



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 Solides

LMS

sous tutelle des
établissements et organismes :

École Polytechnique

Mines ParisTech

Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS



Décembre 2013



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 2006¹,*

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

Au nom du comité d'experts,

- M. Alain COMBESCURE, président du
comité

¹ 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 Solides

Acronyme de l'unité : LMS

Label demandé : UMR

N° actuel : 7649

Nom du directeur
(2013-2014) : M. Patrick LE TALLEC

Nom du porteur de projet
(2015-2019) : M. Patrick LE TALLEC

Membres du comité d'experts

Président : M. Alain COMBESCURE, INSA Lyon

Experts : M. René DE BORST, Glasgow University, Royaume-Uni

M. Jacques DESRUES, Université Joseph Fourier, Grenoble

M. Pierre GILORMINI, Arts et Métiers ParisTech, Paris

M. Claude VERDIER, Université Joseph Fourier, Grenoble (représentant du CoNRS)

Délégué scientifique représentant de l'AERES :

M. Djimedo KONDO

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

M. Philippe CAVELIER, CNRS

M. Damien GOETZ, Mines ParisTech

M. Pierre LEGRAIN (directeur de l'École Doctorale n° 447)

M. Patrick LE QUERE, École Polytechnique

M. Yves REMOND, CNRS



1 • Introduction

Historique et localisation géographique de l'unité

Le Laboratoire de Mécanique des Solides, LMS, a été créé en 1961 par M. Jean MANDEL. C'est donc un laboratoire très ancien avec une longue histoire. Il est situé dans les locaux de l'École Polytechnique à Palaiseau.

Équipe de direction

M. Patrick LE TALLEC (directeur), Assistante de direction : M^{me} Valérie JAMET.

Comité de direction : M. Andrei CONSTANTINESCU, M^{me} Véronique DOQUET, M. Jean-Jacques MARIGO, M. Nicolas TRIANTAFYLIDIS.

Nomenclature AERES

ST5 (Sciences pour l'Ingénieur SPI)

Effectifs de l'unité

Effectifs de l'unité	Nombre au 30/06/2013	Nombre au 01/01/2015
N1 : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés	6	6
N2 : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés	11	11
N3 : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)	15	15
N4 : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)		
N5 : Autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.)	13	3
N6 : Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)		
TOTAL N1 à N6	45	35



Effectifs de l'unité	Nombre au 30/06/2013	Nombre au 01/01/2015
Doctorants	29	
Thèses soutenues	51	
Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	8	
Nombre d'HDR soutenues		
Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	12	16



2 • Appréciation sur l'unité

Avis global sur l'unité

Le LMS est un des laboratoires de référence dans le domaine de la mécanique des matériaux et des structures. Sa production scientifique et son impact sur la communauté nationale et internationale sont indéniables. On peut également remarquer un rayonnement international réel, comme l'attestent, par exemple, les prix prestigieux attribués à certains de ses membres.

Ce laboratoire a su rebondir positivement après une période de transition délicate, conséquence inévitable d'un changement de génération. Il a su renouveler son expertise et ses thématiques pour s'orienter vers des directions de recherche nouvelles, tout en gardant son esprit : proposer une approche fondamentale pour des innovations de rupture s'adressant à des questions intéressant l'industrie. On ne peut qu'encourager les ouvertures engagées vers des axes de recherche plus multidisciplinaires. C'est vital pour l'avenir de cette science qui structure beaucoup de réalisations pratiques. Cette évolution marque une confiance retrouvée et un esprit d'ouverture très positif.

L'unité a vu de nombreuses mobilités entrantes et sortantes. Elle a su attirer des chercheurs de très grande qualité et mettre en place une vie commune plus intense et structurée.

Dans son projet, elle a dégagé des thèmes tout à fait pertinents et en phase avec les attentes sociétales et les défis scientifiques actuels. La visite a permis d'équilibrer le projet écrit, qui ne mettait peut être pas assez en évidence les enjeux scientifiques.

La politique de structuration des moyens en terme de plateformes est une réussite et donne de très bonnes bases au laboratoire. Cette structuration est accompagnée par les tutelles qui ont permis un recrutement significatif de techniciens et ingénieurs de recherche.

Son ancrage dans la réalité se mesure également par un bon volume de contrats industriels, ainsi que par l'attribution de plusieurs chaires industrielles.

La dynamique actuelle est très bonne mais reste encore fragile et il pourrait être souhaitable de la consolider par un soutien plus net donné aux axes de recherche portés par les jeunes chercheurs nouvellement implantés dans le laboratoire.

L'effort visible de structuration de la vie commune est à poursuivre et à consolider. Les initiatives lancées dans ce quinquennal sont encore jeunes et méritent d'être éprouvées dans la durée.

Points forts et possibilités liées au contexte

Le laboratoire se caractérise par une productivité scientifique remarquable de travaux de très grande qualité. Les membres publient dans les meilleurs journaux de la discipline. Ils ont une très bonne visibilité nationale et internationale comme en témoignent les nombreux prix obtenus dont certains très prestigieux.

