



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

Section des Unités de recherche

Rapport d'évaluation

Fédération de recherche :

F2M-msp

de l'ENSAM



Avril 2009



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

Section des Unités de recherche

Rapport d'évaluation
Fédération de recherche
F2M-msp
de l'ENSAM



Le Président
de l'AERES

Jean-François Dhainaut

Section des unités
de recherche

Le Directeur

Pierre Glorieux

avril 2009



Rapport d'évaluation



La Fédération de recherche :

Nom de la fédération : Fédération Francilienne de Mécanique : Matériaux, Structures et Procédés (F2M-
msp)

Label demandé : FR (CNRS) et FED (MESR)

N° si renouvellement : FR2609 (F2M2SP) et FED Mécanique des matériaux, structures et procédés

Nom du directeur : M. Samuel FOREST

Université ou école principale :

ENSAM

Autres établissements et organismes de rattachement :

Etablissement support (anciennement principal) : ENSAM

Etablissement de rattachement : Ecole Centrale Paris

Etablissement de rattachement : ENS Mines Paris

Etablissement de rattachement : ENS Cachan

Etablissement de rattachement : Université Pierre et Marie Curie

Etablissement de rattachement : Université Paris-Est Marne-la-Vallée

Etablissement de rattachement : Ecole Polytechnique

Etablissement de rattachement : ENPC

Etablissement de rattachement : ENSTA

Etablissement de rattachement : Université Paris 12

Organisme : CNRS.....département ou comm. de rattachement : ST2I (09)

Organisme : LCPC

Organisme : ONERA.....département ou comm. de rattachement : branche MAS (DADS, DMSC, DMSM)

Organisme : EDF R&D.....département ou comm. de rattachement : dir. labos



Membres du comité d'évaluation

Président :

M. Pierre SUQUET, LMA, CNRS Aix-Marseille Université

Experts :

M. Djimédo KONDO, LML, Université de Lille (CoNRS)

M. Yves BRECHET, SIMAP, Université de Grenoble

M. Gioacchino VIGGIANI, 3S-R, Université de Grenoble

M. Michel GREDIAC, LaMI, Université de Clermont

M. Denis BREYSSE, GHyMaC, Université de Bordeaux

Observateurs

Délégué scientifique de l'AERES :

M. Jacques DESRUES



Rapport d'évaluation



1 • Présentation succincte de la fédération

– Effectif,

Seul un ingénieur IE2 est affectée à la fédération en tant que personnel support (communication).

En revanche, la fédération compte 200 enseignants-chercheurs, 88 chercheurs, 101 ingénieurs de recherches et d'études, et 434 doctorants qui sont des personnels déclarés participants par les laboratoires mais non affectés directement à la fédération, puisqu'ils le sont dans leurs laboratoires respectifs.

– Unités composant la fédération

UMR 8579 - Laboratoire de Mécanique des Sols, Structures et Matériaux (MSSMat) J.M. Fleureau Ecole Centrale Paris

UMR 8535 Laboratoire de Mécanique et Technologie (LMT) O. Allix E.N.S. Cachan

UMR 7633 Centre des Matériaux (CdM) G. Cailletaud E.N.S. Mines Paris

UMR 7649 Laboratoire de Mécanique des Solides (LMS) B. Halphen Ecole Polytechnique

UPR 9001 Laboratoire des Propriétés Mécaniques et Thermodynamiques des Matériaux (LPMTM) P. Franciosi CNRS

UMR 7190 Institut Jean Le Rond d'Alembert (IJLRdA) S. Zaleski Université P. et M. Curie

UMR 2832 Laboratoire de Mécanique des Structures Industrielles Durables (LaMSID) S. Andrieux (P.Massin délégué) EDF R&D

UMR 8006 Laboratoire d'Ingénierie des Matériaux (LIM) T. Bretheau ENSAM

UMR 8106 Laboratoire de Mécanique des Systèmes et des Procédés (LMSP) F. Chinesta ENSAM

UMR 104 Laboratoire d'Etude des Microstructures (LEM) A. FineI ONERA

FRE 3160 Modélisation et Simulation Multi-Echelle (MSME) Ch. Soize Université Paris-Est Marne la-Vallée

Institut Navier (dont UMR 113, Ph. Coussot) O. Coussy E.N. Ponts et Ch.

