



**HAL**  
open science

## MSSMAT - Laboratoire de mécanique, sols-structures-matériaux

Rapport Hcéres

► **To cite this version:**

Rapport d'évaluation d'une entité de recherche. MSSMAT - Laboratoire de mécanique, sols-structures-matériaux. 2014, École centrale des arts et manufactures, Centre national de la recherche scientifique - CNRS. hceres-02033538

**HAL Id: hceres-02033538**

**<https://hal-hceres.archives-ouvertes.fr/hceres-02033538>**

Submitted on 20 Feb 2019

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

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



agence d'évaluation de la recherche  
et de l'enseignement supérieur

Section des Unités de recherche

Évaluation de l'AERES sur l'unité :

Laboratoire de Mécanique des Sols, Structures et  
Matériaux

MSSMat

sous tutelle des  
établissements et organismes :

École Centrale Paris

Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS





agence d'évaluation de la recherche  
et de l'enseignement supérieur

Section des Unités de recherche

*Pour l'AERES, en vertu du décret du 3  
novembre 2006<sup>1</sup>,*

- M. Didier HOUSSIN, président
- M. Pierre GLAUDES, directeur de la section  
des unités de recherche

*Au nom du comité d'experts,*

- M. Frédéric LEBON, président du comité

---

<sup>1</sup> Le président de l'AERES « signe [...], les rapports d'évaluation, [...] contresignés pour chaque section par le directeur concerné » (Article 9, alinea 3 du décret n°2006-1334 du 3 novembre 2006, modifié).



# Rapport d'évaluation

Ce rapport est le résultat de l'évaluation du comité d'experts dont la composition est précisée ci-dessous.

Les appréciations qu'il contient sont l'expression de la délibération indépendante et collégiale de ce comité.

Nom de l'unité : Laboratoire de Mécanique des Sols, Structures et Matériaux

Acronyme de l'unité : MSSMat

Label demandé : UMR

N° actuel : 8579

Nom du directeur  
(2013-2014) : M. Hachmi BEN DHIA

Nom du porteur de projet  
(2015-2019) : M. Hachmi BEN DHIA

## Membres du comité d'experts

Président : M. Frédéric LEBON, Université Aix-Marseille

Experts :

- M. Patrick CHABRAND, Université Aix-Marseille
- M<sup>me</sup> Marie-Christine LAFARIE-FRENOT, ENSMA Poitiers
- M. Nicolas MOËS, École Centrale de Nantes
- M. Patrick VILLECHAISE, CNRS, Poitiers (représentant du CoNRS)

Délégué scientifique représentant de l'AERES :

M. Djimédo KONDO

Représentant(s) des établissements et organismes tutelles de l'unité :

- M. Hervé BIAUSSER, ECP
- M. Philippe CAVELIER, CNRS
- M<sup>me</sup> Estelle IACONA, ECP
- M. Pierre-Eymeric JANOLIN (représentant de l'École Doctorale n°287 Sciences pour l'Ingénieur)
- M. Yves REMOND, INSIS CNRS

## 1 • Introduction

### Historique et localisation géographique de l'unité

L'unité MSSMat est née, au tout début des années 80, du rapprochement de l'URA CNRS 850, spécialiste de la caractérisation expérimentale des sols et de la modélisation des structures, et d'une équipe spécialiste de la caractérisation expérimentale et de l'élaboration de lois de comportement de matériaux métalliques. Une équipe, spécialiste de microscopie électronique, a été rattachée au laboratoire quelques années plus tard. Depuis sa création, le laboratoire s'est réorganisé à plusieurs reprises. Le directeur actuel, M. Hachmi BEN DHIA, a proposé, lors de sa prise de fonction, une nouvelle structuration de l'unité en deux champs disciplinaires, Sciences et Ingénierie Numériques (SIN) et Sciences et Ingénierie des Matériaux (SIM). L'unité MSSMat est localisée sur le campus de l'École Centrale Paris, à Châtenay-Malabry.

### Équipe de direction

Le directeur est M. Hachmi BEN DHIA. Directeur adjoint pressenti : M. Damien DURVILLE.

### Nomenclature AERES

ST5 (Sciences pour l'Ingénieur, SPI)

### Effectifs de l'unité

| Effectifs de l'unité  | Nombre au<br>30/06/2013 | Nombre au<br>01/01/2015 |
|---|-------------------------|-------------------------|
| <b>N1</b> : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés                                | 13                      | 13                      |
| <b>N2</b> : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés                           | 7                       | 7                       |
| <b>N3</b> : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)          | 19                      | 19                      |
| <b>N4</b> : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)                               |                         |                         |
| <b>N5</b> : Autres chercheurs des EPST ou EPIC<br>(DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.) | 3                       | 3                       |
| <b>N6</b> : Autres personnels contractuels<br>(n'ayant pas d'obligation de recherche)     |                         |                         |
| <b>TOTAL N1 à N6</b>  | <b>42</b>               | <b>42</b>               |



| Effectifs de l'unité  | Nombre au 30/06/2013 | Nombre au 01/01/2015 |
|---|----------------------|----------------------|
| Doctorants  | 42                   |                      |
| Thèses soutenues  | 71                   |                      |
| Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité   | 2                    |                      |
| Nombre d'HDR soutenues                                      |                      |                      |
| Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées | 10                   | 10                   |

