, SEM, ...) et en fréquence (TVRC, SAFE, ...) sont considérés. Le calcul parallèle, un couplage judicieux entre les deux types de solveurs temporels et fréquentiels, l'application des méthodes de réduction de modèle (PGD, réduction modale, ...), constituent des pistes à exploiter afin de développer un ensemble d'algorithmes/solveurs performants pour la résolution directe ou inverse des problèmes d'ondes et de vibration. Plusieurs domaines d'application sont au cœur des travaux de recherche développés au sein de cette OR : contrôle non destructif par ultrasons des matériaux polycristallins ou des tissus biologiques synthétiques, dans le but de caractériser les microstructures par ondes et de détecter des défauts ; analyse de l'efficacité et conception des cristaux phononiques ou des métamatériaux vis-à-vis de l'atténuation et du filtrage d'ondes ; aide à la conception de dispositifs d'atténuation du bruit généré par la circulation des trains sur les voies ferrées ; étude vibratoire et transitoire des structures aérospatiales et ferroviaire

3.5 Enjeux sociétaux

- Une énergie propre, sûre et efficace
 - Efficacité énergétique
 - Conception de pièces optimisées pour réduire les dépenses énergétiques en fabrication et exploitation
- Stimuler le renouveau industriel
 - Usine numérique
 - Conception de nouveaux matériaux
 - Imaginer et développer des systèmes de collecte et de traitement haute performance des données recueillies par des capteurs embarqués
- Société de l'information et de la communication
 - Exploitation des grandes masses de données
 - Développer des algorithmes adaptés à la fouille intelligente
 - Optimiser les moyens matériels de calcul nécessaires à ces algorithmes (architectures de calcul haute performance, avec une attention particulière à l'optimisation de la consommation énergétique).
- Une ambition spatiale pour l'Europe
 - Compétitivité des secteurs des télécommunications et de la navigation
 - Conception et optimisation intelligente des composants critiques
 - Technologies pour l'observation et l'exploration de l'univers

3.6 Positionnement national et international

Au sein de l'Université Paris-Saclay, l'équipe est un acteur majeur de la modélisation et de la simulation numérique et ses thématiques de recherche sont en lien étroit avec les activités du mésocentre Moulon (les deux responsables scientifiques du projet lors de la création

du mésocentre étaient d'ailleurs membres du LMT et du MSSMat). Ce positionnement est également marqué par la participation et le rôle important des (enseignants)-chercheurs dans les sociétés savantes nationales et internationales (vice-présidence d'IACM, présidence du CSMA, membres des boards d'ECCOMAS, de la F2M).

Notons enfin que l'équipe est très active dans l'animation de la recherche en mécanique numérique au niveau international, avec la participation à de très nombreux comités éditoriaux de journaux scientifiques (éditeurs en chef de 2 revues internationales, membres de 35 comités éditoriaux) et l'organisation d'un grand nombre d'événements (20 conférences/workshops internationales et 5 nationales sur 5 ans, dont WCCM, CFRAC, MOR-Tech, ADMOS, YIC...).

3.7 Partenariats industriels et universitaires

Les partenariats industriels du bloc sont très larges et vont d'actions établies de longue date, notamment avec de grands groupes avec qui des contrats cadres peuvent avoir été établis, à des actions plus récentes ou ponctuelles. On peut citer notamment AIRBUS, SAFRAN, EDF, CETIM, ONERA, SIMULIA Abaqus, SIEMENS, CNES, DGA, CEA, IRSN, SNCF, PSA, INRIA, iXblue, Mitsubishi, IFPEN, RATP, ESI, Biomodex, Thalès...

De la même manière, les partenariats académiques sont très nombreux. Certains sont réalisés dans le cadre d'actions de collaboration récurrentes, de gré à gré : Université de Talca (ECOS), Université de Sao Paulo, Università di Roma la Sapienza, ICMMO Paris-Saclay, Laser Institute of Shandong Academy of Science, Ecole Polytechnique de Montréal. Plusieurs partenariats académiques sont formalisés par des accords entre établissements : Université Leibniz de Hanovre (60 doctorants échangés en 10 ans dans le cadre d'un IRTG, Collège doctoral franco-allemand depuis 2019, début d'un nouvel IRTG autour de la réduction de modèles et du HPC en 2021), Université de Bräzilia au Brésil (IRG).

4 Présentation de l'équipe *OMEIR* : Ouvrages, Matériaux, Environnement : Interactions et Risques

4.1 Membres de l'équipe

Kamilia Abahri	MCF ENS	Cédric Giry	MCF ENS
Farid Benboudjema	PU ENS	Guillaume Hervé-Secourgeon	PAST ENS
Rachid Bennacer	PU ENS	Tulio Honorio de Faria	MCF ENS
Alexandra Bourdot	MCF ENS	Pierre Jehel	MCF CS
Mohend Chaouche	DR CNRS	Xavier Jourdain	PRAG ENS
Didier Clouteau	PU CS	Fernando Lopez-Caballero	MCF CS
Caroline De Sa	PRAG ENS	Maroua Maaroufi	MCF EPF
Jean-Marie Fleureau	PU CS émérite	Arezou Modaressi	PU CS
Filippo Gatti	MCF CS	Cécile Oliver-Leblond	MCF ENS
Fabrice Gatuingt	PU ENS	Frédéric Ragueneau	PU ENS

4.2 Mots clés

Comportement dynamique, matériaux du génie civil, éco-matériaux, caractérisation multi-échelle et multi-technique, mécanismes physico-chimiques, endommagement, énergétique, lois de comportement, méthodes numériques pour la mécanique et les transferts, durabilité, fiabilité, propagation d'ondes, calculs non-linéaires, apprentissage machine, assimilation de données, sismologie de l'ingénieur, HPC, mécanique des sols, méthodes probabilistes.

4.3 Contours, motivations et défis scientifiques

Les enjeux sociétaux dans le domaine de la construction au sens large (bâtiment, ouvrages, travaux publics, génie civil...) mettent en exergue des questionnements importants relevant des impacts écologiques et/ou humain des activités anthropiques au regard de la résilience de la société, mais aussi ceux associés aux technologies de l'information qui bouleversent les pratiques du secteur. Nous pouvons relever à ce titre trois points importants que sont :

- La réduction de l'empreinte écologique des ouvrages.
- L'évaluation et la réduction de la vulnérabilité des constructions (ayant des impacts économiques et humains) soumis à des aléas/risques, naturels ou non.
- Le passage de la maquette numérique à de véritables jumeaux numériques, voire hybrides couplant simulation multi-physique, assimilation de données et expérimentations avancées.

Ces questionnements se déclinent en différents verrous scientifiques impliquant des échelles en temps et en espaces très différentes. Nous parlons ici de comportements de matériaux (sols, structures) à différentes échelles (des comportements nano aux descriptions kilométriques d'environnements géologiques) ayant des comportements variés en fonction

des échelles de temps de sollicitation (de la micro-seconde sous impacts à la centaine d'années sous fluage). De la même manière, la synthèse de matériaux de construction ainsi que leur vieillissement et interactions avec leur environnement (interne et externe) impactent fortement l'objectif de développement durable des constructions. Une approche holistique de ces problématiques implique la prise en compte simultanée du comportement multi-physique de ces matériaux par le biais de mécanismes de transferts couplés au niveau de l'ouvrage. La transition climatique à venir augmentera significativement les aléas naturels sur les ouvrages, infrastructures et systèmes urbains (ouragans, crues, sécheresses, vagues de chaleur, incendies...). La densité croissante des environnements urbains et l'interconnexion des systèmes accroissent l'exposition et la vulnérabilité de sociétés voulant être de plus en plus protégées. La transition d'une société prudentielle protégée par la loi et la réglementation, vers une société assurantielle nécessite une évaluation des risques et des incertitudes associées, à des échelles de plus en plus fines. Dans certains domaines, comme la sûreté des installations, c'est l'ensemble de la chaîne d'évaluation et de réduction des risques qui doit être repensée à l'aide de méthodes probabilistes avancées.

Une partie de la réponse se trouve dans la mise en place de jumeaux numériques, voire hybrides. Les méthodes de simulations, aussi avancées soient-elles, ne peuvent suffire, par manque de données ou faute de validations suffisantes. Des données massives, acquises de façon routinière par les systèmes d'auscultation et de maintenance doivent être assimilées et analysées par ces jumeaux numériques tels qu'ils commencent à exister dans d'autres secteurs. Enfin, des expérimentations avancées sur des sous-systèmes mais simulant le système complet doivent pouvoir être menées pour mieux maîtriser les incertitudes associées aux modèles. Pour viser ces challenges scientifiques, l'interfaçage avec les technologies de calcul numérique et expérimentales les plus avancées devient nécessaire dans le cadre d'une approche de modélisation et prévision, basée sur l'exploration des différents scénarios de risque.

Au bilan, l'équipe se donne pour ambition de contribuer à la transition énergétique, écologique et numérique de l'ensemble du secteur touchant à la ville et aux infrastructures. Pour ce faire elle réunit l'expertise de groupes de recherche spécialisés dans : les matériaux de construction et les matériaux naturels, la modélisation des différents phénomènes physiques (mécanique, thermique, hydrique, chimiques), l'expérimentation fine, les risques naturels, les simulations numériques complexes et à grande échelle, l'apprentissage statistique.