Branche Matériaux et Structures (MAS) M. de Gliniasty ONERA

Unité de Mécanique (UME) A. Chaigne ENSTA

2 • Déroulement de l'évaluation

Le temps fort de l'évaluation de la fédération était la visite du comité d'experts effectuée le 8 avril 2009 sur le site de l'ENSAM Paris où est localisé le LIM, le laboratoire du directeur sortant de la fédération. Cette visite avait été précédée par la lecture d'un rapport d'activité bien structuré et d'une grande franchise. Un exposé du directeur actuel sur la stratégie passée et à venir de la fédération, des exposés scientifiques, des points sur les actions de communication et les journées de doctorants, une visite d'équipement et plusieurs posters ont donné aux experts un aperçu relativement large, compte tenu du temps imparti, des activités de la F2M.



Les directeurs des laboratoires de la fédération étaient pour la plupart présents lors de cette journée et ont pu s'adresser librement et publiquement au comité après l'exposé du directeur. Des discussions plus informelles ont eu lieu à d'autres moments de la journée.

3 • Analyse globale de la fédération, de son évolution et de son positionnement local, régional et européen

La F2MSP regroupe 14 laboratoires de Mécanique de la région Ile-de-France autour des thèmes Matériaux, Structures et Procédés. La légère contraction du nombre de ces laboratoires, une vingtaine à la création de la fédération, ainsi que le fait que certains gros laboratoires n'y sont présents que par leurs membres réellement concernés, va dans le sens d'une plus grande implication de chacun. Elle est donc jugée positivement.

La création de la fédération répondait à l'origine à plusieurs besoins, dont les principaux peuvent être résumés ainsi :

- Devant un paysage IdF de plus en plus polarisé par la création de différentes structures, PRES, Instituts Carnot, Ecoles doctorales, pôles de compétitivité etc... engendrant un risque de concurrence contre-productive entre laboratoires, il a été ressenti le besoin d'élaborer une stratégie scientifique globale dans des domaines relevant de la Mécanique des Solides au sens large.
- Sur le plan pratique, cette stratégie scientifique devait s'accompagner d'une approche concertée pour les équipements des différents laboratoires de la région, garantissant une mutualisation des équipements spécialisés et une plus grande crédibilité auprès des organismes financeurs.
- Sur le plan de l'enseignement, la réforme LMD et les nouvelles règles du jeu en matière de politique des différents établissements ont rendu l'offre de formation plus difficile à lire pour les étudiants et pour les recruteurs potentiels, et dans le même temps appauvri le contenu et les effectifs d'étudiants. Il devenait alors indispensable d'assurer une meilleure coordination des enseignements existants et des demandes de nouvelles habilitations.
- Sur le plan de la visibilité, la fédération devait pouvoir être une structure plus visible de l'extérieur que les laboratoires individuels que ce soit au plan national, européen ou international.

6 ans après sa création la fédération a effectivement oeuvré sur ces différents points. Son bilan est globalement très satisfaisant.

Si l'on affine cette appréciation, il faut reconnaître des nuances selon les missions. On peut par exemple considérer que les objectifs sont pleinement atteints en ce qui concerne la rationalisation de la politique des équipements, avec la constitution en un temps court d'une réelle crédibilité de la fédération auprès des financeurs. A lui seul, ce succès justifie l'existence de la fédération.