## 2 • Appréciation sur l'unité

### Avis global sur l'unité

Le laboratoire MSSMat conduit des recherches de qualité dans ses deux champs disciplinaires, la mécanique numérique des solides et des structures, et la mécanique des matériaux. Les deux thématiques ont une production scientifique très bonne (plus de 250 ACL), voire excellente dans certains cas, malgré quelques hétérogénéités, le taux de publication moyen étant très supérieur aux normes usuelles définissant le chercheur produisant. Les activités de valorisation sont importantes et suivies, surtout en ce qui concerne la recherche partenariale avec des grands groupes, mais aussi avec une PME. C'est une force notable et traditionnelle du laboratoire. Le nombre de thèses soutenues sur la période est excellent, le laboratoire ayant une certaine force d'attractivité, même si là aussi on constate une certaine hétérogénéité entre les thèmes. Le nombre de titulaires de l'HDR pourrait être augmenté.

L'unité possède de solides atouts scientifiques, qui seront détaillés par la suite, lui permettant de voir l'avenir avec optimisme. En particulier, le déménagement prévu sur le plateau de Saclay à l'horizon 2017 est un challenge qui nécessitera au laboratoire de réussir sa structuration interne. Le comité d'experts note les efforts et le travail considérable consentis par le directeur actuel et l'ensemble des personnels durant le dernier quinquennal afin de proposer une stratégie scientifique cohérente, stratégie dont on peut noter les premiers effets positifs, en particulier dans des programmes investissement d'avenir. Le renforcement de l'équipe de direction par un directeur-adjoint (M. Damien DURVILLE) devrait permettre au laboratoire de mettre en œuvre sa stratégie dans les meilleures conditions.

### Points forts et possibilités liées au contexte

- atouts scientifiques importants ;
- certains moyens dont dispose le laboratoire tant sur le plan expérimental que sur celui de la simulation sont remarquables ;
- double culture mécanique numérique, mécanique des matériaux ;
- relations industrielles de qualité permettant à l'unité de financer ses recherches dans de bonnes conditions ;
- adossement à une grande école d'ingénieurs ;
- implication dans la formation doctorale : nombre important de doctorants ;
- insertion réussie dans les dispositifs « Investissements d'avenir » ;
- déménagement sur le plateau de Saclay.

### Points faibles et risques liés au contexte

- déménagement sur le plateau de Saclay ;
- diminution régulière du nombre de personnels ITA ; ceci peut constituer un risque, en particulier pour les compétences nécessaires à la maîtrise de certains grands équipements ;
- communication interne à améliorer, en particulier à destination des ITA ;



- la multiplicité des thèmes développés par le laboratoire est importante mais peut compliquer la mise en œuvre d'un projet commun ainsi que la politique de demande des moyens ;
- des thèmes majeurs du laboratoire sont portés par un très faible nombre de chercheurs ; ceci peut constituer un risque pour les plus jeunes chercheurs et un risque d'essoufflement pour les plus anciens ;
- certains thèmes sont portés par des chercheurs non HDR.

## Recommandations

L'unité doit poursuivre sa réflexion interne de restructuration, en y associant l'ensemble du personnel, afin de continuer de faire émerger des thèmes transversaux et de tisser des relations scientifiques pérennes entre les différentes compétences du laboratoire.

Le laboratoire doit veiller à réfléchir à une « différenciation » scientifique explicite par rapport à ses futurs « partenaires » du plateau de Saclay. D'une façon générale, le laboratoire gagnerait à mieux mettre en évidence l'originalité de ses travaux aux échelles nationale et internationale.

Le comité d'experts souhaite formuler un certain nombre de recommandations plus ciblées, en fonction des thématiques :