4.4 Opérations de recherche (OR)

OR1. Cycle de vie des matériaux, bâtiments et infrastructures pour la réduction de l'impact environnemental des constructions

K. Abahri, F. Benboudjema, A. Bourdot, M. Chaouche, C. De SA, T. Honorio de Faria, P. Jehel, R. Bennacer

Actions de recherche développées :

- Matériaux à faible coût environnemental (approches expérimentales et modélisation

en tenant compte des petites échelles des matériaux cimentaires)

- Energétique des Eco-bâtiments intégrant le stockage et les systèmes de production des ENRs (multiéchelle et multiphysique)
- Piégeage du CO₂
- Optimisation du cycle de vie des ouvrages (Réhabilitation, requalification, réévaluation des ouvrages existants, Processus de Construction (BIM))

Description : L'objectif de cette opération de recherche est de proposer des stratégies pour évaluer le cycle de vie des matériaux, bâtiments et infrastructures ainsi que quantifier et réduire les pressions sur l'environnement associées aux ouvrages. On s'intéresse aux stratégies à mettre en œuvre pour apporter des réponses scientifiques et technologiques à la gestion des ouvrages sur l'ensemble de leur cycle de vie, afin notamment d'en limiter l'impact sur l'environnement et les ressources. Il peut s'agir de nouveaux ouvrages, des solutions de conception associées à une réduction de l'impact environnemental ou de réhabilitation / requalification / réévaluation d'ouvrages existants. Cette thématique s'appuie sur une formalisation des échanges des informations d'intérêt pour garantir la performance de l'ouvrage (environnementale, sociétale, économique), depuis la phase de conception jusqu'à la phase de démantèlement/recyclage en passant par les phases de construction et d'exploitation/maintenance.

En phase conception, le choix de matériau est un aspect décisif afin de réduire l'impact des constructions. Des activités de recherche sont menées sur l'optimisation de la formulation et des procédés pour la fabrication de matériaux de construction avec faible coût environnemental, voire avec un impact environnemental positif. On adopte des approches expérimentales de caractérisation ainsi que de la modélisation et simulation dans un cadre multi-technique, multi-échelle et multi-physique, en très forte synergie avec OR2. Les stratégies adoptées incluent la valorisation des coproduits et déchets dans les matériaux de construction (notamment ceux à base de ciment), l'immobilisation des polluants, l'utilisation de matériaux alternatifs (en particulier, les biosourcés) dans les composites pour la construction, et l'adoption des solutions locales (e.g. granulats locaux). La conception de produits, méthodes et systèmes constructifs avec des performances ciblées et nouvelles propriétés sont aussi envisagées. On s'intéresse aux matériaux pour le piégeage du CO₂, stockage d'énergie, régulation d'humidité et qualité d'air intérieurs et matériaux à changement de phase. À l'échelle des systèmes intégrées aux bâtiments, on s'intéresse aux systèmes d'isolation par l'extérieur et les parois actives. Des recherches sur la conception des systèmes pour l'optimisation des transferts à l'échelle locale et pour le confort thermique sont aussi menées.

OR2. Vulnérabilité, fiabilité et résilience des ouvrages et des réseaux (Reliability, Resiliency, and Vulnerability of civil engineering structure and networks)

F. Benboudjema, A. Bourdot, J.M. Fleureau, F. Gatti, F. Gatuingt, C. Giry, T. Honorio de Faria, P. Jehel, F. Lopez-Caballero, A. Modaressi, C. Oliver-Leblond, F. Ragueneau

Actions de recherche développées :

- Durabilité et vieillissement des matériaux
- Réponse des structures et équipements (interaction sol-structure ou structure-structure)
- Comportement non-linéaire des matériaux (sol, béton, maçonnerie, bois...) et des

structures.

- Vulnérabilité et approches probabilistes
- Réduction du risque associée
- Approches expérimentales : smart testing et essais hybrides temps réels

Description : L'objectif de cette opération de recherche consiste à évaluer la vulnérabilité, la fiabilité et la résilience des ouvrages du Génie Civil au sein de leur environnement. En s'intéressant à ces ouvrages tout au long de leur vie depuis leur conception jusqu'à parfois des millénaires, l'ensemble des risques pouvant altérer leur durabilité, leur aptitude au service peuvent être pris en compte et réduits. Les matériaux concernés (que ce soit les sols ou ceux constituant les ouvrages comme le béton, l'acier, la maçonnerie, le bois. . .) ont des comportements complexes à appréhender tant du point de vue mécanique que physique ou chimique. Pour répondre à cette problématique de vulnérabilité, des approches expérimentales ainsi que des développements numériques sont proposés de manière complémentaire. Toutes les échelles spatiales sont investies afin d'obtenir une vision complète du problème.

A l'échelle microscopique et en deçà, des études expérimentales sur les propriétés physico-chimiques des matériaux sont réalisées. En complément, des simulations moléculaires permettent de prédire le comportement multi-physique (thermique, hydrique et mécanique) des différentes phases des matériaux de construction. C'est à cette échelle que les mécanismes de retrait et de fluage se produisent. Ces études viennent ensuite informer les échelles supérieures en développant des outils d'homogénéisation analytique et numérique dans une démarche de compréhension multi-échelle et multiphysique. à l'échelle mésoscopique, des codes de calcul (pouvant associer éléments finis et éléments discrets) sont développés pour modéliser les non-linéarités apparaissant dans les matériaux soumis à des sollicitations chimiques, thermiques, hydriques et/ou mécaniques. Des essais de caractérisation et des mesures de champs 2D, 3D et 4D sont utilisés à cette échelle pour informer et améliorer la modélisation. Le caractère hétérogène des matériaux considérés est aussi investigué en analysant la méso-structure et son influence sur la variabilité des comportements.

à l'échelle macroscopique, la réponse des structures et des équipements est étudiée. L'interaction forte avec le sol, qui peut jouer un rôle important sur le comportement statique ou dynamique, ou celle avec d'autres structures est un enjeu important pour mener à bien un dimensionnement d'une structure dans son environnement. Dans ce cas aussi, les moyens expérimentaux sont mis à profit pour réaliser des essais à l'échelle de la structure, entre autres à l'aide d'approches hybrides et de plusieurs techniques de mesure de champs.

OR3. Jumeaux hybrides : simulation, apprentissage (Hybrid Digital Twins : simulation and machine learning)

D. Clouteau, A. Fau, F. Gatti, C. Giry, P. Jehel, X. Jourdain, F. Lopez-Caballero

Actions de recherche développées :

- Simulations numériques directe et inverse
- Assimilation de données massives et apprentissage machine
- Construction de jumeaux hybrides (méta-modèles physiques, statistiques)

- Conception par bâti immobilier modélisé

L'OR3 a pour vocation l'intégration des données observées dans le cadre expérimental et synthétisées par simulation numérique, afin d'établir un nouveau paradigme en « boîte grise » de conception et maintenance des infrastructures, des ouvrages critiques et des bâtiments. Pour faire face à la nécessaire adaptation des ouvrages aux changements climatiques et aux catastrophes naturelles, les activités de l'OR3 visent, en coordination avec les autres OR, à définir et à construire des jumeaux hybrides et multi-physiques des ouvrages futurs et existants, pour rendre robuste la phase de conception vis-à-vis des incertitudes (intrinsèques et liées aux agents environnementaux externes), planifier et adapter la maintenance, évaluer l'état de santé de l'ouvrage, prédire son temps de vie ultime. Le cadre est celui de l'apprentissage machine, nécessaire pour concevoir des méta-modèles rapides qui intègrent ou se substituent aux simulations numériques ou campagnes expérimentales. Les jumeaux hybrides prévoient la simulation et la métamodélisation directes et inverses afin d'ajuster la prédiction et investiguer l'incertitude et la corrélation des paramètres d'entrée vis-à-vis de la sensibilité des modèles.

Afin d'atteindre ces objectifs, l'OR3 vise à exploiter le BIM, le calcul à hautes performances, les algorithmes d'apprentissage et d'IA et l'acquisition des données, le traitement des incertitudes et les analyses de sensibilité afin de proposer une estimation locale et globale du risque (simple ou dû à des effets en cascade) associé à chaque infrastructure dans son environnement.

OR4. Dynamique des Sols et Structures, Génie Parasismique et Séismologie computationnelle (Structural/Geotechnical Earthquake Engineering and Computational Seismology)

*D. Clouteau, F. Gatti, F. Gatuingt, C. Giry, F. Lopez-Caballero, A. Modaressi, F. Rague-
neau*

Actions de recherche développées :

- Simulations physiques Hautes Performances,
- Modélisation, propagation et quantification des incertitudes,
- Aléas naturels, sismologie de l'ingénieur,
- Évaluation de risques à l'échelle régionale.

Cette OR vise à développer des outils numériques permettant de quantifier le risque sous sollicitations dynamiques sévères (séisme, dynamique rapide...) d'ouvrages géotechniques et de structures. Cet objectif se décline en un ensemble de développements de stratégies de résolutions numériques avancées et couplées entre elles pour réaliser une modélisation directe des paramètres importants du problème (source sismique, chemin de propagation, effet de site). Ceci permet une réduction des incertitudes épistémiques dans l'analyse des phénomènes qui ont lieu durant un séisme dans le cadre de l'analyse de risques.

Afin de reproduire la complexité de la réponse du sol et des structures, des modèles de comportement non linéaires sont développés avec la mise en œuvre d'un formalisme permettant leur utilisation et amenant à une description pertinente des phénomènes de rupture à l'échelle des ouvrages. De par la nature aléatoire des phénomènes dynamiques et l'hé-

térogénéité et variabilité des propriétés des matériaux, des développements sont réalisés pour modéliser, propager et quantifier les incertitudes. La limitation du coût de calcul de ce type d'analyse passe notamment par le développement des approches de métamodélisation pour l'analyse globale du risque sismique (interaction avec l'OR3).