A l'inverse, le comité a eu la sensation que les différents domaines affichés dans le titre de la fédération "Matériaux, Structures et Procédés" n'y sont pas (encore) associés ou impliqués au même degré. Les activités "matériaux", qui avaient historiquement une certaine culture commune, semblent pleinement engagées dans la logique fédération, y jouent un rôle moteur et bénéficient à plein de ce cadre. Il ne semble pas que les activités "structures" en soient au même stade, à la fois en termes d'actions "structures" communes à plusieurs équipes ou d'interactions avec les activités "matériaux". Un coup d'oeil aux publications communes confirme cette impression. On sent néanmoins que la situation peut évoluer favorablement, aidée en cela par un certain renouvellement des thèmes et des personnes et grâce une meilleure connaissance réciproque acquise au fil du temps et favorisée par des actions de communication interne. Quant à la liaison avec l'aspect "procédés", elle reste encore à ce jour plus un objectif qu'une réalité, compte tenu du faible nombre de laboratoires "procédés" au sein de la fédération (situation qui pourrait également évoluer).



4 • Analyse de la vie de la fédération

Sur le plan scientifique, après une période où avait été mis en place un nombre important de groupes de travail plus ou moins actifs, la fédération s'est orientée vers un fonctionnement ciblant plutôt des projets. 7 thèmes sont actuellement retenus, 6 d'entre eux sont analysés un peu plus en détails en annexe (sauf le thème dynamique).

Les opérations les plus notables pour la vie de la fédération sont :

- Les demandes d'équipement SESAME qui font l'objet d'une analyse scientifique en amont allant bien au-delà des simples considérations sur le matériel.
- l'organisation de séminaires et de rencontres de la fédération.
- des actions au service des doctorants : journées de doctorants, rencontre industriels/doctorants.
- des actions coup de pouce pour permettre à au moins 2 équipes de la fédération d'explorer des thèmes nouveaux.

Ce fonctionnement par actions ciblées, souvent plutôt limitées dans le temps, a paru au comité le bon mode opératoire pour une fédération dont le rôle majeur est d'être incitative.

La fédération s'est dotée d'un conseil scientifique qui se réunit régulièrement et d'un bureau plus restreint qui prend un certain nombre de décisions. Les réunions du conseil scientifique font l'objet de comptes-rendus détaillés et instructifs. Le bureau est néanmoins restreint et gagnerait parfois à prendre des avis extérieurs.

La fédération a engagé un certain nombre d'actions de communication interne et a le projet de les étendre à la communication externe. Ces actions sont une réussite.

5 • Conclusions

— Points forts :

- La fédération a créé les conditions de relations apaisées entre les laboratoires, en particulier dans la communauté de mécanique des matériaux.
- Avec la création de pôles géographiques forts qui sont mis en place parfois au détriment de logiques scientifiques ou pédagogiques, des actions fédératives, telles que celles que mène la F2M, vont être encore plus nécessaires.
- La fédération exerce parfaitement son rôle d'élaboration d'une politique d'équipement à la fois ambitieuse, rationnelle et soucieuse de la bonne utilisation des financements publics.
- L'équipe de direction de la F2M est tonique et volontaire. Il faut souligner l'action décisive du directeur sortant et de son directeur adjoint lors de la création et le démarrage de la fédération ainsi que l'importance des responsables de projets, volontaires indispensables pour animer les différents thèmes.

Le bilan de la F2M et son projet scientifique sont tous deux très bons. Compte tenu des efforts faits pour mutualiser les équipements les plus spécialisés, les demandes de postes accompagnant ces équipements devront faire l'objet d'une attention particulière de la part des tutelles.

— Points à améliorer et recommandations:

- Les aspects "structures" et "procédés" doivent prendre toute leur place dans la fédération. Le but n'est pas d'évoluer vers une structure « bi ou tri-polaire » qui générerait des tensions, mais au contraire de tirer parti des compétences uniques présentes en IdF pour transformer "M, S, P" en "MSP". Un thème de réflexion, que la fédération a d'ailleurs bien en tête, est donc d'identifier rapidement des problèmes devant être abordés en commun. Les thèmes "endommagement et rupture" et "problèmes multi-échelles" sont déjà identifiés et il est recommandé de les aborder délibérément sous l'angle fédératif. D'autres comme les assemblages, les matériaux à architecture interne, les matériaux du génie civil, les sols... pourraient être envisagés à l'avenir.