Le laboratoire a aussi su attirer des personnalités scientifiques de premier plan venant de France et de l'étranger (ce qui est exceptionnel).

Un management simple, réaliste, souple et efficace a été mis en place. Une collégialité certaine a été adoptée avec un vrai souci de transparence en particulier sur la gestion financière.

La politique de recrutement et de suivi des doctorants fait l'objet d'un soin particulier.

On peut noter un bon équilibre entre travail de fond sur les axes traditionnels et orientations nouvelles comme la mécanique du vivant et la multi-physique. Le laboratoire a encore de très bonnes relations industrielles.

Points faibles et risques liés au contexte

Le laboratoire est abrité dans une école prestigieuse et continue à récolter les fruits semés par son passé exceptionnel. Le comité d'experts s'est un peu étonné du peu d'attention portée aux laboratoires situés dans le paysage national et international.



Le laboratoire est « globalement » peu engagé dans le « service » de la communauté aux niveaux national et international. C'est un peu dommage car cela fragilise le rayonnement du pays à l'international. On peut penser que ce manque d'engagement ne valorise pas l'investissement significatif des tutelles sur ce très bon laboratoire.

Un nouvel équilibre se met en place, mais il est encore fragile. Pour certains thèmes, la taille des équipes est sous-critique et cette situation ne peut trop durer.

Le risque essentiel est que le départ de chercheurs de qualité ne se poursuive encore sans compensation suffisante par des arrivées à fort potentiel.

On peut craindre que le nombre de nouveaux thèmes proposés ne soit encore trop grand et ne conduise à une dispersion thématique.

Enfin, la pyramide des âges est telle que le laboratoire va subir une vague importante de départs de chercheurs réputés à la fin du prochain contrat. Il y a un grand écart d'âge avec les autres chercheurs du laboratoire.

Recommandations

Le laboratoire a bien structuré ses moyens autour de plateformes expérimentales et numériques. C'est une bonne base solide. La distance entre l'équipe de direction et les acteurs des plateformes reste encore un peu grande et les canaux de circulation d'information peuvent être améliorés.

L'articulation entre responsables de plateformes et chercheurs référents pourrait profiter d'une meilleure définition du rôle de chacun.

L'organisation en pôles a permis de présenter les résultats de manière organisée et cohérente. Cette façon de faire est conservée pour le nouveau contrat quinquennal. Le comité d'experts se demande si la structuration scientifique autour des thèmes en défis scientifiques présentés lors de l'exposé du projet ne serait pas une approche plus pertinente.

Il convient probablement de bien réfléchir à la politique de recrutement pour que le laboratoire garde une identité qui lui soit propre et spécifique.

En ce qui concerne la mise en place des nouveaux axes, qui est très pertinente et bien en phase avec les besoins en enseignement, le comité d'experts recommande de bien veiller à atteindre les masses critiques (en particulier sur la mécanique du vivant) et à choisir des axes où la mécanique des solides garde une place centrale pour ne pas être diluée dans un ensemble plus vaste.

Il conviendrait que le laboratoire s'engage davantage au service du collectif national ainsi que dans les instances internationales.

Le comité d'experts recommande également de ne pas perdre trop d'énergie dans les activités expérimentales où de nombreux autres laboratoires sont déjà bien reconnus ; la question de l'identité visée par le laboratoire est posée.

Le laboratoire doit probablement penser dès maintenant à la relève de son directeur et doit donc construire sa politique de ressources humaines en prenant cette question à bras le corps.

Le laboratoire a attiré nombre de jeunes chercheurs brillants : c'est un vrai succès. Le laboratoire devrait peut être mener des actions délibérées pour les aider à acquérir la visibilité internationale qu'ils méritent. Le passage d'une habilitation à diriger des recherches par certains chercheurs et enseignants-chercheurs est urgent dans l'intérêt du laboratoire.

Pour la politique d'accueil des doctorants, on ne peut qu'encourager le laboratoire à poursuivre une stratégie « intelligente » (comme celle mise en place avec CALTECH) pour permettre de mieux « profiter » du vivier exceptionnel d'étudiants présents sur l'école. Peut-être faut-il se donner des objectifs réalistes en nombre de polytechniciens à attirer en thèse chaque année et trouver les mécanismes pour y parvenir.



3 • Appréciations détaillées

Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

Les résultats de recherche présentés sont véritablement originaux et publiés dans les meilleurs journaux internationaux (JMPS, CMAME, IJNME, Experimental Mechanics, etc.). Le nombre moyen de publications par chercheur et par an est excellent (supérieur à 3 par équivalent temps plein et par an). Le nombre de chercheurs ne participant pas à la production scientifique a sensiblement diminué depuis la dernière évaluation (environ 10 %).

Le laboratoire est à l'origine de quelques résultats majeurs : on peut citer par exemple le domaine de la fissuration (transition endommagement-fissuration : expérimentation et modélisation en rupture ductile, et lien entre modèles à gradient et théorie de Griffith pour la rupture fragile sous choc thermique) ou encore le couplage mécanique-magnétisme qui permet d'expliquer des mécanismes surprenants de déformations sous champ. On peut également citer le couplage mécanique-biochimie pour modéliser le cycle de contraction musculaire. De nombreux autres résultats fondamentaux sont également à signaler.

Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

Ce laboratoire jouit d'un grand rayonnement aux niveaux national et international. Il bénéficie d'un environnement particulièrement stimulant et porteur qu'il exploite bien.

Il a su attirer des chercheurs d'excellent niveau venant d'autres pays et d'autres pôles prestigieux (USA, Chine, Japon, Brésil, etc.). Ses enseignants-chercheurs et chercheurs mais aussi les jeunes doctorants ont obtenu de nombreuses distinctions au meilleur niveau international (médaille Koiter, le Tullio Levi Civita International Prize, etc.).

La politique scientifique est claire et ciblée. Elle produit la plupart du temps d'excellents résultats.

Cependant, les membres actifs du laboratoire sont, à quelques exceptions près, trop peu impliqués dans les instances internationales (et dans une moindre mesure nationale), ou dans le pilotage d'instances (IUTAM ou autres associations du même type). C'est un peu dommage pour le rayonnement du pays mais cela peut s'expliquer par le temps nécessaire à la reconstruction, et également par l'histoire du laboratoire.

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

Le laboratoire a une activité contractuelle industrielle significative. Il a su garder cette marque de fabrique essentielle pour l'avenir industriel du pays.

Il a su formaliser par une chaire industrielle et un OPENLAB une relation très ancienne et fructueuse avec le groupe PSA.

Il a mis en place une collaboration prometteuse avec le LADHYX et le LOB, laboratoires voisins mais complémentaires en particulier dans le domaine de la mécanique du vivant.

L'accord mis en place avec Caltech constitue aussi potentiellement une base de réussite s'il porte les fruits attendus.

On peut enfin remarquer que le laboratoire a déposé trois brevets durant la période d'évaluation.

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

Le laboratoire a structuré sa vie collective de manière simple, efficace et réaliste. Il a mis en place un comité de direction qui se réunit régulièrement et traite de la gestion quotidienne des affaires du laboratoire.

Des réunions régulières du conseil de laboratoire ont été mises en place, comme c'est la norme pour une UMR CNRS, ainsi que des journées des doctorants.

Trois plates-formes ont été formalisées, ce qui améliore leur visibilité.



Un site web existe, mais devrait être mis à jour à jour (l'annuaire par exemple). Des progrès restent encore à faire sur les supports de communication en interne.

Mais la dynamique interne est positive et va dans le sens d'une démarche plus collective et consensuelle, ce qui est un facteur clé de succès de l'unité dans la durée.

Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

Le LMS émerge à l'École Doctorale de Polytechnique, EDX n°447.

Tous les doctorants du laboratoire ont trouvé un emploi, la plupart dans le monde industriel (c'est tout à fait habituel dans ce genre de discipline). On peut aussi remarquer un nombre important de recrutements comme CR CNRS de docteurs issus du laboratoire. Ces recrutements se sont faits dans d'autres équipes, ce qui montre un « essaimage » très positif.

Une politique de recrutement de docteurs très sélective a été mise en place. Le suivi des thèses a été structuré. C'est une très bonne initiative. Quelques thèses ont été très longues mais chaque cas s'explique par des conditions personnelles très particulières.

L'engagement dans les activités d'enseignement est limité du fait de la faible proportion d'enseignants-chercheurs de l'unité (un peu moins du tiers); cependant l'enseignement de mécanique du solide est dispensé par un professeur du laboratoire qui a rédigé un support de cours pour toute la promotion de l'École Polytechnique.

Les membres du laboratoire interviennent dans les masters TACS et M4S (en collaboration avec le CMAP et le LPMC). Ils n'y ont pas pris de responsabilité.

Le laboratoire est impliqué dans les évolutions des parcours master résultant de la mise en place de l'Université de Paris-Saclay. On peut se demander ici si le laboratoire ne devrait pas s'engager plus résolument dans ces évolutions pour y jouer un rôle plus déterminant.

Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

Le projet à 5 ans se place dans une certaine continuité, mais marque des évolutions thématiques réelles, ce qui prouve que les acteurs ont réfléchi aux évolutions de leur discipline. Le projet proposé est ambitieux et bien en phase avec les problématiques modernes. Il est structuré autour de la mécanique des matériaux qui sont modélisés comme des structures en interaction avec d'autres physiques (bio et chimie); les nouveaux axes de recherche sont structurants pour l'unité. Certains d'entre eux sont très originaux mais d'autres sont plus « dans l'air du temps ».

Pour certains axes, comme la modélisation des tissus vivants, le projet manque de précision et l'originalité de l'apport du LMS n'est pas encore évidente. L'association plus étroite avec le LADHYX devrait apporter plus de crédibilité et d'originalité au projet présenté, mais le LMS ne doit pas y perdre son âme. L'équipe autour du projet est encore très jeune et un temps de maturation de son identité reste incontournable.

Le projet ne propose pas de changement d'organisation. Le comité d'experts s'est demandé si une structuration autour de thèmes scientifiques ne serait pas plus lisible et plus pertinente que la structuration choisie autour des « pôles » présentés dans le rapport.