L'analyse d'un événement sismique et l'évaluation des risques associés impliquent de développer des outils numériques permettant de décrire un parc d'ouvrages et les sollicitations qu'ils subissent à l'échelle d'une région. De plus, la prise en compte de l'échelle de temps avec la description de la vie des ouvrages et des aléas naturels observés dans la région amène au développement des modèles permettant d'intégrer cet historique ainsi que l'évolution temporelle des propriétés mécaniques, son impact sur la vulnérabilité et in fine sur le risque sismique à l'échelle régionale (interaction avec l'OR2).

4.5 Enjeux sociétaux

- Energie, climat, environnement développement durable
 - Limiter les besoins énergétiques dans le domaine du Génie Civil
 - Réduire l'empreinte carbone des matériaux de construction
 - Améliorer la durabilité des constructions/ Augmenter la durée de vie des constructions
 - Recycler et Valoriser pour la production d'éco-matériaux
- Transition numérique et Intelligence Artificielle
 - Utilisation des données comme un outil d'ingénierie pour la meilleur conception et utilisation plus efficace des ressources
- Mobilité et Transport
 - Pérennité des ouvrages et infrastructures
 - Méthodologie et démarche de maintenance optimisée des ouvrages
- Renouveau Industriel
 - Conception/optimisation de nouveaux matériaux
 - Optimisation du design de structures
 - Compréhension et détermination des marges de sécurité

4.6 Positionnement national et international

L'équipe OMEIR est très fortement impliquée dans un réseau national dense de recherches académiques supporté par un nombre important d'ANR et de Projets Nationaux (PN) recoupant un large spectre d'activités et de partenaires. Nous pouvons citer :

- THEDESCO (Comportement thermo-mécanique des bétons, ANR JCJC)
- ILISBAR (Solutions de confortement des structures en béton, ANR)
- SINAPS (Déterminations des variabilités pour le risque sismique, PIA)
- ISOLATE (Caractériser et prévenir la liquéfaction des sols, ANR)
- MODULATE (Modélisation des mouvements du sol à longue période et évaluation de leurs effets sur les infrastructures à grande échelle, ANR)

- ASIRIplus-SDS (Amélioration des sols par inclusions rigides : Sollicitations Dynamiques et Sismiques, ANR/PN)
- MINnD (Modélisation des Informations Interopérables pour les infrastructures durables, PN)
- ACROSS (archéosismicité et approches bayésiennes, ANR)

Ce positionnement national est accentué par une participation importante des chercheurs au sein des sociétés savantes (AUGC, AFGC, AFPS, CSMA, IBPSA, CFMS). Au niveau international, des implications au sein de projets européens sont à noter (SERA, THERMASMART) ainsi qu'un ancrage au sein des sociétés savantes internationales des différentes disciplines pavant les activités du groupe (FRAMCOS, RILEM, FIB, ICHMT).

4.7 Partenariats industriels et universitaires

Au sein de l'Université Paris-Saclay, le pôle fédérateur d'une partie importante de l'équipe OMEIR se situe au sein de l'Institut SEISM (EDF, CEA, CentraleSupélec, ENS Paris-Saclay et BRGM) dont l'objectif principal a trait à l'évaluation du risque sismique intégrant les différents mécanismes de la rupture de la faille à la caractérisation de la vulnérabilité sismique des structures et des équipements.

Certains de ses membres ont participé à la création du groupement UQ Say (Uncertainty Quantification) qui a vocation à se transformer en GIS (EDF, CEA, CentraleSupélec, SNCF, ...). Vue l'expertise en mécanique numérique et apprentissage machine, l'équipe OMEIR a une interaction très forte avec les activités du Mésocentre Moulon de l'Université Paris Saclay, ainsi il se prévaut des ressources de calcul nationales et internationales (réseaux GENCI, PRACE, etc).

Concernant les partenariats industriels, le centre de gravité des activités des partenaires envisagés actuels et futurs se situe autour des activités industrielles des secteurs du BTP et du Génie Civil. Nous pouvons citer à titre d'exemple :

- Industries des matériaux pour le génie civil (Lafarge, Sika, LabCom LMT/Ecocem. . .)
- Gestionnaires d'infrastructures et de parcs industriels et/ou nucléaires (EDF, CEA, IRSN, ANDRA, SNCF, RATP, . . .)
- Industries du BTP (Vinci, Bouygues, Eiffage. . .)
- Fédérations : Fédération Française du Bâtiment (FFB), Fédération Française des Travaux Publics (FNTP)
- Ingénieries (Ingerop, Setec, Geodynamique & Structure, EGIS. . .)
- Prospection, exploration, stockage (CGG, IFPEN, INERIS, ANDRA,...)

6

Annexes

Annexe 1

Courriers de soutien des tutelles au projet



Jean-Yves MARZIN
Directeur de l'INSIS

Affaire suivie par :
Nathalie Quesnay
01 44 96 45 69
Réf. : INSIS/D-2021-60

Paris, le 6 juillet 2021.

A l'attention des porteurs du projet de fusion des unités LMT et MSSMAT
M. Pierre-Alain Boucard et Mme Véronique Aubin

Objet : Projet « Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay », fusion des unités UMR8535 LMT et UMR8579 MSSMAT - Avis du CNRS sur la proposition de la future direction.

Madame, Monsieur,

Le CNRS donne un avis favorable à la proposition de la future direction du projet intitulé Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay, fusion des laboratoires LMT et MSSMAT, telle que présentée et approuvée en conseil de laboratoire du 6 juin 2021 avec Pierre-Alain BOUCARD en tant que directeur d'unité et Véronique AUBIN en tant que directrice d'unité adjointe.

Nous profitons de ce courrier pour vous remercier pour votre implication présente et future dans cette unité, de première importance pour notre institut.

Nous vous prions de recevoir nos sincères salutations.

Jean-Yves MARZIN



Pierre-Paul Zalio
Président
+33 (0)1 81 87 48 00
presidence@ens-paris-saclay.fr

Réf : PPZ-CD-SZ-2021-083

Gif-sur-Yvette, le 23 juillet 2021

Objet : Projet de Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay (LMPS)

La création du Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay (LMPS), résultant de la fusion des laboratoires LMT – laboratoire historique et emblématique de l'ENS Paris-Saclay - et MSSMat – laboratoire de CentraleSupélec - est au cœur de la stratégie de l'établissement.

Les laboratoires associent des personnels du CNRS et de deux grandes écoles fondatrices de l'Université Paris-Saclay. Ces écoles ont des missions complémentaires et sont coordinatrices de deux graduate schools de l'Université, l'une disciplinaire - la graduate school Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes - et l'autre de mission - la graduate school Métiers de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur.

L'ENS Paris-Saclay soutient pleinement le projet scientifique porté par Pierre-Alain Boucard (ENS Paris-Saclay), en tant que futur directeur, et Véronique Aubin (CentraleSupélec), en tant que future directrice adjointe, du laboratoire.



Pierre-Paul Zalio

Direction de la Recherche
Pr. Olivier Gicquel
Directeur
Olivier.gicquel@centralesupelec.fr
Tel : + 33 1 75 31 60 55

Objet : Avis les porteurs du futur laboratoire de mécanique Paris-Saclay

La création du Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay (LMPS), résultant de la fusion des laboratoires LMT et MSSMat est au cœur de la stratégie de CentraleSupélec et contribue activement à la création de l'Université Paris-Saclay et de la Graduate School Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes.

Les conseils des laboratoires MSSMat et LMT réunis le 6 juin 2021 ont affiché un soutien massif aux deux porteurs du projet : Pierre-Alain Boucard pour le poste de Directeur et Véronique Aubin pour la direction adjointe. La tutelle CentraleSupélec est tout à fait en phase avec ce choix d'équipe de direction et s'engage à leur apporter tout le soutien possible pour ce premier mandat.



Pr. Olivier Gicquel
Directeur de la recherche

Campus de Châtenay-Malabry
Grande Voie des Vignes
F-92 295 Châtenay-Malabry Cedex
Tél : +33 (0)1 41 13 10 00
Fax : +33 (0)1 41 13 10 10
SIRET : 130 020 761 00024

Campus de Gif-sur-Yvette (siège)
Plateau de Moulon
3 rue Joliot-Curie
F-91192 Gif-sur-Yvette Cedex
Tél : +33 (0)1 69 85 12 12
Fax : +33 (0)1 69 85 12 34
SIRET : 130 020 761 00016

Campus de Metz
Metz Technopôle
2 rue Edouard Belin
F-57070 Metz
Tél : +33 (0)3 87 76 47 47
Fax : +33 (0)3 87 76 47 00
SIRET : 130 020 761 00040

Campus de Rennes
Avenue de la Boulaie
C.S. 47601
F-35576 Cesson-Sévigné Cedex
Tél : +33 (0)2 99 84 45 00
Fax : +33 (0)2 99 84 45 99
SIRET : 130 020 761 00032

**Commission de la recherche du conseil
académique
de l'Université Paris-Saclay
Séance du 21 septembre 2021
Délibération n°CR-2021-048**

Objet : Création de l'unité mixte de recherche LMPS – Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay

La Commission de la recherche du conseil académique de l'Université Paris-Saclay,

Vu le code de l'éducation ;

Vu le décret n°2019-1131 du 5 novembre 2019 portant création de l'université Paris-Saclay et approbation des statuts, notamment l'article 17 des statuts ;

Vu la délibération du Conseil d'administration en date du 2 mars 2020 portant élection de Madame Sylvie RETAILLEAU présidente de l'Université Paris-Saclay ;

Vu le projet de création de l'unité mixte de recherche LMPS – Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay ;

Considérant ce qui suit :

La commission de la recherche est appelée à examiner le projet de création d'une nouvelle unité mixte de recherche, nommée « LMPS – Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay » ; sous la tutelle du CNRS, de l'ENS Paris-Saclay et de CentraleSupélec (ces deux derniers établissements exerçant la tutelle conjointement avec l'Université Paris-Saclay) ; placée sous la direction de Monsieur Pierre-Alain BOUCARD.