- en ce qui concerne la partie nanocomposites :
  - en interne : soutenir le centre de ressources « mesures physiques » essentiel au développement de cet axe, et amplifier les collaborations avec les « microscopistes » du laboratoire pour la caractérisation multiphysique aux échelles nano- et sub-nanométriques ;
  - en externe : maintenir les collaborations avec les laboratoires de Supélec et de l'ENS Cachan et élargir les collaborations dans le cadre du GDR PolyNano.
- en ce qui concerne l'activité milieux enchevêtrés :
  - coupler l'activité de modélisation et de simulation numérique à des essais expérimentaux et à des outils d'identification, comme cela a déjà été initié ; cette thématique pourrait devenir à terme une activité transverse importante pour le laboratoire ;
  - proposer des modélisations plus fines « microscopiques » des torons et des interactions entre torons ;
  - renforcer les interactions avec « l'approche Arlequin » ;
  - veiller à ce que la prise de fonction prochaine du directeur adjoint ne pénalise pas l'activité de cet axe scientifique ;
  - affirmer le positionnement de cette thématique au niveau international.
- en ce qui concerne l'approche multi-échelles du comportement des matériaux et de leur endommagement :
  - développer des études transversales au sein du thème fédérateur CM3 (Caractérisation et Modélisation Multi-échelles des Matériaux) en favorisant par exemple les codirections de thèses. L'exemple récent d'une thèse associant deux directeurs issus l'un du champ disciplinaire SIM (Sciences et Ingénierie des Matériaux) et l'autre du champ disciplinaire SIN (Sciences et Ingénierie Numériques) est à encourager ;
  - s'appuyer sur le méso-centre de calcul de l'ECP et participer à son développement pour valoriser au mieux les études de simulation numérique ;
  - continuer à maintenir l'équilibre entre approches expérimentales, de modélisation et de simulation, équilibre qui est une des marques du laboratoire ;
  - veiller à penser/harmoniser le plus possible les développements envisagés avec les activités d'autres laboratoires voisins en vue des regroupements prévus sur le plateau de Saclay (vers des plateformes communes d'essais mécaniques, de microscopie, etc.) ;
  - veiller à se positionner par rapport aux autres laboratoires pour optimiser les choix entre démarches originales développées au MSSMat et voies collaboratives.

- en ce qui concerne l'activité milieux aléatoires :

- couplage approche stochastique - approche Arlequin à approfondir ;
- prise en compte de la variabilité spatiale dans les modélisations multi-échelles et prise en compte des incertitudes dans les modèles à poursuivre, car les pistes sont intéressantes ;
- mise en place d'outils HPC nécessaire au développement de cette thématique ;
- approfondir les liens calculs-expériences.

- en ce qui concerne l'approche ARLEQUIN :

Choisir les applications où la valeur ajoutée de l'approche Arlequin est maximisée et qui puisent dans les autres compétences du laboratoire. En particulier, le développement d'une méthodologie d'identification multi-échelles pour la propagation de fissures ainsi que la prise en compte homogénéisée des câbles semblent très pertinents.





### 3 • Appréciations détaillées

#### Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

Les travaux relatifs à l'élaboration et au comportement multiphysique de nano-composites, essentiellement expérimentaux, répondent à une demande industrielle croissante de matériaux structuraux (fonction mécanique) possédant d'autres fonctionnalités, telles que la conductivité électrique, thermique... Ces activités, débutées en 2002, conduisent à un bilan scientifique très significatif. Les résultats obtenus ont conduit au dépôt de 6 brevets (dont 3 dans la période d'évaluation), à la formation de très nombreux docteurs en science des matériaux (12 thèses soutenues dans la période et 7 en cours), à une production scientifique très importante (79 articles de revue dans la période, *Advanced materials*, *Applied Physics letters*, *Composites Science and Technology*, *Scripta Materialia*, etc.) ainsi qu'à plusieurs programmes de recherche collaboratifs (4 ANR, 1 DGA-Astrid).

L'originalité initiale des nanocomposites à matrice organique élaborés au MSSMat consiste en l'utilisation de renforts hybrides nano/micro : des nanotubes de carbone (NTC) sont greffés par procédé CVD sur des particules (ou fibres) de dimensions micrométriques. Ce concept permet de bénéficier des avantages des formes élancées des NTC, de réduire fortement la quantité nécessaire à l'obtention des propriétés optimales, et de simplifier leur manipulation et intégration dans la matrice polymère. Dans la période examinée, certains procédés d'élaboration ont été mis au point pour :

- greffer des NTC sur différents types de microrenforts (particules sphériques d'alumine, nanoplaques de graphène, de SiC, fibres longues de verre, de carbone, de SiC, etc.) ;
- déposer des nanocouches sur la surface des renforts hybrides, nanocouches choisies et optimisées pour une fonctionnalité donnée (par exemple, couche de polymère biocompatible ou conducteur, etc.) ;
- élever le niveau de sécurité lors de la mise en œuvre de ces nanocomposites.

En ce qui concerne les propriétés thermiques et électriques des nanocomposites obtenus, plusieurs résultats majeurs peuvent être soulignés :

- la mesure par AFM et la modélisation théorique de la résistance de contact électrique latérale d'un CNT (en collaboration avec Supélec) ;
- l'obtention de propriétés de conductivité électrique ou thermique fortement améliorées avec des taux de NTC très faibles (0,5 % massique), dans le cas de polymères et de composites à fibres continues de carbone à matrice organique, sans détérioration des propriétés de résistance mécanique des interfaces fibres/matrice (applications : peinture conductrice et composites structuraux) ;
- l'utilisation de micro-nano renforts pour la mesure des déformations in situ de la matrice de composites à fibres de verre (application Structural Health Monitoring).