Le projet proposé ne présente pas d'évaluation des risques et ne se positionne pas dans le paysage national ou international. C'est un point faible du document et de la présentation orale. On pourrait penser que cet exercice est un peu formel, mais il a le mérite de mieux cerner ses propres limites. Une telle analyse permet aussi à l'unité d'avoir une vision moins subjective de son identité.

4 • Analyse pôle par pôle

Pôle 1 : Comportement des matériaux et analyse multi-échelle

Nom de la responsable : M^{me} Véronique DOQUET

Effectifs de l'équipe	Nombre au 30/06/2013	Nombre au 01/01/2015
N1 : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés	1,5	1,5
N2 : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés	5	5
N3 : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)	ITA non répartis	
N4 : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)		
N5 : Autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.)	4	
N6 : Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)		
TOTAL N1 à N6 (hors N3)	10,5	6,5

Effectifs de l'équipe	Nombre au 30/06/2013	Nombre au 01/01/2015
Doctorants	10	
Thèses soutenues	14	
Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	4	
Nombre d'HDR soutenues		
Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	2,5	5

Les post-doctorants sont comptabilisés au niveau de l'unité et non pas répartis par pôle.



• Appréciations détaillées

Le pôle « Comportement des matériaux et analyse multi-échelle » a une activité équilibrée entre expérimentation et modélisation. Il élabore des lois de comportement et des critères de rupture à partir de la microstructure des matériaux et des mécanismes mis en jeu. Il rassemble une demi-douzaine de chercheurs (dont un partagé avec le pôle « Problèmes multidisciplinaires ») et d'enseignants-chercheurs. Il entretient des liens privilégiés avec les plateformes STADY et MiMeCA, incluant, en particulier, leurs chercheurs référents, ce qui affiche bien l'ancrage expérimental des modélisations qui sont élaborées. Sans en faire une liste exhaustive, les principales thématiques qui ont été abordées ces dernières années concernent la fissuration en fatigue et sous choc thermique, la rupture ductile des matériaux massifs et des tôles sous faible triaxialité, la déformation à différentes échelles et la perméabilité des roches sous contraintes. Les matériaux considérés sont nombreux, ce qui témoigne d'une large palette de compétences : métaux (aluminium, acier, titane, verre métallique), céramiques (carbure de silicium, verre borosilicate), minéraux (gabbro, grès, calcaires, argilite, sel gemme). Les principaux domaines d'application sont le nucléaire (de la tenue en service à la gestion des déchets) et l'industrie métallurgique, avec des relations contractuelles pérennes.

On notera que l'activité « fatigue » du pôle s'appuie sur une expérience très solide établie depuis plusieurs années et qui se perpétue par un approfondissement et un élargissement des problématiques. L'ouverture à la fissuration sous choc thermique a de belles perspectives d'applications ; une coordination avec la thématique voisine et plus théorique du pôle « Comportement et durabilité des structures » pourrait être mutuellement profitable. L'activité « rupture ductile », qui s'appuie sur une nouvelle génération prometteuse et très productive, couvre à la fois les tôles homogènes dans leur épaisseur et les tôles sandwich, la relève de l'exploitation du remarquable parc de barres de Hopkinson du laboratoire étant assurée avec brio. Face à l'affaiblissement de ses ressources humaines, l'activité géomécanique va devoir trouver un nouveau souffle en fédérant les forces disponibles sur les problématiques de stockage souterrain.

Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

La qualité des recherches qui sont effectuées dans ce pôle est très bonne.

La production scientifique du pôle est globalement bonne à très bonne. Les articles sont publiés dans des revues d'excellent niveau (Experimental Mechanics, JMPS, IJSS, IJP, Mechanics of Materials, etc), avec un spectre remarquablement large allant de la modélisation en mécanique à la mécanique expérimentale.

Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

Les recherches qui sont effectuées dans le pôle s'appuient en particulier sur des chercheurs dont la réputation est déjà bien établie. La signature par certains de chapitres dans des ouvrages récents est une confirmation de l'expertise que la communauté leur reconnaît. Les collaborations entretenues avec des universités de renom aux USA (Caltech, University of Texas, Austin, etc) contribuent également au rayonnement de ce pôle. L'implication comme porteur de projets nationaux ou comme partenaire de projets internationaux mériterait toutefois d'être accentuée et accroîtrait la visibilité des plus jeunes.

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

L'activité du pôle donne lieu à de nombreux contrats directs avec l'industrie, souvent dans le cadre de partenariats suivis, comme avec EDF, le CEA, l'ANDRA, l'IFPEN. Une grosse partie de cette activité, en partenariat avec l'ANDRA, est toutefois menacée.

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

La vie du pôle se réduit à celle des projets dont ses membres sont acteurs. Cet aspect devra être renforcé si le pôle devait être amené se doter d'une véritable identité.

Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

Le nombre de thèses soutenues par an, presque 3, devrait s'accroître au vu du nombre de celles en cours.



Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

Les perspectives du laboratoire n'étant pas définies par pôle, mais par thématiques, il peut être difficile de déterminer à qui les attribuer. Cela est malgré tout clair pour le développement d'une thématique sur la contribution des joints de grains à la déformation. C'est un choix pertinent, qui couvre entre autres les métaux à grains ultrafins et les roches, en complète cohérence avec les activités actuelles du pôle mais avec de nouveaux défis à relever. Les projets concernant les tôles sandwich sont également très intéressants et innovants, ils s'appuient sur les solides compétences déjà acquises.

Conclusion

- *Points forts et possibilités liées au contexte :*

Le pôle a des thématiques bien identifiées, en bonne liaison avec des besoins industriels et sociétaux, portées par des chercheurs de qualité, dont une nouvelle génération très solide. Ses liens avec les plateformes expérimentales sont un atout.

- *Points faibles et risques liés au contexte :*

La composante géomécanique semble fragile. La délimitation du contour du pôle mériterait d'être affirmée, des activités proprement « matériau » étant actuellement incluses dans d'autres pôles.

- *Recommandations :*

L'implication du pôle comme porteur de projets nationaux ou comme partenaire de projets internationaux mériterait d'être accentuée et accroîtrait la visibilité des plus jeunes membres.

Pôle 2 : Comportement et durabilité des structures

Nom du responsable : M. Habibou MAITOURNAM

Effectifs de l'équipe	Nombre au 30/06/2013	Nombre au 01/01/2015
N1 : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés	1,5	1
N2 : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés	3,5	3,5
N3 : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)	ITA non répartis	
N4 : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)		
N5 : Autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.)	5	2,5
N6 : Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)		
TOTAL N1 à N6 (hors N3)	10	7

Effectifs de l'équipe	Nombre au 30/06/2013	Nombre au 01/01/2015
Doctorants	11	
Thèses soutenues	27	
Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	1	
Nombre d'HDR soutenues		
Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	5,5	5,5

Les post-doctorants sont comptabilisés au niveau de l'unité et non pas répartis par pôle.

• Appréciations détaillées

Le pôle n°2, Comportement et durabilité des structures, affiche une activité très diversifiée, centrée sur le comportement et la tenue des structures complexes. Il comporte 4 thèmes : « fatigue et durée de vie », « mécanique non linéaire de la rupture et de l'usure (approches énergétiques ou variationnelles) », « Stockage souterrain » et « problèmes inverses, identification, dynamique et stabilité ». Dans un classement expérimental / numérique / théorique, les travaux rapportés sont le plus souvent théoriques ou numériques, avec, dans certains cas, l'analyse de larges campagnes expérimentales ; on relève dans le thème 3 « Stockage souterrain » des développements expérimentaux notamment in situ (mines, excavations). A l'intérieur de chaque thème, l'activité se présente le plus souvent comme une série d'actions individualisées, en relation avec une thèse et un partenariat industriel. Cependant, le thème 3 échappe sensiblement à cette règle, avec une ligne directrice centrée sur le comportement différé de structures souterraines, dans diverses roches. Le thème 4 se subdivise en sous-thèmes et son titre « problèmes inverses, identification, dynamique et stabilité » en est le meilleur résumé ; les travaux sont essentiellement de nature théorique avec des prolongements dans le domaine numérique, et des incursions dans l'expérimental ou des confrontations à des expériences.



Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

Le pôle est très productif et les travaux menés sont de qualité indiscutable : à la fois à la pointe des problématiques abordées, originaux et novateurs dans ces problématiques, et dans de nombreux cas menés dans une continuité méthodologique et thématique très favorable. Ils sont le plus souvent ancrés dans des partenariats industriels qui nourrissent à la fois les problématiques (défis, nouvelles technologies obligeant à des développements originaux et novateurs)... et le laboratoire. La fissuration, les cycles notamment thermo-mécaniques, l'usure, sont des thèmes récurrents. Les thèmes de la stabilité et de la bifurcation sont abordés dans plusieurs travaux, en recherchant des solutions analytiques lorsque c'est possible. La confrontation à l'expérience est souvent mise en œuvre. La référence à la thermodynamique tient une place importante dans de nombreux travaux. La dimension multi-échelles est très présente, faisant appel à des méthodes d'homogénéisation théoriques ou numériques et à l'apport de l'observation expérimentale, souvent importée mais dans certains cas développée par le pôle (exemple les essais de fluage très lent réalisés dans une galerie souterraine profonde en cul de sac, pour obtenir une stabilité de température au 1/100 de degré). A noter les approches expérimentales de pointe développées au LMS (notamment les essais multi-échelles avec imagerie et mesures de champs), qui sont plutôt référencées dans le pôle 1 « matériaux », comme il est sans doute logique mais les imbrications avec le pôle 2 sont conséquentes.

Bon nombre des chercheurs du LMS jouissant d'une forte notoriété sont des acteurs du pôle 2.

Les recherches sont menées en très forte collaboration aussi bien nationale qu'internationale.

Les travaux sont publiés dans les meilleurs journaux internationaux du secteur scientifique concerné (JMPS, IJSS, etc.), avec des facteurs d'impact très significatifs pour la discipline.

Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

Dans les réseaux et communautés à l'échelle nationale, il faut noter les implications suivantes :

- plusieurs chercheurs du LMS sont présents dans les instances du département INSIS du CNRS : conseil scientifique (un chercheur membre nommé), chargés de mission (2 chercheurs) ;
- une implication dans le plan campus Paris-Saclay, notamment dans la genèse en cours du département « mécanique » de l'Université de Saclay.

Les chercheurs et les post-doctorants recrutés sont généralement de très haut niveau.

Les chercheurs du pôle reçoivent des prix et distinctions nombreux et de grande notoriété, tels que : Légion d'honneur, prix académie des sciences (prix Luminey), médaille Koiter, Harvard visiting fellow, prix Yves Rocard, plusieurs prix de thèse et articles primés.

Les membres du pôle participent à la direction éditoriale de très bonnes revues (notamment IJSS, IJNME, IJIE, JoMMS).

Quant au niveau et à la notoriété des expertises auxquelles contribuent les membres du pôle, on relèvera les faits suivants :

- un membre du pôle a été auteur d'un rapport sur le changement climatique, remis à la ministre du MESR (2010) ;
- plusieurs chercheurs sont consultants auprès de grands groupes ou agences.

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

Le pôle « comportement et durabilité des structures » du LMS interagit beaucoup avec les acteurs de la mécanique, au plus haut niveau (industriel et académique). Des trois pôles, il est probablement le plus exposé à la problématique de transfert technologique. Les travaux développés en partenariat sont la majorité, et l'originalité de ces travaux imprime aussi la marque du LMS sur les méthodes et les produits transférés. Beaucoup des travaux étant menés en impliquant des doctorants dans le cadre de thèses CIFRE, le transfert se fait dans les meilleures conditions. On note une activité remarquable de dépôts de brevets. Les partenaires choisis sont souvent des leaders du domaine industriel visé; et chose peu fréquente, ils sont souvent aussi des partenaires internationaux. Un certain nombre des partenariats sont suivis, avec souvent plusieurs actions en parallèle (PSA, EDF, ANDRA,...). Ces relations permettent au LMS de mettre les grandes qualités scientifiques de ses chercheurs en confrontation avec les défis industriels, modérant ainsi l'académisme qui pourrait survenir à ce niveau d'excellence.



Appréciation sur l'organisation et la vie de l'équipe

La visite et les discussions sur place ont permis de préciser le rôle des pôles dans le laboratoire : les pôles ne sont pas des lieux de vie en tant que tels, mais des regroupements de compétences qu'on pourrait qualifier de « support scientifique ». Il n'y a donc pas lieu de commenter la vie scientifique du pôle.

Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

Le projet à cinq ans n'est pas structuré selon les pôles, mais selon des axes thématiques. Thématiquement, les recherches du pôle « comportement et durabilité des structures » se retrouvent en partie dans l'axe thématique « endommagement et criticalité », avec des questions ouvertes pertinentes notamment sur la localisation précoce de l'endommagement et son lien avec l'hétérogénéité structurale, la multi-fissuration par corrosion sous contrainte, l'émergence de la criticalité dans les systèmes non-linéaires et la bifurcation comme liée à la non-linéarité du système. D'autres recherches se retrouvent dans l'axe « méthodes », on pense ici aux travaux sur les stockages en cavités salines et aux essais de fluage longue durée qui y sont associés.

Cependant, les forces investies dans ces axes restent non spécifiées et des questions se posent quant à l'évolution du pôle en termes de ressources humaines : de nombreux chercheurs du pôle, qui ont contribué fortement à son excellence et à sa visibilité, sont sortis du cadre du laboratoire ou vont en sortir à brève échéance. Ceci a déjà impacté de manière critique la branche « déchets nucléaires » de la thématique « stockages », et cette tendance menace de s'étendre à toute la géomécanique. De fait, cette discipline qui a été majeure dans le laboratoire n'apparaît plus, dans l'exposé des perspectives, que dans l'un des paragraphes de l'axe « méthodes », et pas du tout parmi les « axes thématiques » qui sont au nombre de cinq. Il faut noter ce choix stratégique, qui met les priorités du laboratoire en cohérence avec les thématiques portées par les moyens humains dont il va disposer dans le futur proche.

Concernant les autres thématiques du pôle, l'inquiétude quant à la relève est moindre mais le départ de chercheurs confirmés constitue cependant un risque d'affaiblissement sensible des forces en présence.

Conclusion

▪ *Points forts et possibilités liées au contexte :*

Le pôle « comportement et durabilité des structures » produit des travaux de grande qualité, de très bonne audience, menés par des chercheurs de grande notoriété. De nombreuses thèses ont été soutenues, avec un très bon soutien partenarial notamment industriel.

▪ *Points faibles et risques liés au contexte :*

On peut s'interroger cependant sur l'avenir, devant le départ programmé de personnalités scientifiques qui comptent encore significativement dans le présent bilan. La stratégie définie par le projet du Laboratoire prend acte implicitement d'une partie de ces départs.