Après en avoir délibéré,

Article premier : Donne un avis favorable pour la création de l'unité mixte de recherche LMPS – Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay au 1^{er} janvier 2022.

Article 2 : La présente délibération sera inscrite au répertoire des actes administratifs de l'Université, publiée sur son site internet et affichée dans ses locaux.

Elle sera communiquée sans délai au recteur de la région académique, chancelier des universités.

Annexe 2

**Liste des personnels permanents au
01/01/2022 (projection)**

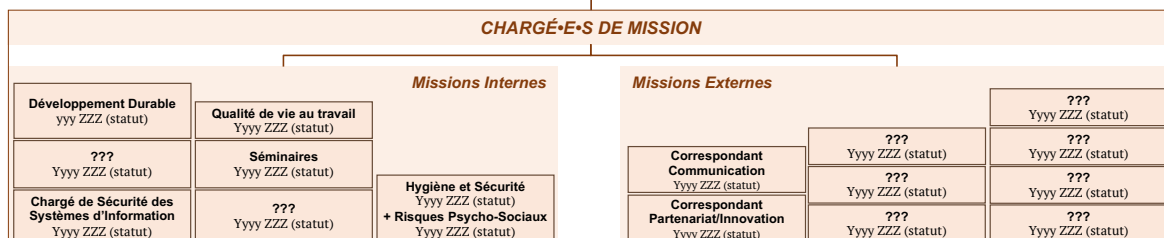
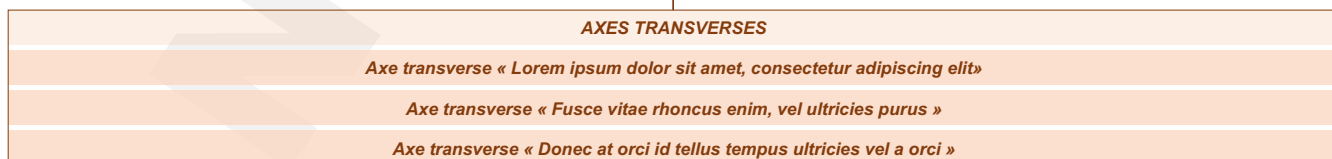
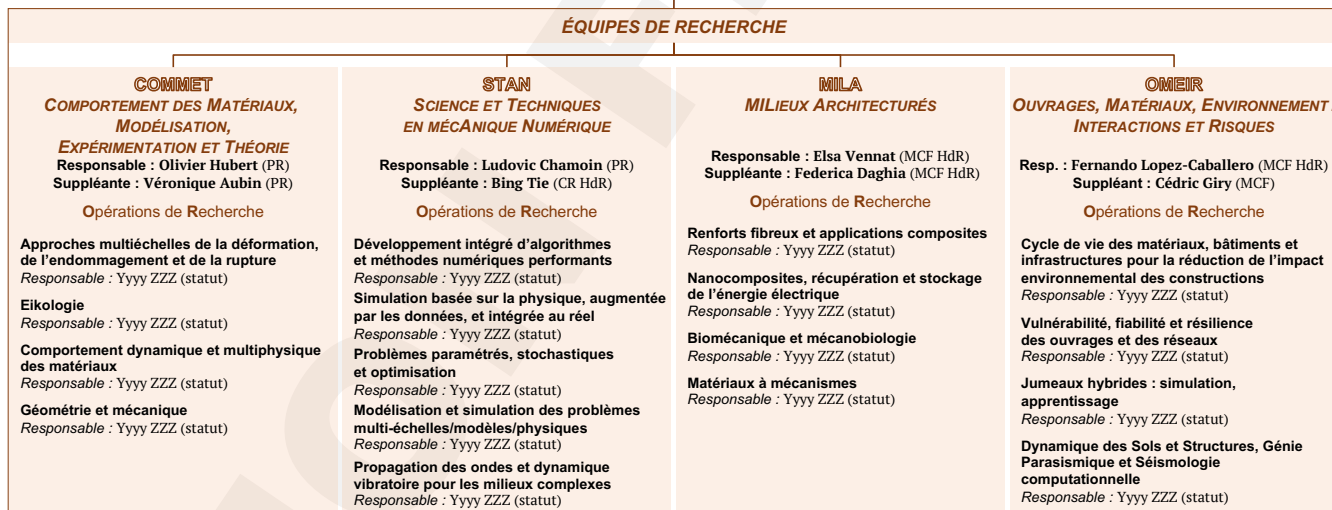
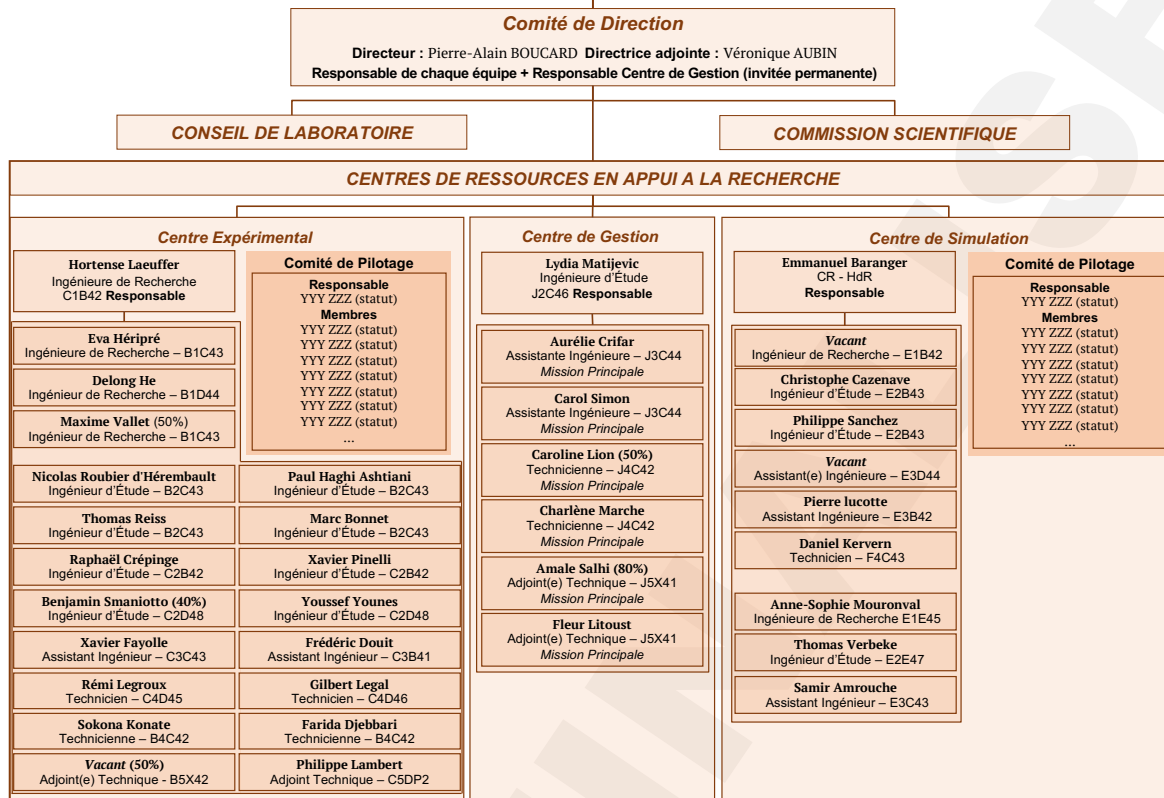
Nom	Prénom	Né(e) le	Corps - Grade	Employeur
ABAHRI	Kamilia	28/11/86	MCF	ENS Paris-Saclay
ALLIX	Olivier	25/03/59	PR	ENS Paris-Saclay
AMLANI	Faisal	19/07/84	CR	CNRS
AMROUCHE	Samir	06/03/73	ITA/AI	ENS Paris-Saclay
AUBIN	Véronique	20/05/75	PR	CentraleSupélec
AUBRY	Denis	08/09/49	PREM	Ém. CentraleSupélec
BAI	Jinbo	12/08/61	DR	CNRS
BARANGER	Emmanuel	05/04/78	CR HdR	CNRS
BARBARULO	Andrea	29/05/84	MCF	CentraleSupélec
BEN DHIA	Hachmi	16/01/58	PR	CentraleSupélec
BENALLAL	Ahmed	06/07/54	DREM	Ém.- CNRS
BENBOUDJEMA	Farid	08/10/75	PR	ENS Paris-Saclay
BENNACER	Rachid	23/12/67	PR	ENS Paris-Saclay
BONNET	Marc	08/10/90	ITA/IE	CNRS
BOUCARD	Pierre-Alain	26/08/67	PR	ENS Paris-Saclay
BOURDOT	Alexandra	08/01/87	MCF	ENS Paris-Saclay
BUDYN	Elisa	17/07/73	PR	ENS Paris-Saclay
CAZENAVE	Jean-Christophe	27/08/65	ITA/IE	CNRS
CHAMBREUIL	Clotilde	16/02/94	ATER	ENS Paris-Saclay
CHAMOIN	Ludovic	19/10/80	PR	ENS Paris-Saclay
CHAOUCHE	Mohend	11/01/64	DR	CNRS
CLOUTEAU	Didier	06/03/65	PR	CentraleSupélec
CLUZEL	Christophe	19/01/61	MCF	Univ. Evry
CORDEBOIS	Jean-Pierre	28/09/44	CH_ BÉNÉVOLE	Retraité MESRI
CREPINGE	Raphaël	23/06/94	ITA/IE	CNRS
CRIFAR	Aurélie	26/09/83	ITA/AI	CNRS
DAGHIA	Federica	12/11/80	MCF HdR	ENS Paris-Saclay
DAVID	Bertrand	07/04/72	CR HdR	CNRS
DE SA	Caroline	30/08/77	PRAG	ENS Paris-Saclay
DESMORAT	Rodrigue	31/01/68	PR	ENS Paris-Saclay
DJEBARRI	Farida	14/08/70	ITA/T	CentraleSupélec
DOUIT	Frédéric	04/09/81	ITA/AI	CNRS
DURAND	Bastien	04/12/86	MCF	ENS Paris-Saclay
DURVILLE	Damien	24/08/66	CR	CNRS
FAU	Amélie	01/05/84	MCF	ENS Paris-Saclay
FAYOLLE	Xavier	30/09/63	ITA/IE	ENS Paris-Saclay
FEYEL	Frédéric	07/05/72	PAST	SAFRAN
FLEUREAU	Jean-Marie	03/09/48	PREM	Ém. CentraleSupélec