En résumé, les activités de MSSMat concernant les procédés et les propriétés multiphysiques des nano composites à matrice organique ont atteint une maturité incontestable. Les risques pris au début des années 2000 au démarrage de cet axe de recherches, se révèlent aujourd'hui judicieux puisqu'ils conduisent le laboratoire à occuper une position particulièrement visible dans un domaine extrêmement concurrentiel. On notera en particulier que la démarche associée à la fois des études fondamentales sur les procédés, des développements expérimentaux qui vont jusqu'à la preuve de faisabilité industrielle (du concept à l'objet), avec le respect de certains critères environnementaux associés à la toxicité des NTC.

L'activité « Milieux enchevêtrés » entre dans le cadre plus général de la thématique des « milieux divisés ». Cette dernière est assez ancienne dans le laboratoire ; c'est le cas pour les milieux granulaires, les sols et les structures du Génie Civil. Ces dernières activités ont donné lieu à 11 thèses soutenues, ce qui est tout à fait notable. D'autres thèses dans le domaine sont en cours, montrant un certain dynamisme, même si l'activité de publications est assez hétérogène. Les travaux sur les milieux enchevêtrés, plus récents, initialement essentiellement de modélisation et numériques, ont pour objectif de comprendre et de maîtriser le comportement mécanique des milieux fibreux et enchevêtrés soumis à des chargements mécaniques. Ces milieux sont à la base d'applications variées : biomatériaux, composites, pneumatiques, câbles, etc. Le bilan d'activités sur la période concernée est de : une thèse soutenue, 3 thèses en cours et 11 publications dans des revues à comité de lecture.

Une des phases importantes de ces travaux a été le développement du logiciel « Multifil », les logiciels commerciaux actuels ne présentant pas des solutions fiables pour ce type de problématique. Le logiciel « Multifil » se fonde sur plusieurs ingrédients dont le principal est la mise en place d'une méthode originale de détection des contacts. Si « Multifil » a été appliqué avec un certain succès aux câbles renforts métalliques dans les pneumatiques, de nombreuses autres applications du logiciel ont permis de mettre en évidence la robustesse et les performances de la méthodologie :

- câbles supraconducteurs pour aimants du réacteur ITER (collaboration avec le CEA) ;
- câbles tressés synthétiques (projet IFREMER) ;
- « scaffolds » pour prothèses ligamentaires (collaboration avec le LEMTA à Nancy).

En conclusion, les résultats nouveaux, en particulier liés à des domaines d'application variés, ont permis à la thématique « Milieux enchevêtrés » de gagner fortement en visibilité lors de la présente période.

En ce qui concerne les approches multi-échelles du comportement des matériaux et de leur endommagement, les travaux combinent des démarches expérimentales et de simulation numérique. Ces travaux visent à mieux comprendre les processus d'évolution microstructurale, de déformation et d'endommagement, essentiellement de matériaux métalliques soumis à diverses situations de chargement mécanique et d'environnement. Les secteurs applicatifs concernés sont le transport (aéronautique et automobile), l'énergie (notamment le secteur nucléaire) et l'électronique de puissance. Ils constituent un des domaines thématiques historiques du laboratoire. Le bilan d'activités sur la période concernée est important avec notamment 19 thèses soutenues et 7 en cours, 55 publications dans des revues à comité de lecture. L'ensemble des activités est développé sous trois axes différents.

Le premier concerne la modélisation du comportement mécanique des matériaux multiphasés en s'appuyant sur la description la plus fine possible de leur caractère granulaire (usage du FIB, de l'EBS, etc.) et en développant des approches de type plasticité cristalline. Dans ce cadre, un des points essentiels a été la mise en place et l'évolution du code CristalECP. A noter également le couplage de cette thématique avec les études en réponse ultrasonore développées dans la thématique « Propagation d'ondes ».

Un second axe est centré sur les processus d'endommagement et de rupture des aciers pour cuves. Une des spécificités de l'approche développée est l'analyse des processus d'endommagement de caractère intergranulaire en lien avec un environnement de type métal liquide. Sur ce thème des approches de type calcul ab initio et de dynamique moléculaire ont été appliquées avec un certain succès notamment pour rendre compte des effets de diminution d'énergie d'interfaces en présence de métaux liquides. Ces études ont fait appel à différents systèmes « modèles ». Cette activité a donné lieu à une production scientifique très significative (12 publications).

Le troisième axe porte sur les aspects comportement et endommagement par fatigue d'alliages métalliques polycristallins. Cette activité combine également des approches expérimentales et de simulation numérique. Les actions menées sur la période concernée ont notamment porté sur le développement du code EF CristalECP. En parallèle, des travaux expérimentaux très riches de reconstruction d'agrégats 3D ont été réalisés et ont servi de base aux calculs EF. Les comparaisons expériences / simulations ainsi qu'entre approches en champ complet / approches en champs moyens ont conduit à la proposition d'un critère d'amorçage de fissure de fatigue dans les aciers inoxydables austénitiques. Pour améliorer l'ensemble de l'approche, des efforts ont été entrepris pour mettre en place des mesures de champs de déplacements à l'échelle granulaire de manière à optimiser l'identification du modèle à cette échelle mésoscopique.