- La mutualisation de certains équipements est une excellente chose. Il serait souhaitable pour mieux faire connaître la disponibilité de ces équipements auprès des entreprises et des laboratoires de la région d'en préciser le mode d'emploi par quelques règles simples mais écrites.
- Le temps est peut-être venu de prouver, par un ou deux projets coordonnés entre plusieurs laboratoires et un industriel, que les relations industrielles mutualisées sont parfois un atout...
- Les coups de pouce constituent un bon outil de politique scientifique. Il serait souhaitable que leur attribution s'appuie sur des avis extérieurs, ou même par un conseil à « géométrie variable » comprenant une part d'extérieurs qui donne un avis purement scientifique.
- N'est-il pas envisageable, en particulier pour financer les « coups de pouce », qu'il y ait une action volontariste des laboratoires, au niveau de 100 Euros par chercheur inscrit, qui permettrait de financer les actions « innovantes »?
- Une réflexion sur les couplages possibles au niveau national avec d'autres structures fédératives, en vue de l'organisation d'écoles d'été ou de cours d'école doctorale, pourrait être menée.
- En complément des actions en direction des doctorants et post-doctorants, la fédération pourrait favoriser l'accueil de pré-doctorants, notamment étrangers, par des bourses de niveau Master qui peuvent d'ailleurs faire l'objet de financements régionaux.



Annexe: Analyse des thèmes

Thème A : Approches multi-échelles .

Les approches multi-échelles en mécanique constituent un thème qui complète et prolonge bien celui des matériaux hétérogènes. La liste des différentes échelles couvertes par la Fédération est impressionnante, même si on a parfois l'impression que les équipes spécialisées dans certaines échelles parlent encore relativement peu avec celles travaillant à d'autres échelles.

De nombreux résultats marquants ont été obtenus, en particulier ceux issus de la dynamique des dislocations. Les travaux réalisés sur ce thème ont permis d'élaborer des lois de comportement des matériaux de structures en enrichissant, voire en corrigeant, les modèles de plasticité cristalline par la dynamique des dislocations. La fédération jouit d'un grand dynamisme et d'une grande visibilité internationale dans ce domaine (cf. à titre d'exemple deux articles parus dans la revue Science).

Les approches multi-échelles développées dans la fédération concernent également les structures, en bénéficiant de compétences reconnues tant dans le domaine du calcul de microstructures que dans celui de stratégies avancées de calculs numériques impliquant différentes échelles d'espace et de temps, un domaine très porteur de la "Mécanique Numérique".

Compte tenu de l'importance avérée de ce domaine pour l'ingénierie de structures mécaniques complexes, il est crucial que la F2M puisse à l'avenir mieux structurer/fédérer les compétences largement reconnues en calcul intensif de structures, en ne négligeant pas de les coupler aux approches stochastiques en mécanique des matériaux et des structures. Il faudra également veiller à maintenir un lien très fort avec le nouveau thème des procédés de fabrication, pour lequel les phénomènes multi-physiques et les aspects multi-échelles s'avèrent de grande importance.

Par ailleurs on ne peut qu'encourager les équipes travaillant aux différentes échelles à aller plus avant dans le partage de leurs méthodes de calculs, ainsi que dans l'implémentation effective d'une chaîne allant du Matériau à la Structure en couvrant plusieurs échelles, soit par changement d'échelles, soit par prise en compte simultanée et intégrée de plusieurs échelles.

Thème B « Approches probabilistes en mécanique ».