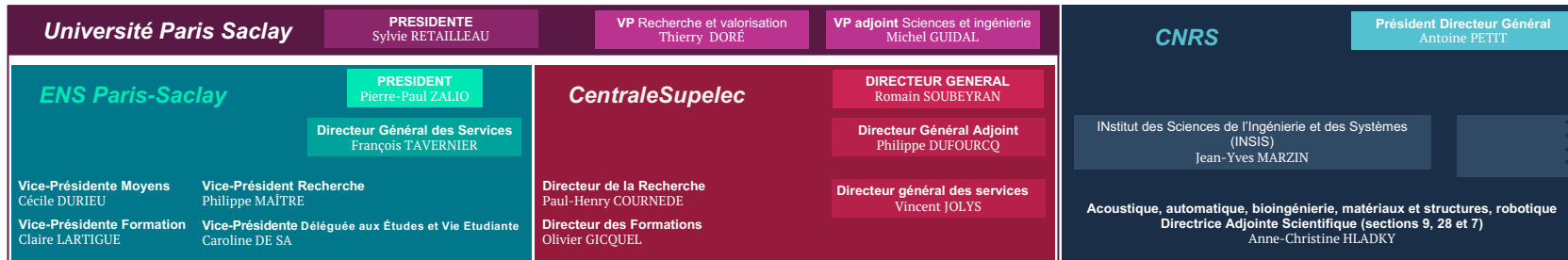
Nom	Prénom	Né(e) le	Corps - Grade	Employeur
GANDIOLLE	Camille	05/08/88	MCF	CentraleSupélec
GATTI	Filippo	14/09/89	MCF	CentraleSupélec
GATUINGT	Fabrice	07/04/71	PR	ENS Paris-Saclay
GIRY	Cédric	18/09/84	MCF	ENS Paris-Saclay
GOSSELET	Pierre	12/06/77	CH_ASSOCIÉ	CNRS
GUIDAULT	Pierre-Alain	13/09/78	MCF HdR	ENS Paris-Saclay
GUILHEM	Yoann	16/12/84	MCF	ENS Paris-Saclay
GUTSALENKO	Tetiana	31/01/89	CH_ASSOCIÉ	ECOCHEM LabCom
HA MINH	Cuong	04/07/84	MCF	ENS Paris-Saclay
HAGHI-ASHTIANI	Paul	18/10/63	ITA/IE	CNRS
HAMON	Ann-Lenaig	04/06/75	MCF	CentraleSupélec
HE	Delong	17/12/83	ITA/IR	CentraleSupélec
HERIPRE	Eva	14/01/80	ITA/IR	CNRS
HERVÉ-SECOURGEON	Guillaume	24/02/78	PAST	EDF R&D
HILD	François	05/09/65	DR	CNRS
HONORIO DE FARIA	Tulio	20/06/88	MCF	ENS Paris-Saclay
HUBERT	Olivier	02/04/70	PR	ENS Paris-Saclay
JEHEL	Pierre	08/05/82	MCF	CentraleSupélec
JOURDAIN	Xavier	14/04/83	PRAG	ENS Paris-Saclay
KACI	Yasmine	25/04/92	CH_ASSOCIÉ	ECOCHEM LabCom
KERVERN	Daniel	28/03/58	ITA/T	CentraleSupélec
KOLEV	Boris	20/01/66	DR	CNRS
KONATE	Sokona	05/10/65	ITA/T	CentraleSupélec
LACAZEDIEU	Elisabeth	12/04/71	PR	EPF
LADEVEZE	Pierre	05/09/45	PREM	Ém. ENS Paris-Saclay
LAEUFFER	Hortense	02/02/88	CDD ITA/IR	ENS Paris-Saclay
LAMBERT	Philippe	17/04/73	ITA/Adj	CentraleSupélec
LAMON	Jacques	21/04/50	DREM	Ém. - CNRS
LAVERNHE- TAILLARD	Karine	31/10/79	MCF HdR	ENS Paris-Saclay
LE GAL	Gilbert	02/02/57	ITA/T	CentraleSupélec
LEGROUX	Rémi	13/07/92	ITA/T	ENS Paris-Saclay
LITOUST	Fleur	17/04/74	ITA/Adj	CentraleSupélec
LOPEZ-CABALLERO	Fernando	22/05/72	MCF HdR	CentraleSupélec
LOUF	François	27/06/76	MCF HdR	ENS Paris-Saclay
LUCOTTE	Pierre	19/06/62	ITA/AI	CNRS
MAAROUFI	Maroua	23/03/92	MCF	EPF
MARAE DJOUDA	Joseph	20/07/89	MCF	EPF
MARCHE	Charlène	24/09/82	CDD ITA/T	ENS Paris-Saclay
MATIJEVIC	Lydia	08/03/73	ITA/AI	ENS Paris-Saclay
MODARESSI	Arézou	21/03/58	PR	CentraleSupélec
MOURONVAL	Anne-Sophie	21/06/76	ITA/IR	CentraleSupélec
MYRTJA	Erisa	17/05/92	CH_ASSOCIÉ	ECOCHEM LabCom
NEGGERS	Jan	03/02/81	MCF	CentraleSupélec
NERON	David	09/11/76	PR	ENS Paris-Saclay
OLIVE	Marc	24/08/70	MCF HdR	ENS Paris-Saclay
OLIVER-LEBLOND	Cécile	08/05/88	MCF	ENS Paris-Saclay

Nom	Prénom	Né(e) le	Corps - Grade	Employeur
PINELLI	Xavier	09/06/60	ITA/IE	ENS Paris-Saclay
POMMIER	Sylvie	15/12/69	PR	ENS Paris-Saclay
PONCELET	Martin	12/04/80	MCF	ENS Paris-Saclay
PUEL	Guillaume	26/09/77	PR	CentraleSupélec
RAGUENEAU	Frédéric	08/11/72	PR	ENS Paris-Saclay
REISS	Thomas	26/11/76	ITA/IE	CentraleSupélec
ROUBIER	Nicolas	16/11/71	ITA/IE	CentraleSupélec
ROUX	Stéphane	10/06/60	DR	CNRS
SALHI	Amale	19/02/85	ITA/AJT	ENS Paris-Saclay
SANCHEZ	Philippe	05/08/66	ITA/IE	ENS Paris-Saclay
SCHMITT	Nicolas	24/06/59	PR	UNIV. PARIS-EST
SCHMITT	Jean-Hubert	24/11/56	PREM	Ém. CentraleSupélec
SIMON	Carol	30/11/67	ITA/AI	CNRS
SMANIOTTO	Benjamin	24/08/86	ITA/IE	ENS Paris-Saclay
SOULIER	Bruno	25/11/65	MCF	ENS Paris-Saclay
TIE	Bing	10/02/66	CR HdR	CNRS
VALLET	Maxime	05/05/88	ITA/IR	CentraleSupélec
VENNAT	Elsa	25/10/81	MCF HdR	CentraleSupélec
VERBEKE	Thomas	11/12/86	ITA/IE	CNRS
YOUNES	Youssef	18/01/80	ITA/IE	CentraleSupélec
ZACCARDI	Cédric	21/02/85	MCF	EPF
ZHAO	Han	27/05/63	PR	Sorbonne Univ.