En résumé, l'activité du laboratoire MSSMat sur le thème des approches multi-échelles du comportement des matériaux et de leur endommagement est soutenue et se développe en continuité avec les périodes passées. Il faut souligner qu'il existait un risque de rupture de cette continuité autour du développement des calculs d'agrégats / CristalECP compte tenu des multiples départs en retraite de personnels clés ces dernières décennies pour cette thématique. Le recrutement relativement récent d'un professeur et les premiers travaux sur les aspects fatigue montrent que la transition s'effectue correctement. La diminution globale de l'effectif sur ce domaine doit cependant conduire à faire attention au volume d'études engagées à l'avenir. En parallèle, la thématique concernant l'endommagement intergranulaire sous environnement métal liquide est bien assise et donne lieu à une production significative.

L'étude des milieux aléatoires est assez ancienne au laboratoire. Il s'agit d'une activité essentiellement numérique qui a conduit à la création de codes de calcul « maison ». Un des principaux problèmes traités dans le laboratoire est la propagation d'ondes, autre activité traditionnelle et reconnue, dans ce type de milieux pour lesquels le comportement n'est souvent connu que de façon statistique.

Durant le quinquennal ont été étudiés entre autres les problèmes suivants :

- l'influence de la structure de corrélation du milieu sur les ondes élastiques ;
- la dissipation de l'énergie sismique dans les structures inélastiques.

Toujours dans le cadre des milieux aléatoires, une nouvelle approche a été proposée. Cette approche permet de coupler un modèle continu déterministe avec un modèle continu stochastique. La stratégie de couplage utilisée est l'approche Arlequin. La continuité entre les deux modèles est appliquée de manière faible. Une étude théorique a montré l'existence de la solution du problème mixte. Des comparaisons avec une stratégie type méthode de Monte Carlo a montré l'intérêt de la méthode proposée.

Ces travaux ont donné lieu à 9 thèses et à 18 publications dans d'excellentes revues à comité de lecture (CMAME, IJNME, etc.).

L'approche Arlequin a été initiée au MSSMat par son actuel directeur à la fin des années 1990. Elle permet de coupler des modèles différents dans des zones différentes. Le cœur d'Arlequin est une méthode de couplage efficace par recouvrement. Dans la zone de recouvrement, les deux modèles vivent de manière concomitante. Cette approche permet d'une part de réduire drastiquement les coûts calculs en évitant un calcul fin partout et d'autre part de proposer une modélisation théorique originale pour le couplage de « physiques » différentes.

A titre d'exemple, Arlequin a été utilisé pour :

- la propagation de fissure (patch fin en pointe de fissure se déplaçant sur un maillage grossier) ;
- le couplage entre un modèle atomistique (en pointe de fissure) et un modèle continu standard ;
- le couplage d'un modèle déterministe et stochastique seulement là où cela est nécessaire (et éviter ainsi une approche stochastique globale prohibitive en coût de calcul).

L'approche Arlequin croise différentes disciplines : mécanique théorique (nouveau modèle de couplage entre physiques différentes), mathématiques appliquées (preuve d'existence de solution et vérification de la condition LBB) et méthode numérique (patch de maillage se déplaçant sur maillage grossier).

Les travaux menés lors du quinquennal ont été riches sur ces trois volets, et dans de nombreux champs d'application. Ils ont été également publiés dans d'excellents journaux de mécanique numérique.

Les recherches dans le domaine de l'ingénierie du vivant sont affichées par le laboratoire comme en plein développement et sont essentiellement portées par trois chercheurs permanents (1CR, 1MCF, 1PR) ayant chacun la responsabilité d'un axe particulier.

Les travaux sur le tissu osseux concernent l'étude de la prolifération cellulaire dans un bioréacteur avec en perspective un point original, concernant le développement d'un modèle expérimental in vitro pour l'étude en microfluidique des réactions d'ostéoblastes.

Dans le domaine de l'odontologie, les travaux visent à la caractérisation morphologique multi-échelles et mécanique de tissus sains et restaurés et à la proposition d'amélioration de protocoles de soin. Les objectifs concernant l'optimisation du colmatage et des propriétés mécaniques du milieu composite en considérant les produits injectés, les bactéries ou la prolifération cellulaire dans un bioréacteur sont originaux sur le plan national dans une approche biomécanique.

Enfin, un modèle mécanique pertinent caractérisant la motricité cellulaire a été développé et étendu à la migration de populations cellulaires. Ce modèle a permis d'obtenir des résultats intéressants sur différentes actions cellulaires et leurs conséquences sur leurs migrations. Les applications à la métastase des cellules cancéreuses pourraient contribuer au développement de thérapies nouvelles.

Le bilan de ces travaux pour la période d'évaluation est de 11 articles dans des revues à comité de lecture et de 3 thèses soutenues en 2009 et 1 en cours. Pour réaliser ces travaux, les chercheurs ont bénéficié du soutien du LaSIPS et d'un PEPS CNRS.

