



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

Section des Unités de recherche

## Rapport du comité d'experts

Unité de recherche :

Centre de Mise en Forme des Matériaux  
(CEMEF) - UMR 7635

de l'Ecole des Mines de Paris



février 2008



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

Section des Unités de recherche

## Rapport du comité d'experts

Unité de recherche :

Centre de Mise en Forme des Matériaux  
(CEMEF) - UMR 7635

de l'Ecole des Mines de Paris



Section des unités  
de recherche

*Le Directeur*

**Jean-Jacques Aubert**

février 2008



# Rapport du comité d'experts

## L'Unité de recherche :

Nom de l'unité : Centre de mise en forme des Matériaux (CEMEF)

Label demandé : UMR

N° si renouvellement : 7635

Nom du directeur : M. Jean-Loup CHENOT

## Université ou école principale :

Ecole des Mines de Paris

## Etablissements et organismes de rattachement :

CNRS

## Date(s) de la visite :

26 - 27 février 2008

# Membres du comité d'évaluation



## Président :

M. Olivier ALLIX, LMT Cachan

## Experts :

M. Arnaud POITOU, GEM, Ecole Centrale Nantes

M. Denis FAVIER, Laboratoire 3S-R, Université de Grenoble

M. Aziz HAMDOUNI, LEPTAB, Université de La Rochelle

M. Yves BERTHIER, LMCS, INSA Lyon

M. Albert MAGNIN, Laboratoire de Rhéologie, Université de Grenoble

M. Frédéric VALÈS, LIM, ENSAM Paris

## Expert(s) représentant des comités d'évaluation des personnels (CNU, CoNRS, CSS INSERM, représentant INRA, INRIA, IRD...)

M. Gilles PERRIN, CoNRS section 9, IFP Rueil Malmaison

# Observateurs



## Délégué scientifique de l'AERES :

M. Jacques DESRUES

## Représentant de l'université ou école, établissement principal :

M. Michel LENCI, Ecole des Mines de Paris

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

M. Dominique LEGUILLON, département ST2I CNRS, Paris



# Rapport du comité d'experts



## 1 • Présentation succincte de l'unité

- Effectif : 29 chercheurs et enseignants-chercheurs (1500h d'enseignement/an), 22 ingénieurs et techniciens, 6 administratifs et plus de 60 doctorants en moyenne
- Nombre de HDR : 23
- Nombre de thèses soutenues : 62
- Durée moyenne lors des 4 dernières années : 3 ans
- Nombre de thèses en cours : 70
- Taux d'abandon : 10% à 15%
- Nombre de thésards financés : 100% très largement sur contrat industriel
- 70 thésards actuellement 20 Mastères
- Nombre de membres bénéficiant d'une PEDR : aucun, les enseignants ne dépendant pas de l'Éducation Nationale
- Nombre de publiant : 26 soit 90 % des chercheurs et enseignants chercheurs

## 2 • Déroulement de l'évaluation

Outre le rapport d'activité 2004-2007 (Octobre 2007) l'évaluation s'est appuyée sur :

- une présentation d'une heure chiffrée du bilan du précédent quadriennal par le directeur
- une présentation de 20 minutes + 10 minutes des huit équipes de recherche
- une visite d'une heure ½ du laboratoire
- la présentation des activités sur site à partir de 3 ateliers thématiques en parallèle, chacun suivi par deux ou trois membres du comité
- une réunion avec les représentants de chaque catégorie du personnel, trois quarts d'heure soit 15 mn par catégorie
- une réunion avec les institutionnels (EMP et Délégation CNRS)
- une présentation d'une demi-heure des perspectives du laboratoire par le directeur pressenti pour le prochain quadriennal
- une réunion du Comité d'évaluation scientifique en formation restreinte.

Le rapport d'activité quoique complet manquait de clarté sur un certain nombre d'aspect. Des échanges préalables avec les responsables du CEMEF et une très grande réactivité des équipes de direction ont permis de compléter le document de façon à permettre au comité d'avoir l'ensemble des éléments permettant une évaluation rigoureuse.



### 3 • Analyse globale de l'unité, de son évolution et de son positionnement local, régional et européen

Le CEMEF, depuis plus de trente ans, occupe une place unique sur l'échiquier français et européen. Son créneau, la mise en forme, est plus que jamais d'actualité. C'est un laboratoire qui sait intégrer le meilleur de recherches matures notamment d'un point de vue numérique pour les incorporer dans des outils de plus en plus efficaces et complets du point de vue des aspects physiques. Cette force des outils est attestée par des collaborations internationales motivées pour partie par des outils permettant de regarder un certain nombre de questions dans leur globalité. La structuration retenue pour les équipes de recherche est apparue adaptée au traitement de l'ensemble des défis scientifiques et pratiques posés par la mise en forme de matériaux. L'étude simultanée de la mise en forme, par des procédés variés, de matériaux différents comme les polymères naturels ou artificiels et les matériaux métalliques, par la synergie assez remarquable qu'elle induit à toutes les échelles, est un atout majeur très bien exploité par le laboratoire.