Annexe 3

Organigramme du LMPS





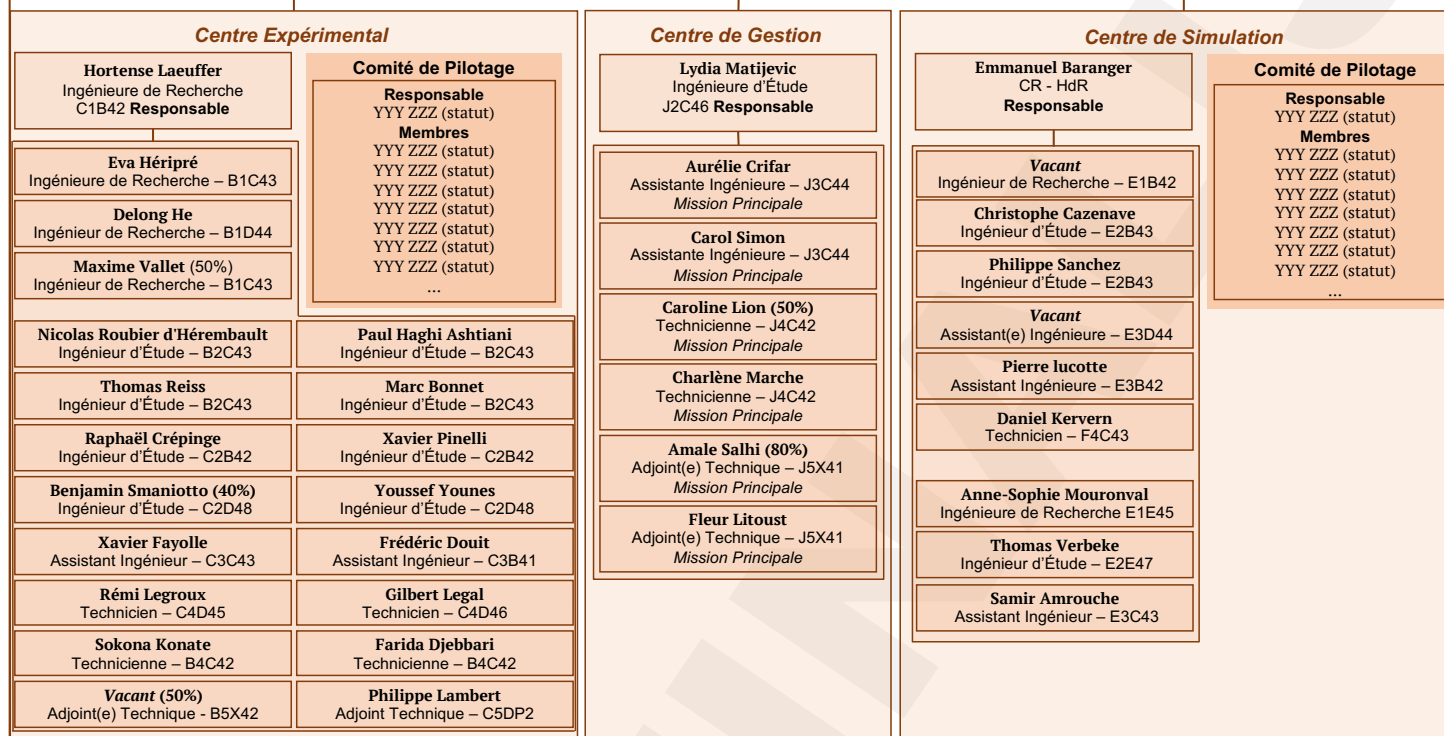
Comité de Direction

Directeur : Pierre-Alain BOUCARD **Directrice adjointe :** Véronique AUBIN
Responsable de chaque équipe + Responsable Centre de Gestion (invitée permanente)

CONSEIL DE LABORATOIRE

COMMISSION SCIENTIFIQUE

CENTRES DE RESSOURCES EN APPUI A LA RECHERCHE



ÉQUIPES DE RECHERCHE			
COMMET COMPORTEMENT DES MATÉRIAUX, MODÉLISATION, EXPÉRIMENTATION ET THÉORIE Responsable : Olivier Hubert (PR) Suppléante : Véronique Aubin (PR) Opérations de Recherche Approches multiéchelles de la déformation, de l'endommagement et de la rupture <i>Responsable : Yyyy ZZZ (statut)</i> Eikologie <i>Responsable : Yyyy ZZZ (statut)</i> Comportement dynamique et multiphysique des matériaux <i>Responsable : Yyyy ZZZ (statut)</i> Géométrie et mécanique <i>Responsable : Yyyy ZZZ (statut)</i>	STAN SCIENCE ET TECHNIQUES EN MÉCANIQUE NUMÉRIQUE Responsable : Ludovic Chamoin (PR) Suppléante : Bing Tie (CR HdR) Opérations de Recherche Développement intégré d'algorithmes et méthodes numériques performants <i>Responsable : Yyyy ZZZ (statut)</i> Simulation basée sur la physique, augmentée par les données, et intégrée au réel <i>Responsable : Yyyy ZZZ (statut)</i> Problèmes paramétrés, stochastiques et optimisation <i>Responsable : Yyyy ZZZ (statut)</i> Modélisation et simulation des problèmes multi-échelles/modèles/physiques <i>Responsable : Yyyy ZZZ (statut)</i> Propagation des ondes et dynamique vibratoire pour les milieux complexes <i>Responsable : Yyyy ZZZ (statut)</i>	MILA MILIEUX ARCHITECTURÉS Responsable : Elsa Vennat (MCF HdR) Suppléante : Federica Daghia (MCF HdR) Opérations de Recherche Renforts fibreux et applications composites <i>Responsable : Yyyy ZZZ (statut)</i> Nanocomposites, récupération et stockage de l'énergie électrique <i>Responsable : Yyyy ZZZ (statut)</i> Biomécanique et mécanobiologie <i>Responsable : Yyyy ZZZ (statut)</i> Matériaux à mécanismes <i>Responsable : Yyyy ZZZ (statut)</i>	OMEIR OUVRAGES, MATÉRIAUX, ENVIRONNEMENT : INTERACTIONS ET RISQUES Resp. : Fernando Lopez-Caballero (MCF HdR) Suppléant : Cédric Giry (MCF) Opérations de Recherche Cycle de vie des matériaux, bâtiments et infrastructures pour la réduction de l'impact environnemental des constructions <i>Responsable : Yyyy ZZZ (statut)</i> Vulnérabilité, fiabilité et résilience des ouvrages et des réseaux <i>Responsable : Yyyy ZZZ (statut)</i> Jumeaux hybrides : simulation, apprentissage <i>Responsable : Yyyy ZZZ (statut)</i> Dynamique des Sols et Structures, Génie Parasismique et Séismologie computationnelle <i>Responsable : Yyyy ZZZ (statut)</i>

AXES TRANSVERSES
<i>Axe transverse « Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit »</i>
<i>Axe transverse « Fusce vitae rhoncus enim, vel ultricies purus »</i>
<i>Axe transverse « Donec at orci id tellus tempus ultricies vel a orci »</i>

CHARGÉ•E•S DE MISSION					
Missions Internes			Missions Externes		
Développement Durable yyy ZZZ (statut)	Qualité de vie au travail Yyyy ZZZ (statut)				??? Yyyy ZZZ (statut)
??? Yyyy ZZZ (statut)	Séminaires Yyyy ZZZ (statut)		Correspondant Communication Yyyy ZZZ (statut)	??? Yyyy ZZZ (statut)	??? Yyyy ZZZ (statut)
Chargé de Sécurité des Systèmes d'Information Yyyy ZZZ (statut)	??? Yyyy ZZZ (statut)	Hygiène et Sécurité Yyyy ZZZ (statut) + Risques Psycho-Sociaux Yyyy ZZZ (statut)	Correspondant Partenariat/Innovation Yyyy ZZZ (statut)	??? Yyyy ZZZ (statut)	??? Yyyy ZZZ (statut)

Annexe 4

Rôle de la ou du responsable d'équipe

Rôle de la ou du responsable d'équipe

Le-la responsable d'équipe est un des maillons essentiels du fonctionnement de la future unité ; il-elle est un des éléments de lien avec la direction. Il-elle est l'animateur-trice de son équipe, tant d'un point de vue scientifique que fonctionnel, en y préconisant la convivialité et les bonnes pratiques. Ainsi il-elle facilite les échanges, accompagne et soutient les initiatives des membres de l'équipe en permettant à chacun d'évoluer et d'orienter ses activités dans le cadre général de la politique scientifique de l'unité. Il-elle peut être amené-e à prendre des décisions et conduire des arbitrages, mais il-elle est avant tout garant d'un fonctionnement consensuel et concerté : les décisions sont toujours prises dans un esprit de bienveillance. Si sa position lui confère des prérogatives, il-elle est aussi amené(e) à travailler en toute transparence avec les membres de son équipe et plus généralement avec le laboratoire.

Le-la responsable d'équipe n'est pas un-une directeur-trice-adjoint-e (au sens des tutelles), par contre il-elle est membre du comité de direction en tant que sous-directeur ou sous-directrice, et dispose à ce titre de la délégation de signature. Il-elle valide donc les demandes de dépenses associées à son équipe, ce qui facilite une gestion agile et efficace. Au moins durant la première accréditation de l'unité, il-elle est suppléé-e par un-une responsable d'équipe adjoint-e. Ce binôme responsable-suppléant-e est constitué d'une personne située sur le site de l'ENS et d'une autre située sur le site de CentraleSupélec. Le-La suppléant-e est amené-e à représenter le-la responsable d'équipe en cas d'absence pour toutes les réunions où sa présence est requise (comité de direction, réunion d'équipe, ...). Les décisions sont prises par le-la responsable d'équipe en concertation avec son adjoint-e et plus globalement avec l'équipe dans son ensemble. La durée de mandat du binôme responsable-adjoint(e) correspond a priori à la durée de l'accréditation HCERES du laboratoire. Le mandat doit être remis en jeu à chaque nouvelle habilitation, de manière synchronisée avec la direction du laboratoire. Ceci conduit à 2 mandats successifs possibles. Le-la responsable d'équipe s'appuie sur le centre de gestion pour le bon fonctionnement de l'équipe.