Les travaux dans le domaine de la biomécanique constituent une prise de risque réelle pour le laboratoire et un enjeu scientifique important. Durant le quinquennal écoulé, des projets collaboratifs ont été abandonnés, ce qui a permis de recentrer les projets de recherche sur les activités propres aux chercheurs de MSSMat.

Le bilan scientifique est satisfaisant mais il reste toutefois à consolider. Le point fort de cette thématique repose sur des objectifs de recherche prometteurs. Elle est toutefois fragilisée par les très faibles interactions affichées entre les différents chercheurs, ce qui nuit à un positionnement national et international.

### Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

L'unité a dû faire face à un certain nombre de départs, pour des promotions en particulier, mais a su, en contrepartie, attirer et intégrer plusieurs jeunes chercheurs de bon niveau et des doctorants de qualité.

L'unité participe à des instances nationales (GDR, MECAMAT, CSMA, SF2M).

Elle possède à ce jour une excellente réputation auprès des industriels avec lesquels elle collabore.

Elle a bénéficié de plusieurs prix et récompenses nationaux et de deux prix internationaux (NASA, Royal Microscopy Society).

Au niveau national, le laboratoire collabore essentiellement avec ses futurs partenaires du plateau de Saclay.

Le laboratoire a une attractivité internationale certaine, quoique très hétérogène, qui se traduit par :

- l'accueil régulier de chercheurs étrangers ;
- Érasmus avec la Belgique, la Grèce, le Portugal, l'Autriche ;
- des échanges avec Rio, Austin, Irvine, Columbia, British Columbia et Montréal ;
- des cotutelles internationales (10 sur la période) ;
- 1 ANR blanc international avec la Chine (près de 40 RACL communes).

En outre, la période concernée a vu la naissance du GDR 3MF "Mécanique Multi-échelles des Milieux Fibreux" dont le responsable est un membre du laboratoire et qui regroupe 25 partenaires. Il s'agit d'une reconnaissance importante de la part de la communauté nationale des travaux conduits au laboratoire.

### Appréciation sur l'interaction avec l'environnement social, économique et culturel

Une des forces du laboratoire est clairement son implication dans le monde socio-économique. Son activité contractuelle, tant en terme de suivi que de montants financiers, est tout à fait remarquable, en particulier ses liens avec les grands groupes sont traditionnels et excellents. Le laboratoire affiche sur la période une centaine de contrats et prestations avec le secteur privé et une trentaine avec le secteur public.

La double compétence du laboratoire, mécanique numérique, mécanique des matériaux devrait lui permettre de donner des réponses encore plus ambitieuses à des questionnements provenant du monde industriel.

### Appréciation sur l'organisation et la vie de l'unité

La nouvelle direction du laboratoire s'est employée, durant ce mandat, à essayer de consolider les thèmes scientifiques traditionnels du laboratoire et d'en faire émerger de nouveaux. A cet effet, elle a proposé une structuration à plusieurs niveaux :

- mise en place d'un comité de pilotage ;
- mise en place de deux champs disciplinaires « Sciences et Ingénierie des Matériaux » (SIM) et « Sciences et Ingénierie Numériques » (SIN) dont les animateurs sont membres du comité de pilotage ;
- mise en place d'un comité scientifique constitué de tous les chercheurs et enseignants-chercheurs du laboratoire, ayant en particulier pour mission la réflexion sur les nouveaux thèmes de recherche ;
- création de centres de ressources regroupant des personnels techniques et administratifs, ainsi que des moyens matériels.

Ces différentes structures, même si beaucoup reste encore à faire, ont permis d'ouvrir le dialogue entre les différents acteurs.

D'une façon générale, cette structuration semble aller dans le bon sens et devrait permettre de renforcer les interactions entre les chercheurs. Le renforcement de l'équipe de direction par un directeur adjoint devrait permettre de pérenniser les différentes structures et de renforcer le dialogue au sein du laboratoire.

### Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

L'implication du laboratoire dans la formation par la recherche est tout à fait remarquable. Le nombre de doctorants rapporté au nombre de chercheurs et d'HDR est très bon (71 thèses soutenues sur la période pour 10 HDR). Le laboratoire est adossé à l'École Doctorale Sciences pour l'Ingénieur, ED n°287, et aussi très impliqué dans le master « Sciences de l'Ingénieur » de l'École Centrale. L'importance du laboratoire dans l'École Doctorale a été confirmée au comité d'experts par son représentant. Bien que le bilan sur le volet « formation par la recherche » soit satisfaisant, il reste à consolider, en particulier pour ce qui concerne l'encadrement de thèses dans certaines thématiques, dont la biomécanique où une seule thèse est en cours.

La durée des thèses est dans la moyenne nationale. Le taux d'embauche des doctorants est lui aussi très bon. L'activité de publication est par contre très disparate entre les doctorants.