Une autre caractéristique majeure concerne les relations extrêmement étroites avec les industriels, avec les atouts et les contraintes que cela implique. Sur les quelques 60 thèses du laboratoire, 15% environ portent sur des recherches « amonts » dans le cadre de partenariats avec des consortiums industriels. Le CEMEF supporte plusieurs logiciels industriels dont FORGE2 et FORGE3 avec un nombre d'implantation toujours croissant au niveau mondial.

Un point nouveau du dernier quadriennal concerne l'Institut Carnot M.I.N.E.S.. L'abondement associé est apparu judicieusement utilisé pour irriguer des développements amonts tant de modélisation que de simulation à travers quatre post-docs de 3 ans.

L'exceptionnelle réussite dans les programmes européens (coordonnateurs de 5 projets, participation à 10) est également remarquable. Le CEMEF fait partie des laboratoires français qui ont une véritable dimension internationale.

Un autre point fort du CEMEF est la formation (thèses, masters, stagiaires), soit 65 étudiants par an dont le placement dans l'industrie ne pose pas de problème.

Le comité a noté le dynamisme et la réactivité du laboratoire. Des axes nouveaux du dernier quadriennal comme celui des biopolymères ont été heureusement consolidés. Cette réactivité se mesure également par la création d'une nouvelle équipe **Structures et Propriétés dans les Procédés de Solidification** et la disparition d'une autre. D'autres axes en développement associés à la volonté de mieux comprendre et de mieux prendre en compte la physique des phénomènes ont vu le jour: la dynamique moléculaire pour la prédiction de propriétés d'usage comme la couleur, le développement des études sur les interactions entre mise en forme et diffusion des espèces chimiques et également celles liant les propriétés à cœur et les propriétés de surface.... Ces différentes études comportent toutes un volet expérimental.

En considérant que les phénomènes complexes étudiés posent partout la question de solutions multiples, de la sensibilité aux paramètres et de la variabilité des phénomènes et que ces questions semblent peu traitées, le comité suggère cet axe de développement pour le futur quadriennal.

Des évolutions stratégiques dans le domaine numérique ont été effectuées et particulièrement le développement tout azimut des levels sets couplés au remaillage et au parallélisme massif. L'association de ces méthodes est en effet particulièrement efficace pour traiter nombre de problèmes complexes rencontrés en simulation de la mise en forme. A contrario il a été noté un certain vieillissement des équipements expérimentaux, et des risques liés aux départs de personnels fonctionnels maîtrisant des techniques pointues.

Le comité a également noté le sérieux et l'efficacité des ACMO en matière de la politique de sensibilité aux risques et de prévention de ceux-ci.

Tous ces éléments et les indicateurs ci-après :

- Nombre d'articles par an rapporté au Ne : 1,3
- Encadrement de thèse par HDR : 2,7 (Ne = 29)
- Volume de contrat par chercheur : 0,125 M€ (dont la moitié correspondant aux salaires ARMINES).

montrent que le CEMEF est aujourd'hui un laboratoire d'excellence réussissant remarquablement sur un créneau bien à lui.



## 4 • Analyse équipe par équipe et par projet

### ThermoMécanique et Plasticité (TMP)

L'équipe "Thermomécanique et Plasticité" reposant jusqu'en 2006 sur 4 enseignants-chercheurs aborde 3 thématiques "Formabilité des produits minces", "Traitements thermiques et trempe", "Solidification et soudage". L'activité de recherche est intense, se traduisant entre 2004 et 2007 par 9 thèses soutenues (dont 6 en co-direction avec d'autres équipes) et 12 projets collaboratifs (dont 4 Européens et 2 ANR). Le niveau de publications dans des revues internationales est très bon; la reconnaissance de l'excellence scientifique est surtout manifeste par le nombre de conférences invitées. Reconnue au niveau international pour ses travaux de modélisation sur les procédés de solidification et de mise en forme de tôles, l'équipe a su renforcer avec brio sa composante expérimentale sur ces thématiques. Les compétences acquises lors des activités antérieures justifient complètement le choix des nouvelles thématiques sur la modélisation des procédés de traitements thermiques et surtout du soudage. Ces thématiques suscitent dès à présent des développements théoriques originaux, tels que le remaillage adaptatif anisotrope. Une réflexion est à engager à court terme pour poursuivre au plus haut niveau les activités de cette équipe du fait de la création d'une nouvelle équipe par un de ses membres, du temps partiel d'un autre membre et de la perspective de départ à la retraite d'un 3<sup>ème</sup> membre.