Au cours du quadriennal en cours, l'essentiel de l'activité du thème a porté sur les aspects relatifs à la formation, qui constituent un verrou dans la mesure où les outils et méthodes qui permettent d'appréhender les problèmes dans leur dimension stochastique sont souvent encore mal connus des mécaniciens. L'effort déjà engagé au niveau des cours doctoraux doit être poursuivi. Un service rendu à la communauté serait de développer des ressources pédagogiques pérennes, sous la forme de documents pouvant être mis en ligne et disponibles en permanence comme par ex: <http://www.univ-mlv.fr/MLV-Ecole-Doctorale-MODES/mecapropa06/>. Ces efforts pédagogiques pourraient être prolongés sous la forme d'écoles d'été, de colloques et séminaires.

Les partenariats en recherche ont pour l'instant été peu nombreux, qu'il s'agisse de co-encadrements de thèse ou de publications. L'ambition affichée dans le rapport est louable (« développement d'approches inverses pour l'identification de modèles stochastiques, de champs stochastiques ou de lois de comportement avec aléa... prise en compte des incertitudes ou des méconnaissances »). Elle correspond à de réels enjeux innovants, aussi bien dans le cadre de MIVa que dans un cadre plus large, et doit être encouragée, sans se limiter au seul cas de la description de l'aléa et du désordre dans le « V.E.R. ». La question de la propagation des incertitudes (de modèles ou sur les données) entre les échelles, et celle de son influence sur la qualité/fiabilité des estimations recoupe certainement nombre de thèmes y compris relatifs aux aspects structuraux. La F2M devrait, à condition d'identifier quelques personnes motivées et « porteuses », être en mesure de favoriser les synergies nécessaires à ce thème original.

Thème C : Biomécanique et biomatériaux

Si l'application de la mécanique au vivant est un domaine en pleine expansion au niveau international, un tel développement demande un investissement fort avec les sciences du vivant (et en particulier les biologistes et pas seulement les médecins). La fédération possède les compétences en mécanique pour amener des contributions originales, mais l'identification des questions sur lesquelles elle peut proposer un regard



novateur (et non une application directe de méthodes ou de concepts importés) demande une réflexion de fond qui peut se faire dans le cadre d'un GDR dédié (comme le GdR 3162 Mécanotransduction). C'est une fois cette réflexion faite, et en se positionnant vis-à-vis des meilleurs centres internationaux dans ces domaines (MIT, Berlin,...) qu'il sera possible de décider, au niveau de la fédération, si ce thème peut être porteur d'une dynamique collective, ou s'il est mieux adapté à des actions individuelles dans d'autres cadres.

Thème D : Dynamique

Ce thème est peu présent dans le rapport d'activité et n'a pas fait l'objet de présentation lors de la visite. On peut donc légitimement penser qu'il cherche encore sa place et s'inquiéter de savoir s'il l'a trouvée. Le comité ne comptait en son sein aucun expert du sujet et se bornera à remarquer qu'il s'agit d'un thème de grande importance avec des retombées industrielles fortes. Ne pourrait-il pas faire l'objet de collaborations entre mécaniciens des structures dans un premier temps (par ex. autour d'un axe LMS-LMT), avant de se renforcer par des aspects plus matériaux?

Thème E : Endommagement et rupture

Il s'agit d'un thème majeur, sans aucun doute l'un des « cœurs de métier » de plusieurs laboratoires de la fédération. De façon intéressante, alors qu'on pourrait le considérer comme assez abouti et donc avec une faible marge de progrès, c'est actuellement un thème qui peut être profondément renouvelé grâce aux moyens de caractérisation expérimentale et de suivi d'endommagement dont dispose la fédé (p.ex. méthodes de champs), mais aussi et surtout grâce aux outils théoriques et numériques en développement autour des approches variationnelles et énergétiques. Judicieusement, c'est précisément autour de ce thème que la F2M propose un projet au cœur de ses ambitions scientifiques pour la période 2010-2013. Ce nouveau statut de projet fédératif devrait contribuer à renouveler le thème, les deux enjeux principaux de ce renouvellement étant :