Le choix du binôme responsable d'équipe et de son adjoint(e) est un moment important de la vie du laboratoire. Le-la responsable d'équipe et son adjoint(e) sont nommé(e)s par le directeur ou la directrice du laboratoire en concertation avec le directeur ou la directrice adjoint(e), sur proposition de l'équipe concernée. La proposition s'appuie sur un processus électif mené dans chaque équipe dont le détail n'est pas donné ici, et la candidature est en binôme (responsable + adjoint(e)). Ainsi, même si la bienveillance du-de la responsable et le mode de fonctionnement consensuel qui est proposé ne doivent pas amener à une telle situation, les membres de l'équipe peuvent alerter sur des difficultés survenues dans l'équipe le directeur-la directrice du laboratoire qui mettra alors en place une recherche de conciliation. Si celle-ci ne peut être trouvée, une révocation du-de la responsable d'équipe pourra avoir lieu.

Exemples d'actions relevant du-de la responsable d'équipe et de son adjoint-e

- Animation scientifique de l'équipe
 - Connaître et valoriser le travail des membres de l'équipe, en particulier doctorants (accueil) et ITA ayant une action de recherche dans l'équipe
 - Organiser les réunions d'équipe constituées de transmission d'information, de discussions et d'exposés scientifiques

- Être informé des projets déposés et aider à leur mise en cohérence, participer aux avis sur le projet lorsque cela est demandé à la direction
- Discuter de l'élargissement de projets existants en favorisant une participation plus large des chercheurs de l'équipe et d'autres équipes éventuellement
- Partager les informations avec les membres de l'équipe sur les financements obtenus
- Animer les discussions au sein de l'équipe lorsque des classements/arbitrages doivent être faits à l'échelle de l'équipe et/ou à celle du laboratoire (par ex : classement des sujets de thèse pour le concours des contrats doctoraux, noms de chercheurs à inviter, décision à prendre sur le budget. . .)
- Accompagnement des membres de l'équipe
 - Impliquer et motiver les membres de l'équipe
 - S'assurer de l'implication des MCF à l'encadrement doctoral
 - Accueillir et intégrer les nouveaux arrivants
 - Encourager la recherche de financement
- Inciter à répondre aux appels à projets pertinents pour l'équipe
 - Partager les bonnes pratiques pour évaluer les coûts réalistes d'un projet de recherche
 - Faire partager au sein de l'équipe les bonnes pratiques pour réussir les appels à projet (ANR, contrats doctoraux, ERC, projets internationaux (type Humboldt, ECOS, Marie Curie). . .)
- Communication
 - Discussion en équipe des informations provenant des tutelles et de la direction du laboratoire
 - Rédaction de documents relatifs à l'équipe (rapport HCERES, site web, rapport de la recherche, etc. . .) avec l'aide des responsables d'OR
 - Représentation de l'équipe lors de visites de directions d'écoles, visites de VIP étrangers ou nationaux
- Pilotage et gestion financière de l'équipe
 - Signature des missions et des commandes relevant de l'équipe
 - Aspects financiers
 - Transmission des demandes prévisionnelles consolidées des membres de l'équipe au centre de gestion en termes de fonctionnement, investissement et RH, qui établira un budget en lien avec le-la responsable d'équipe
 - Suivi des dépenses
 - Suivi des dépenses (avec le centre de gestion) – fonctionnement, Investissements, salaires
 - Bilan budgétaire à présenter annuellement aux membres de l'équipe : précisant en particulier l'origine des fonds, l'utilisation des fonds, alertant sur les reliquats à dépenser, etc. . .
- Politique du laboratoire
 - Membre du comité de direction du laboratoire, représente l'équipe et participe aux discussions nécessitant des arbitrages (investissements, classement de sujets de thèse, chercheurs à inviter, arbitrage sur les investissements proposés à l'appel mi-lourd. . .)
 - Participe à l'élaboration des profils (en concertation avec l'équipe) : postes EC, ITA, promotions

Annexe 5

Résultats du sondage réalisé auprès des personnels sur le mode de fonctionnement du laboratoire et le rôle du responsable d'équipe

■ Avis sur les bases de fonctionnement de notre future unité

● 88 votes exprimés (taux de participation 86%)

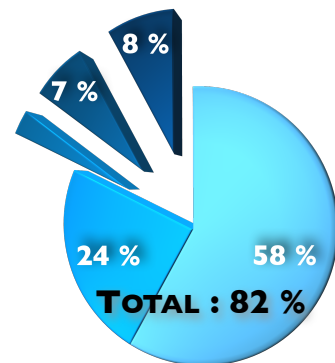
Résultat des votes exprimés		
Avis	Nombre	En % des votants
Favorable	51	58 %
Globalement favorable avec des réserves	21	24 %
Globalement défavorable	3	3 %
Défavorable	6	7 %
Sans opinion	7	8 %

82 %

10 %

8 %

● *Adhésion forte exprimée par les personnels*



- Favorable
- Globalement favorable
- Globalement défavorable
- Défavorable
- Sans opinion

Annexe 6

Compte-rendu suite à la présentation du projet par les porteurs aux conseils des laboratoires LMT et MSSMat



COMPTE RENDU DU CONSEIL DE LABORATOIRE

Présentation groupée aux 2 conseils de laboratoires

Vote sur l'avis donné au projet exprimé par chaque conseil

Date :	Jeudi 6 juin 2021
Lieu :	Visioconférence
Heure de début :	10h00
Heure de fin :	11h55
Présents :	<u>TOTAL PRESENTS LMT = 18</u> <u>Membre de droit :</u> Pierre-Alain BOUCARD <u>Membres élus :</u> Collège A1 : Frédéric RAGUENEAU, Collège A2 : Federica DAGHIA, Yoann GUILHEM, Cuong HA MINH, Martin PONCELET, Bruno SOULIER (suppléant), Collège A3 : Aya RIMA, Ronan SCANFF, Collège B : Charlène MARCHE, Philippe SANCHEZ <u>Membres nommés :</u> Elisabeth LACAZEDIEU Responsable comité de pilotage CE : Emmanuel BARANGER Assistant de prévention et sécurité : Marc BONNET Risques Psychosociaux : Alexandra BOURDOT Correspondante formation et administration transverse : Aurélie CRIFAR Responsable Centre d'Essais : Hortense LAEUFFER Responsable Centre de Gestion et d'Administration financière : Lydia MATIJEVIC <u>TOTAL PRESENTS MSSMat = 15</u> <u>Membre de droit :</u> Véronique AUBIN <u>Membres élus :</u> Collège chercheurs et EC : Didier CLOUTEAU, Damien DURVILLE, Filippo GATTI, Fernando LOPEZ CABALLERO Collège ITA : Farida DJEBARRI, Delong HE, Sokona KONATE Collège non-permanents : Yannick YASOTHAN <u>Membres nommés :</u> Collège chercheurs et EC : Bing TIE, Elsa VENNAT Collège ITA : Paul HAGHI ASHTIANI, Martine LAVABRE Collège non-permanents : Laure LARIPPE, Salah-Eddine MERMOULI <u>TOTAL PRESENTS = 33</u>
Excusés :	<u>EXCUSES LMT</u> Rachid BENNACER, Alexandra BOURDOT, Clotilde CHAMBREUIL, Ludovic CHAMMOIN, Cédric GIRY, Cécile OLIVER-LEBLOND, David NERON, Pascale SABA, Xavier PINELLI, Karine LAVERNHE-TAILLARD

	<u>EXCUSES MSSMat</u> Aucun
Ordre du jour :	- Présentation du projet Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay porté par Pierre-Alain BOUCARD et Véronique AUBIN - Questions diverses - Avis de chaque conseil de laboratoire sur le projet et les porteurs

Sujets abordés

PRESENTATION DU PROJET PAR LES PORTEURS

Voir document « Présentation Projet LMPS »

QUESTIONS DIVERSES

- ***On entend parler de la menace IPP (Institut Polytechnique de Paris). Est-ce une menace plus forte que d'autre laboratoire en France ? Est-ce vraiment une menace alors que le laboratoire n'est pas une entreprise et que l'on a chacun des compétences différentes ?***

Oui et non.

Non, car il n'y a pas de menaces car ce sont des personnes avec qui on collabore.

Oui, car ce qui change c'est le positionnement par rapport à un certain nombre d'ONR et d'EPIC dont la mission est d'être « le ciment en termes de recherche ».

Le partage est clairement acté et affiché de la part de certains partenaires historiques qui positionnent leurs activités sur des laboratoires IPP pour une partie et Université Paris-Saclay pour l'autre.

Le CNRS a exprimé le fait que les laboratoires IPP et Université Paris-Saclay s'entendent avec les partenaires industriels et ONR/EPIC pour partager des thématiques et travailler sans se concurrencer. A ce jour, cela ne paraît pas possible et le laboratoire assume pleinement de rester concurrent avec eux. Il y a un enjeu sur lequel il faut être vigilant.

- ***Du côté de CentraleSupélec, il y a le sentiment d'une très grosse pression sur la charge de l'enseignement par rapport aux enseignants-chercheurs qui relèvent de l'ENS Paris-Saclay. Que faire pour amoindrir ce risque-là ?***

Cette pression moindre côté ENS Paris-Saclay n'est pas forcément ressentie. Il y a un investissement conséquent des enseignants-chercheurs également côté ENS Paris-Saclay.