### Modélisation Mécanique et MultiPhysique (M3P)

Le groupe M3P développe une activité de recherche organisée en cinq thèmes (endommagement et rupture, couplage multi-physique, assemblage optimal, techniques de réduction de temps de calcul et modélisation en biomécanique). Le groupe est composé de 4 chercheurs ou enseignants-chercheurs de l'école des Mines de Paris. La production scientifique du groupe apparaît moyenne voire insuffisante ce qui est peut-être lié à un problème de dispersion thématique de ce groupe par rapport aux forces dont il dispose ainsi qu'à un manque de renouvellement des outils de modélisation dont il fait usage.

### Calcul Intensif en Mise en Forme des Matériaux (CIM)

Les travaux du groupe CIM couvrent une activité large allant du développement ou adaptation de méthodes numériques pour les problèmes complexes de mise en forme jusqu'au développement de logiciels « commercialisables ». Le groupe est composé de 5 enseignants-chercheurs ou chercheurs ainsi que d'un chercheur d'un laboratoire de l'Université de Nice qui participe activement aux travaux de l'équipe. Le groupe CIM est un des principaux acteurs du CEMEF, c'est un groupe dynamique, qui a su intégrer des méthodes numériques diverses et performantes de développements récents, pour les mettre au service de la modélisation de la mise en forme des matériaux en tenant compte de la complexité de l'ensemble du processus. Les outils développés dans ce groupe, en particulier l'usage « intensif » de la méthode level-set ont eu des retombées sur le développement de la modélisation numérique dans les autres groupes du CEMEF. Les orientations scientifiques choisies par le groupe sont pertinentes. Il faut veiller cependant, à améliorer la production scientifique dans des revues internationales à comité de lecture pour quelques membres du groupe ainsi que celle des doctorants (2 chercheurs et enseignants-chercheurs non publiant et 4 thèses soutenues en 2004 et 2005 n'ont pas donné lieu à une publication dans une revue jusqu'à présent).

### Groupe Métallurgie Structure Rhéologie (MSR)

Le CEMEF est à l'origine de codes de simulation de mise en forme des métaux qui sont bien appréciés dans l'industrie. La qualité informatique et algorithmique de ces codes est évaluée dans d'autres paragraphes. Le groupe MSR a la mission d'identifier les lois physiques que suivent différents métaux. Les thèmes de 3 thèses en cours disent combien cette tâche est diverse, chaque procédé de mise en forme, chaque matériau demandant une approche spécifique. Le problème de la tenue en service en liaison avec leur procédé de fabrication est étudié dans la même logique. Les phénomènes qui le méritent sont étudiés à partir de l'échelle inférieure au grain, en parfaite liaison avec l'équipe des calculs numériques, CIM. En s'appuyant sur un parc de machines d'essai et de mesure qu'il a développé à fin d'identification ou de vérification de modèles, en intégrant des résultats et méthodes issus d'autres bons laboratoires, ce groupe sait atteindre ses objectifs et les faire évoluer dans la durée.



## **Cristallisation et Etudes Structurales (CES)**

Les activités de ce groupe ont été visibles au plan international et ont donné lieu à de nombreuses publications. Dans la nouvelle structuration mise en place depuis septembre 2007, cette thématique est réduite et intègre le groupe "solidification" pour dégager des méthodes communes avec la solidification des métaux. Des interactions sont à conserver avec le groupe EVE pour le couplage avec les procédés de mise en œuvre (injection notamment) et avec le groupe Surface et Tribologie pour les simulations qui ressortent de la dynamique moléculaire.

## **Structures et Propriétés dans les Procédés de Solidification (SP2)**

Poids de l'histoire, le groupe SP2 traite de la solidification depuis l'état liquide, mais appliquée à deux classes de matériaux très différents : les métaux et les polymères. Ceci est justifié par quelques ressemblances : la présence de domaines cohérents orientés, grains dans les métaux et sphérolithes dans les polymères cristallins, l'emploi d'un même outil numérique représentant ces grains, l'existence d'effets de texture suite à déformation. Mais chacune de ces classes de matériaux a aussi de très fortes spécificités et, par bien des aspects, elles ne sont pas unifiables (par exemple, les éléments insécables dans la fusion sont les atomes pour les métaux et les chaînes pour les polymères). Le CEMEF se garde toutefois d'une telle généralisation, et cela est évident dès que l'on examine le caractère appliqué des recherches menées, les titres précis des études en cours dans le groupe SP2, et les jolis résultats obtenus. Expériences et détermination de modèles se mêlent harmonieusement.