▪ *Recommandations :*

Le comité d'experts ne formule pas de recommandations particulières.

Pôle 3 : Multidisciplinaire

Nom du responsable : M. Lev TRUSKINOVSKY

Effectifs de l'équipe	Nombre au 30/06/2013	Nombre au 01/01/2015
N1 : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés	3	3,5
N2 : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés	2,5	2,5
N3 : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)	ITA non répartis	
N4 : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)		
N5 : Autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.)	4	0,5
N6 : Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)		
TOTAL N1 à N6 (hors N3)	9,5	6,5

Effectifs de l'équipe	Nombre au 30/06/2013	Nombre au 01/01/2015
Doctorants	8	
Thèses soutenues	10	
Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	3	
Nombre d'HDR soutenues		
Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	4	5,5

Les post-doctorants sont comptabilisés au niveau de l'unité et non pas répartis par pôle.

• Appréciations détaillées

Le pôle « Multidisciplinaire » regroupe des activités assez variées qui sont liées à des approches à l'interface entre la mécanique et la physique. Trois axes sont identifiés : l'un sur la plasticité et l'endommagement, qui étudie le comportement des défauts en effectuant des passages méso-macro ; le second porte sur les couplages magnéto-rhéologiques et la stabilité des structures induites par application de tels champs ; le troisième traite des matériaux vivants, allant de la mécanique cellulaire jusqu'aux tissus. On note aussi des travaux originaux en perception visuelle et sonore, ainsi qu'en mécanique de la touche de piano. Ces études sont essentiellement théoriques, mais aussi expérimentales. Il est cependant difficile de trouver une cohérence entre les trois axes.



Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

La production scientifique est très bonne dans des revues internationales à fort impact. Les publications sont dans des revues de mécanique (Proc R Soc London, J. Elasticity, Continuum Mechanics and Thermodynamics, JMPS, etc.) ou de physique (PRL, PRE, Biophys J, etc.). De nombreux chercheurs sont des leaders au niveau international. Cependant on note trop de publications avec un seul auteur du LMS (ou un permanent avec un doctorant/postdoc). On note un manque de collaborations entre chercheurs, sachant qu'il semble que cela s'améliore depuis quelque temps.

Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

Les chercheurs de ce pôle sont indéniablement de très bons chercheurs, dont la maturité scientifique et la reconnaissance sont très bien établies au niveau international (activités éditoriales (CMAT, Journal of Elasticity, etc.), récompenses, collaborations internationales). On note l'arrivée de jeunes chercheurs prometteurs, qui commencent à interagir avec les plus anciens. L'activité en mécanique cellulaire et tissulaire suit son cours. On suivra particulièrement les interactions avec le LADHYX et le LOB dans l'opération « mécanique et systèmes vivants ». Certains chercheurs ont effectué de longs séjours sur invitation/collaboration à l'étranger dans des universités prestigieuses (par exemple Harvard).

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

On note une petite activité contractuelle (EDF, L'Oréal, DIGITEO), mais par contre une bonne réussite aux contrats ANR.

Appréciation sur l'organisation et la vie de l'équipe

Aucune indication n'est donnée sur la vie du pôle. Pour ce qui concerne l'activité avec le LADHYX, on note des locaux partagés, ce qui va motiver des synergies, mais les chercheurs (qui le pourraient) ne semblent pas tous encore impliqués dans l'action « mécanique et systèmes vivants ».

Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

Le nombre de thèses est adéquat et de très bons doctorants continuent ensuite en post-doctorat, et aussi en recherche par la suite. On note l'implication de ce pôle dans l'opération « Biologie et interfaces » de l'École Polytechnique, avec la mise en place de nouveaux laboratoires.

Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

Le pôle va se répartir entre les thématiques suivantes : « défauts et criticalité », « matériaux actifs » (effets magnéto-rhéologiques, semi-conducteurs), et aussi « biologie et tissus biologiques ». Si les deux premiers thèmes sont forts et bien dotés par des recrutements de chercheurs permanents, le dernier, qui représente des enjeux majeurs, reste sous-doté et doit être mieux défini. Il faudrait ainsi préciser cette thématique par rapport aux différentes actions nationales (GDR, etc.) et la repositionner dans un contexte international déjà bien avancé et très compétitif. A ce titre, la reconnaissance des microstructures biologiques 3D (par méthodes de champs) devrait pouvoir s'appuyer sur l'expérience du LMS. Du côté de la modélisation du tissu biologique, s'entourer de collaborateurs ne serait pas un luxe, i.e. chercheurs du LADHYX, ou encore d'autres laboratoires parisiens ou autres. Il faudra aussi veiller à ce que l'activité expérimentale se dote des équipements adaptés à la manipulation de systèmes biologiques, et il pourrait être nécessaire d'attirer des collaborateurs biologistes. Au vu de la qualité des chercheurs cependant, il n'y a pas véritablement d'inquiétudes quant à la réalisation de ces projets. Un recrutement supplémentaire serait néanmoins nécessaire, pour aller dans le sens des grandes ambitions soutenues par l'École Polytechnique.