Cependant pour équilibrer cela, une idée à terme pourrait être que les 2 établissements mettent en place une convention pour permettre aux enseignants de compléter si besoin leur service dans l'autre établissement. Cette idée dépasse largement la compétence du laboratoire mais est à garder en tête.

Côté ENS, personne n'est en double service dans les 2 départements d'enseignement GCE et GM *a priori* et le service effectué des enseignant(e)s-chercheur(ses) est entre 120% et 150% (maximum 96h eq TD par an imposé par l'ENS Paris-Saclay). Côté CentraleSupélec, il est en moyenne de 125%.

Outre cette potentielle pression d'enseignement, la discipline de la mécanique est de plus en plus en concurrence avec les autres disciplines notamment à CentraleSupélec car le cursus est commun/généraliste. La problématique est de déterminer comment augmenter la visibilité et attirer de plus en plus d'étudiants dans notre discipline.

L'enjeu côté ENS Paris-Saclay comme côté CentraleSupélec est d'attirer et de maintenir des étudiants dans les formations proposées autour de la mécanique et dans notre laboratoire (stages, projets)

jusqu'à leur dernière année d'étude (3A côté CentraleSupélec et 4^e année pour l'ENS). Cela nécessite de la communication, de la présence et la fusion aidera à cela.

- ***Comment faire pour se croiser plus facilement ? Pour qu'il y ait du brassage ?***

Il est indispensable de développer les croisements de personnes entre les 2 sites.

Les idées seraient :

- Alternance de bureau sur 1 des 2 sites 1 jour par semaine
- Des réunions d'équipe 1 semaine sur 2 sur les 2 sites
- Partage de bureaux avec des bureaux « volants » permettant d'accueillir des personnels d'un site sur l'autre sans qu'ils y aient un bureau attitré
- Développer les lieux de convivialité

- ***Outre l'appellation officielle lorsque l'on s'inscrit par exemple à une conférence, quel est l'objectif du sentiment d'appartenance (LMPS, ENS ou CentraleSupélec) ?***

De manière générale, il est normal que les enseignants-chercheurs aient une attache particulière à leur établissement (ENS ou CentraleSupélec). On appartient tous désormais à l'Université Paris Saclay mais on constate que ce sentiment d'appartenance existe encore peu.

Sur l'aspect laboratoire, il faut développer sentiment d'appartenance, de fierté au LMPS

Côté signature des publications, les choses sont en revanche extrêmement claires : 1 Université Paris-Saclay, 2- CentraleSupélec/ENS/CNRS 3- LMPS

A terme, il faut que le LMPS devienne une marque comme le sont actuellement le LMT et le MSSMat.

- ***N'est-il pas déplorable de constater que l'implantation sur le plateau Saclay soit identifiée comme une faiblesse pour recruter les personnes ?***

Oui, la situation est une difficulté pour les établissements vis-à-vis des étudiants et cela oblige également les personnels à acheter une voiture pour palier à la problématique de transport.

Mais de manière plus élargie, le problème souligné ici est l'implantation en région parisienne dont le coût de la vie est très élevé ce qui est une difficulté pour recruter des enseignants-chercheurs, des personnels techniques ou des doctorants. Il faudra surement un roulement de génération pour que les personnels habitent à proximité et que cela facilite la vie.

Néanmoins, le choix du nom de la future unité Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay peut nous aider car le fait d'associer le nom « Paris-Saclay » devient un avantage. En effet, « Paris-Saclay » est devenu une marque dont on entend parler dans les médias incitant plus de personnes à candidater sur des postes par exemple (constat qui commence à être fait par les services à l'ENS Paris-Saclay).

- ***Comment fait-on pour s'assurer qu'il n'y ait pas de concurrence entre les équipes sur certains thèmes ?***

Le problème peut être entre différentes équipes mais également au sein d'une même équipe ou d'une même OR.

Le mieux est que les personnes discutent d'abord et s'ils ne le font pas, les responsables d'équipes sont là pour réorienter les choses. La direction peut alerter, inciter, et peut jouer un rôle de médiation mais elle ne peut pas interdire le travail d'une personne sur une thématique.

Néanmoins, sur certaines thématiques, les approches peuvent être différentes et enrichir le projet. Mais, travailler sur une thématique d'un collègue alors que cela n'est pas notre compétence principale peut être assimilé à de la provocation. Face à cela, la seule solution est le respect du travail de chacun. Il faut également rappeler qu'il est toujours possible d'élargir le nombre de chercheurs du laboratoire participant à un contrat donné, puisque le contrat est signé par l'établissement et non par les chercheurs.

- ***Pourrait-on envisager la création d'une cellule de médiation en lien à la direction pour pallier les frictions qui pourrait apparaître au démarrage de la nouvelle unité ?***

Oui, cela peut être intéressant par rapport aux différences de culture entre le LMT et MSSMat car durant la période de flottement, des difficultés peuvent apparaître.

Pour pallier ces difficultés éventuelles, notamment par rapport à la concurrence des appels à projet (contrats doctoraux, AAP Paris Saclay, Coup de pouce...) sur lesquels nous aurons sans doute de nombreuses propositions en interne, il faudra communiquer, anticiper plus et organiser comment on remonte l'information et les priorisations. Nous aurons par exemple à remonter un classement des contrats doctoraux proposés au concours de l'ED pour le laboratoire, à partir d'un premier classement au sein de chaque équipe. Sur les autres appels à projet, il n'est pas nécessaire de classer les projets au sein du laboratoire, néanmoins, il faut s'assurer que l'information circule sur les projets en préparation, afin d'éviter par exemple que deux projets avec des objectifs voisins soient proposés au même appel à projets.

Concernant les partenariats, il y a peu de risque de concurrence car globalement les partenaires sont différents du côté du LMT et du MSSMat.

- ***Fera-t-on exploser le budget associé au LMPS dans la cadre des chiffrages des projets ANR ? Qui va se présenter ?***

Le budget des projets ne va pas forcément augmenter, car le budget d'un projet est surtout lié au nombre de personnes qui s'y investissent, aux moyens demandés. Le projet sera déposé au nom du LMPS, et il n'y a pas de raison que les budgets augmentent. C'est l'occasion de rappeler que le chiffrage des projets doit se faire en estimant tous les coûts, les charges, l'environnement des personnels permanents et non permanents... Mais il n'y a aucune raison de faire augmenter les budgets.

Le choix du porteur du projet qui se présentera devra faire l'objet d'échanges entre l'ensemble des participants afin de savoir qui doit être mis en avant. Ce n'est pas le comité de direction qui va décider qui déposera ou pas. Comme dit précédemment, la seule chose est de s'assurer que sur un appel donné, 2 appels à projets trop proches ne soient pas déposés, cela enverrait sans doute un mauvais message. Notons qu'étant un plus gros laboratoire, il est normal de déposer plus de projets.

- ***Comment s'opéreront pour les frais de gestion des projets car ils sont différents dans les 2 établissements ENS Paris-Saclay et CentraleSupélec ?***

Il faut distinguer les frais de gestion et les coûts affichés par les 2 établissements, qui sont différents. Il n'y a aucun doute sur le fait que l'ENS Paris-Saclay et CentraleSupélec vont souhaiter qu'il y ait autant de contrats gérés par l'un et l'autre qu'actuellement. Le CNRS délègue totalement la gestion des contrats de recherche sur les deux tutelles universitaires.

Le choix de l'établissement gestionnaire sera fait en fonction du statut du responsable scientifique du projet.

Concernant les frais de gestion, l'évaluation se fera en fonction du statut du responsable scientifique du projet (selon qu'il-elle est personnel ENS ou CentraleSupélec) et donc de l'établissement qui gèrera le volet financier du projet. Si le responsable scientifique est un personnel CNRS, le choix d'un établissement ou d'un autre comme gestionnaire est *a priori* ouvert.

Actuellement les frais de gestion de l'ENS sont de 15% et ceux de CentraleSupélec de 18%. L'Université Paris-Saclay est en réflexion sur une homogénéisation des frais de gestion qui doit converger rapidement à 18%.

Aujourd'hui, le volume de contrats ramené au nombre de permanents est relativement équilibré entre le LMT et le MSSMat. Il faudra qu'on conserve l'équilibre relatif des contrats en gestion ENS Paris-Saclay et CentraleSupélec car les deux établissements regarderont sans doute cet aspect de près.

- ***En termes de sécurité, y-a-t-il une réflexion concernant l'assistance de prévention, sur un document unique ?***

Le sujet est en cours de réflexion. Cependant il apparaît qu'à minima un assistant de prévention sur les 2 sites est indispensable et un document unique sera réalisé.

AVIS DE CHAQUE CONSEIL DE LABORATOIRE SUR LE PROJET ET LES PORTEURS

LMT :

Avis favorable : 18

Avis défavorable : 1

NB :

David NERON donne sa procuration de vote à Pierre-Alain BOUCARD.

Karine LAVERNHE donne sa procuration de vote à Cuong HA MINH.

Bruno SOULIER ne vote pas étant suppléant de Federica DAGHIA.

MSSMat :

Avis favorable : 10

Avis défavorable : 0

Ne se prononce pas : 5

Le projet a été validé par les conseils de laboratoire du LMT et du MSSMat.

Prochaine réunion

Date à déterminer.

Conclusion

Le compte rendu a été validé par l'ensemble des membres présents.