## **Surface et Tribologie (SET)**

Fort de sa culture tribologique, le groupe SET formule des solutions à des problèmes tribologiques issus des conditions de contacts spécifiques des procédés de mise en forme. Cette spécificité, apanage reconnu du CEMEF, l'ont conduit par le passé à développer des résultats de recherche bien établis pour, à l'aune de problèmes industriels variés, déboucher sur des démarches peut-être trop centrées sur les demandes industrielles. Le comité soutient les évolutions en cours, orientant les recherches vers de nouvelles problématiques, et vers de nouvelles techniques de caractérisation et de simulation numérique, pour ainsi englober dans leur champ d'étude des conditions de contact dépassant les seuls procédés de mises en forme. Il s'agit entre autres de permettre une meilleure visibilité et interaction des recherches menées au CEMEF, avec la communauté des tribologues. Un point souligné par le responsable du groupe est le risque lié au vieillissement des cadres de l'équipe. Il est donc recommandé au laboratoire de veiller à (au moins) un recrutement proche indispensable au maintien de cette activité essentielle.

Remarque : Si les simulations numériques (FORGE3) sont remarquables sur le plan du comportement volumique (remaillage 3D assez exceptionnel), elles doivent continuer d'évoluer pour mieux prendre en compte les conditions de surface (frottement) qui deviennent de plus en plus déterminantes du fait par exemple de la diminution d'épaisseur des pièces mises en forme.

## **Physico-Chimie des Polymères (PCP)**

Le groupe « Physico-Chimie des Polymères » composé de 3 chercheurs permanents mène des recherches actives et fructueuses en terme de publications sur (i) le couplage thermodynamique, structure et mise en forme des polysaccharides (amidon, cellulose), (ii) le comportement des micro-gels sous contrainte, (iii) la dispersion des agglomérats poreux. La thématique sur les polysaccharides, particulièrement riche en développements scientifiques, trouve un appui pluridisciplinaire dans le réseau d'excellence EPNOE (European Polysaccharide Network of Excellence) coordonné par l'animateur du groupe. Les activités du groupe sont au coeur des nouvelles actions de recherche et d'enseignement qui seront développées dans le prochain quadriennal sur les bio plastiques.





## Écoulement Visco-Elastique (EVE)

Ce groupe travaille sur les procédés de mise en forme des polymères. Il est internationalement reconnu, tant au sein de la communauté de la Polymer Processing Society que dans des réseaux Européens (le groupe est coordonnateur dans le 6<sup>ème</sup> PRCD d'une action de coordination sur l'injection des thermoplastiques et d'un projet sur les instabilités). Parmi les faits marquants du dernier quadriennal, on peut noter (i) la maîtrise de moyens expérimentaux fins (vélocimétrie laser + biréfringence) pour valider des théories moléculaires (ii) la maîtrise de nouveaux procédés (micro-injection, injection assistée eau, moussage de PU) (iii) l'étude des propriétés mécaniques de polymères à l'état solide. La clé du succès de ce groupe réside certainement dans (i) l'approfondissement de ses compétences théoriques sur les propriétés d'écoulement des polymères (ii) sa capacité à utiliser/motiver les développements numériques de ReM3D.

## 5 • Analyse de la vie de l'unité

- En termes de management :

Le Comité souligne l'importance du mode choisi de management de l'Unité sans séparation entre la direction du Centre de l'Ecole de Mines et la direction de l'UMR. Deux instances existent avec des rôles très divers : la réunion des responsables scientifiques et fonctionnels (regroupant une trentaine de personnes) et le Conseil de Laboratoire. Clairement le modèle retenu fonctionne d'un point de vue scientifique. Le conseil a cependant souligné l'importance qu'il y a à respecter les recommandations officielles (qui préconisent au moins 3 réunions annuelles du conseil de laboratoire et une Assemblée générale par an), pour permettre notamment de transmettre régulièrement l'information et d'associer l'ensemble des membres de l'unité permanents ou non à la vie du laboratoire.

- En termes de ressources humaines :

Le CEMEF dispose d'un panel d'enseignants chercheurs et chercheurs actifs de qualité à qui la charge moyenne d'enseignement permet réellement une activité de recherche significative. Son créneau de recherche appliqué lui permet d'attirer de nombreux étudiants de thèse et en ce sens le CEMEF est également un centre de formation d'excellence.