Conclusion

- *Points forts et possibilités liées au contexte :*

Le pôle possède des compétences fortes, de niveau international. Les réalisations de la période écoulée sont tout à fait notables, et témoignent d'un savoir-faire, et d'une force créatrice très originale. Les chercheurs sont individuellement d'un excellent niveau, et il semble que les interactions entre membres du pôle soient en cours d'évolution, ceci allant dans le sens positif.

- *Points faibles et risques liés au contexte :*

Les compétences sont fortes, mais finalement peu liées les unes aux autres. Les perspectives pourraient être mieux précisées dans le contexte national et international.

- *Recommandations :*

Il faudra veiller à renforcer les activités sur la thématique du vivant, ce qui pourrait motiver des actions transverses au sein du laboratoire.



5 • Déroulement de la visite

Dates de la visite

Début : 5 décembre 2013 à 8h30
Fin : 6 décembre 2013 à 14h30

Lieu de la visite

Institution : École Polytechnique
Adresse : Route de Saclay 91128 Palaiseau cedex

Locaux spécifiques visités : Visite du LMS et de ses plateformes expérimentales

Déroulement ou programme de visite

5 décembre 2013

08h30-09h00 réunion restreinte comité d'experts
présentation des journées par le délégué scientifique de l'AERES
09h00-10h00 exposé du directeur du laboratoire
10h15-12h00 pôle matériaux multi-échelles
14h00-16h00 pôle multidisciplinaire
16h00-18h00 rencontre avec les personnels chercheurs et EC, ITA doctorants

6 décembre 2013

08h30-09h30 pôle durabilité
09h30-10h00 projet et perspectives
10h30-11h00 rencontres tutelles
11h00-11h50 rencontre directeur
11h50-13h00 repas avec directeur et responsables pôles.
13h00-14h40 Huit clos comité d'experts



6 • Observations générales des tutelles



Patrick Le Quéré
Directeur adjoint de l'Enseignement et de la Recherche

Madame Nathalie Dospital
Déléguée Administrative
Section des unités
AERES
20 rue Vivienne
75002 PARIS

Objet : Evaluation AERES du LMS – UMR 7649
Référence : DAER /LL/14 – n° 110
PJ : Réponse au rapport d'évaluation du LMS - E2015-EV-0911568K-S2PUR150008316-005315-RT

Palaiseau, le 19 mai 2014

Chère Madame,

En réponse au rapport du comité d'évaluation, je vous prie de trouver ci-joint les remarques que le LMS souhaite porter à votre connaissance et les corrections factuelles qu'il souhaiterait voir prises en compte.

En tant que co-tutelle du LMS, nous n'avons pas d'autre commentaire particulier à ajouter, autre que vous faire savoir que nous avons été très sensibles à la qualité du rapport, et vous prions de remercier en notre nom l'ensemble des membres du comité et son président pour le temps qu'ils ont consacré à cette évaluation.

En vous souhaitant bonne réception de la présente, je vous prie de croire, Chère Madame, à l'assurance de mes meilleures salutations.

Patrick Le Quéré
*Directeur adjoint de l'Enseignement
et de la Recherche*



Laboratoire de mécanique des solides
Professeur Patrick Le Tallec, Directeur



Réponse du Laboratoire de Mécanique des Solides au rapport de l'AERES

Le laboratoire souhaiterait d'abord remercier l'AERES pour le rapport reçu dont il apprécie l'aspect positif, constructif et pertinent. Il est très attentif aux différents points de vigilance soulignés, notamment en termes de recrutement. Il aimerait cependant appeler l'attention du comité de visite sur trois points précis complétant ainsi le rapport.

1) Les tableaux donnés par pôle sont légèrement incomplets. Nous nous permettons d'envoyer ci-joint la version complétée notamment avec le nombre de doctorants et post-docs par pôle.

2) Le laboratoire est interrogé sur sa participation aux masters de mécanique de la région parisienne. Outre la participation active à la mise en place du master énergie nucléaire sur Paris Saclay dans les années 2010, le laboratoire organise un parcours complet en Modélisation Multiéchelles et Multiphysique des Matériaux et des Structures regroupant une dizaine d'étudiants par an. Nous aimerions aussi souligner la participation très active du laboratoire au parcours MAGIS qui regroupe près de 50 étudiants par an : Véronique Doquet est responsable de la filière "endommagement et rupture" et de l'UE mécanique de la rupture, Andrei Constantinescu est responsable de l'UE méthodes numériques, Kostas Danas, Dirk Mohr et Eva Heripre participent activement dans différents modules.

3) Sur la participation des membres du laboratoire aux instances locales et nationales, nous aimerions enfin rappeler que Xavier Boutillon et Jean-Jacques Marigo sont membres du comité national section 9, qu'Andrei Constantinescu est membre du Comité National Français de Mécanique ainsi que chargé de mission auprès de l'INSIS et que Véronique Doquet fait partie du conseil scientifique de l'Institut. Enfin, le directeur du laboratoire assure la responsabilité du futur département Mécanique Energie Procédés.

Patrick Le Tallec