1. revitaliser la modélisation, en couplant efficacement approche locale et globale pour arriver à l'échelle du calcul (robuste) de structures. De ce point de vue, la diversité et la richesse des compétences réunies dans la F2M sont un atout important, il est effectivement temps de les coordonner - l'implication plus grande dans la F2M de l'équipe de L'Institut Jean le Rond d'Alembert de l'UPMC est à saluer ;
2. profiter au mieux des moyens récemment acquis par la F2M en matière de caractérisation expérimentale et de suivi d'endommagement. Cela devrait permettre de faire le lien entre mesures de champs (notamment en présence de « discontinuités fortes », i.e., fissures) et modélisation. En particulier, une démarche systématique « d'expériences critiques » est à encourager, elle permettrait de discriminer entre les différents modèles d'endommagement et rupture, en les validant/falsifiant par rapport à leur capacité de reproduire des observations expérimentales sur des champs hétérogènes avec propagation dans le temps et dans l'espace d'endommagement et de fissures.

Une plus grande ouverture sur les matériaux poreux et les géomatériaux est aussi souhaitable. De ce point de vue la F2M aura intérêt à s'appuyer sur la plateforme d'imagerie micro tomographique installée à l'Institut Navier.

Thème F : Matériaux hétérogènes

Ce thème, qui est historiquement le « cœur de métier » de plusieurs des laboratoires de la Fédération, en demeure incontestablement l'un des fleurons. Il le serait plus encore si les méthodes de changement d'échelle avaient pu bénéficier plus longtemps de l'apport d'un chercheur étranger de haut niveau récemment reparti. Toute occasion de cette envergure, s'il devait s'en présenter à nouveau, devrait être saisie.

La force de ce thème réside dans l'excellent couplage entre la modélisation et l'expérimentation, en particulier les caractérisations à l'échelle mésoscopique par les méthodes de champ. La simulation numérique, autrefois en retrait, tient maintenant une place très respectable au niveau de la fédération. Il faut encourager les travaux de modélisation sur des matériaux autres que métalliques car de nouvelles idées en micromécanique pourraient en résulter. Il en est de même pour les couplages multiphysiques. Dans une optique d'étude de « matériaux modèles », une réflexion sur les possibilités d'élaboration contrôlée de tels matériaux, s'appuyant en particulier sur les moyens de l'ONERA, membre de la F2M, permettrait de dégager de nouvelles idées.



Thème G : Méthodes d'identification et de validation

Le projet fédératif « Méthodes d'identification et de validation » apparaît clairement dans le bilan. Ce projet repose sur l'expertise reconnue de plusieurs laboratoires de la fédération sur le développement et l'utilisation de diverses techniques de mesure de champs. Les synergies créées et la volonté affichée de mutualiser les moyens ont permis de bénéficier de soutiens institutionnels significatifs qui ont rendu possible l'achat de matériel lourd de caractérisation, en microscopie notamment.

Les acteurs sont invités à multiplier les utilisations couplées des techniques disponibles et à s'ouvrir en direction de la communauté des méthodes inverses présente au sein de la fédération. Cette dernière est en effet susceptible d'apporter des outils originaux d'exploitation des mesures de champs et de resserrer les liens entre modélisation et expérimentation. Par ailleurs il serait souhaitable que des applications particulièrement originales, comme la détection de discontinuités de champs de déplacement, ou le projet de pilotage par les champs, diffusent plus largement dans les laboratoires de la fédération, notamment en utilisant les compétences et les moyens expérimentaux de l'Institut Navier.

L'organisation d'un symposium IUTAM annoncée à l'horizon 2011 apportera incontestablement une visibilité internationale à ce thème et récompensera l'investissement de ses porteurs au sein de la fédération.