- En termes de communication :

Les étudiants en thèse travaillant quasiment tous sur contrat, il a été noté qu'un nombre important de thèse ne donnait pas lieu à publication et que c'est là un axe d'amélioration potentielle à ne pas négliger. Au-delà de cet aspect, les études menées au CEMEF reçoivent un écho médiatique non négligeable ce qui est assez peu courant dans le domaine de la Mécanique. Le niveau de publication moyen des enseignants chercheurs est plus que satisfaisant.

## 6 • Conclusions

- Points forts :

Le CEMEF est un laboratoire qui sait intégrer le meilleur de recherches matures notamment d'un point de vue numérique pour les intégrer dans des outils de plus en plus efficace et complet du point de vue des aspects physiques. L'étude simultanée de la mise en forme par des procédés variés de matériaux différents comme les polymères naturels ou artificiels et les matériaux métalliques, par la synergie assez remarquable qu'elle induit à toutes les échelles, est un atout majeur très bien exploité par le laboratoire. Le laboratoire a par ailleurs bien su, lors du dernier quadriennal, faire évoluer ses thématiques et outils de recherche.



Le comité a relevé notamment :

- Une réussite industrielle indéniable mais qui peut aussi avoir ses revers.
- La réussite des logiciels FORGE2 et FORGE3 avec un nombre d'implantation toujours croissant au niveau mondial.
- L'institut Carnot ARMINES dont l'abondement est judicieusement utilisé.
- L'exceptionnelle réussite dans les programmes européens (coordonnateurs de 5 projets participation à 10).
- Le statut d'enseignant chercheur de l'école des Mines, très favorable au niveau de la disponibilité pour la recherche.
- La politique de formation du CEMEF, 65 étudiants par an dont le placement dans l'industrie ne pose pas de problème.

— Points à améliorer :

Du point de vue de la vie du laboratoire, la tenue de conseils de laboratoire et d'assemblées générales de façon statutaire.

La politique de renouvellement d'un parc expérimental qui est apparu comme un peu vieillissant.

— Recommandations :

Arriver à maintenir un niveau suffisant de recherche amont pour permettre au CEMEF de continuer à être un laboratoire à la pointe de développements applicatifs remarquables.

Recruter à temps pour permettre : (i) le transfert de connaissance de personnels maîtrisant des techniques pointues avant leur départ (ii) le maintien des activités de l'équipe SET.

***Projet de direction :***

Le Comité émet un avis très favorable à la proposition du CEMEF de maintenir un directeur unique pour les deux tutelles, ainsi que sur le changement de directeur. Le Comité tient à féliciter le directeur historique très chaleureusement pour sa direction efficace et ouverte et plus largement pour les choix qu'il a su faire depuis une trentaine d'année, choix qui sont pour beaucoup dans la réussite du CEMEF.



CENTRE NATIONAL  
DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

Département ST21  
Sciences et technologies de l'information et de l'ingénierie

D/2008/237

Paris, le 19/03/2008

Monsieur le Directeur,

J'ai bien reçu le projet de rapport du Comité d'évaluation de l'UMR7635 « Centre de mise en forme des matériaux (CEMEF) » transmis par vos soins le 19/03/2008.

Je vous adresserai, dès sa réception, la réponse du directeur de l'unité évaluée.

Dans l'attente de l'avis définitif de l'AERES sur cette unité, je vous prie de bien vouloir agréer, Monsieur le Directeur, l'expression de mes salutations les meilleures.

Philippe BOMPARD  
Directeur Scientifique Adjoint  
du Département ST2I

Monsieur Jean-Jacques Aubert  
Directeur de la section des unités  
AERES  
20 rue Vivienne  
75002 Paris



Evaluation de l'unité de recherche : AER\_ENSMP\_008-UMR7635

Le Directeur de l'ENSMP et la direction du laboratoire transmettent leurs remerciements au Comité d'Evaluation pour la qualité et la précision de l'analyse qu'il a effectuée sur l'ensemble des activités du CEMEF. Tous les personnels du laboratoire ont également apprécié la qualité des échanges avec les membres du CE.

Dans l'évaluation du groupe M3P (Modélisation Mécanique et MultiPhysique), il est nécessaire de prendre en compte la gestion complète du programme des enseignements et des stages du Mastère Spécialisé "Computational Mechanics".

On remarquera aussi que le défaut de publications de certains doctorants est à rapprocher des contraintes contractuelles imposées par certains industriels.

Benoît Legait  
Directeur