La direction devra veiller à ce que les jeunes chercheurs puissent soutenir leur HDR dans les meilleures conditions.

### Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

Le projet scientifique du laboratoire s'articule autour des deux champs disciplinaires existants « Sciences et Ingénierie des Matériaux » (SIM) et « Sciences et Ingénierie Numériques » (SIN) et sur la définition de trois thèmes fédérateurs :

- Caractérisation et Modélisation Multi-échelles des Matériaux
- Dynamique, Ondes et Aléas
- Multiphysique et Interfaces

Le projet scientifique apparaît comme cohérent, eu égard aux forces et aux compétences du laboratoire même s'il paraît manquer légèrement d'ambition par rapport à la qualité scientifique des chercheurs et enseignants-chercheurs le composant ; en particulier il ne met pas assez en lumière les verrous scientifiques auxquels le laboratoire compte s'attaquer.

Les trois thèmes proposés sont présentés comme fédérateurs, on peut toutefois noter certaines disparités quant aux personnels y participant. La direction doit veiller à renforcer les collaborations et les échanges scientifiques entre les chercheurs. La mise en place d'un séminaire de laboratoire pourrait contribuer à aller dans cette voie.

Par ailleurs, compte tenu des forces disponibles, un recentrage des thématiques en mécanique des sols est nécessaire. Ce recentrage devra mieux mettre en synergie les volets approches expérimentales, modélisations et simulations numériques.

Il faut noter que le thème fédérateur « Multiphysique et Interfaces » devrait permettre l'élargissement des collaborations en interne sur cette thématique. En particulier, on peut penser que la maîtrise des procédés d'élaboration de nanocomposites associée à des études fines du comportement des interfaces renfort/matrice, et à la caractérisation multiphysique des interfaces à l'échelle nanoscopique (rendue possible par l'acquisition dans le cadre de l'Equipex MATMECA d'un MET à résolution atomique) devrait conduire à des résultats inédits et porteurs de nombreuses applications. Au niveau de la stratégie de recherche, des collaborations existent déjà avec certains laboratoires de l'École Centrale, de Supelec et de l'ENS de Cachan. On notera, de plus, la création en janvier 2014 du GDR CNRS PolyNano, (coordonné par un membre de l'unité), qui regroupe des chercheurs des domaines de la physico-chimie des polymères, des procédés, et de la mécanique des matériaux.

De même, la mise en place du thème fédérateur CM3 (Caractérisation et Modélisation Multi-échelles des Matériaux) devrait favoriser les échanges en interne pour tenter de lever une partie des verrous identifiés. Ces derniers sont regroupés en deux volets avec des actions transversales clairement annoncées et très cohérentes. Le premier porte sur les problématiques de comportement : recristallisation in situ avec suivi US ; couplage de modèles polycristallins à différentes échelles ; simulation du comportement de structures macroscopiques complexes telles que des torons. Le second concerne les aspects endommagement : propagation dynamique de fissures (ARLEQUIN) en reliant une échelle locale à une plus large ; calculs prédictifs accélérés (notamment pour les études « fatigue ») ; critère d'amorçage de fissures.



## 4 ● Déroulement de la visite

### Dates de la visite

|         |                       |
|---------|-----------------------|
| Début : | 11 février 2014 à 9h  |
| Fin :   | 12 février 2014 à 16h |

### Lieu de la visite

|               |   |
|---------------|---|
| Institution : | École Centrale Paris                                  |
| Adresse :     | Grande Voie des Vignes - 92295 Châtenay-Malabry Cedex |

Locaux spécifiques visités : Laboratoire MSSMat

### Déroulement ou programme de visite

La première journée a été consacrée à des exposés scientifiques et de politique générale du laboratoire ainsi qu'à la visite du laboratoire. Lors de la seconde journée, le comité d'experts a rencontré les personnels (doctorants et post-doctorants, ITA, chercheurs et enseignants-chercheurs) et les tutelles (CNRS, École Centrale), l'École Doctorale, ainsi que le directeur du laboratoire.

L'agenda a été le suivant :

#### Mardi 11 Février 2014

|               |  |
|---------------|--|
| 09h00 - 09h30 | Accueil (rencontre du Labo)  |
| 09h30 - 10h00 | Réunion à huis clos du comité d'experts  |
| 10h00 - 10h45 | Bilan de l'unité, M. Hachmi BEN DHIA   |
| 10h45 - 11h30 | Bilan des responsables d'équipes, M. Damien DURVILLE et M. Jean-Hubert SCHMITT   |
| 11h30 - 11h45 | Pause  |
| 11h45 - 13h00 | Faits marquants : (M. Jinbo BAI, M <sup>me</sup> Véronique AUBIN, M. Didier CLOUTEAU, M. Damien DURVILLE, M. Hachmi BEN DHIA)                      |
| 13h00 - 14h30 | Déjeuner   |
| 14h30 - 16h15 | Visite du laboratoire : 2 groupes pour des visites pour les 2 de 7 stands<br>Guides visites : deux guides, MM. Régis COTTEREAU et Philippe BOMPARD |
| 16h15 - 16h30 | Pause  |
| 16h30 - 17h30 | Projet du MSSMAT, MM. Hachmi BEN DHIA, Guillaume PUEL, Tie BING, Jinbo BAI & Denis AUBRY   |
| 17h45         | Fin de la première journée de visite   |

#### Mercredi 12 Février 2014

|               |   |
|---------------|---|
| 08h00 - 08h30 | Accueil   |
| 08h30 - 09h00 | Rencontres du comité d'experts avec les doctorants et post-doctorants (huis clos)             |
| 09h00 - 09h30 | Rencontres du comité d'experts avec les ingénieurs, techniciens et administratifs (huis clos) |
| 09h30 - 10h00 | Rencontres du comité d'experts avec les enseignants-chercheurs (huis clos)                    |
| 10h00 - 10h30 | Rencontre avec le représentant de l'École Doctorale   |



|               |   |
|---------------|---|
| 10h30 - 10h45 | Pause   |
| 10h45 - 11h15 | Réunion du comité d'experts avec M. Hachmi BEN DHIA     |
| 11h15 - 11h45 | Réunion du comité d'experts avec les tutelles du MSSMat |
| 12h00 - 13h30 | Déjeuner  |
| 13h30 - 16h00 | Réunion du comité d'experts à huis clos                 |
| 16h00         | Fin de la visite  |



## 5 • Observations générales des tutelles



Châtenay-Malabry, le 25 juin 2014

Objet : réponse au rapport préliminaire du comité de visite : Laboratoire Mécanique des Sols, Structures et Matériaux - S2PUR150009378 -

Monsieur le Président,

L'Ecole Centrale Paris et le CNRS, ainsi que la Direction du laboratoire, remercient le comité pour la qualité des échanges lors de la visite du laboratoire Mécanique des Sols, Structures et Matériaux.

Les établissements ont bien pris notes des recommandations faites par le comité.

Vous trouverez ci-joint les remarques proposées par la direction du laboratoire et validées par l'Ecole Centrale Paris et le CNRS.

Veuillez agréer, Monsieur le Président, nos sincères salutations.

Hervé Biaußer

Directeur Ecole Centrale Paris





*Hachmi Ben Dhia  
Directeur MSSMat  
UMR CNRS 8579*

Chatenay Malabry, le 24 juin 2014

**Objet : Retour sur le rapport d'évaluation AERES du MSSMat UMR 8579**

Le Laboratoire tient à remercier les membres du Comité d'évaluation pour leur écoute et leur disponibilité, pour leur travail d'analyse approfondie de la production, de la structuration et du projet du Laboratoire, et pour les conseils pertinents qu'ils proposent pour les orientations futures.

Le Laboratoire se reconnaît aussi bien dans les points forts relevés - notamment au niveau de ses atouts scientifiques, de sa double culture numérique et matériaux, et de ses ancrages dans des partenariats industriels -, que dans les risques mentionnés, touchant à une certaine fragilité liée à une répartition de ses forces sur des thématiques diversifiées, et à un certain manque d'ITA pour porter des équipements de technicité croissante.

Dans la perspective du regroupement d'établissements sur le Plateau de Saclay, le Laboratoire vise à structurer son positionnement dans une stratégie de différenciation, comme indiqué dans les recommandations du Comité, en concentrant ses efforts autour des trois axes thématiques transverses qu'il a commencé à mettre en œuvre : Caractérisation et Modélisation Multi-échelles des Matériaux (C3M), Dynamique, Ondes et Aléas (DynOdAs), et Multiphysique et Interfaces (MPI).

L'engagement des chercheurs et ITA dans un travail commun dans ces trois axes thématiques transverses répond à plusieurs objectifs :

- rassembler les efforts et susciter les échanges sur des problématiques et verrous qui apparaissent communs à plusieurs applications abordées dans le Laboratoire, en associant les compétences disciplinaires en Sciences et Ingénierie des Matériaux et Sciences et Ingénierie Numériques,
- associer des sujets ayant différents niveaux de maturité pour être en mesure de soutenir des recherches sur des sujets émergents,
- intégrer davantage les techniciens et ingénieurs dans les thématiques de recherche.

En ayant acquis des équipements d'observation performants à l'échelle microscopique (MET et FIB) à travers le projet Equipex MATMECA, le Laboratoire s'est engagé à orienter une partie de ses recherches vers de plus petites échelles, pour le développement de modélisations dans les domaines des nanomatériaux, des biomatériaux et des matériaux polycristallins. En accord avec les

recommandations du Comité d'évaluation, nous pensons que ce pôle a besoin davantage d'agrégation de compétences internes et, au besoin, externes au laboratoire, et de soutien en termes de moyens humains. Une première étape dans cette direction a été marquée par la mise en place d'une convention d'accueil d'un IR CNRS, en prévision d'une possible mobilité.

Bien cordialement

Hachmi Ben Dhia