



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

Section des Unités de recherche

## Rapport d'évaluation

Unité de Recherche :

Laboratoire de biomécanique

UMR CNRS 8005

de Arts et Métiers ParisTech



Mars 2009



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

Section des Unités de recherche

# Rapport d'évaluation

Unité de recherche

Laboratoire de biomécanique UMR CNRS 8005

Arts et Métiers ParisTech



Le Président  
de l'AERES

Jean-François Dhainaut

Section des unités  
de recherche

Le Directeur

Pierre Glorieux

mars 2009



# Rapport d'évaluation



## L'Unité de recherche :

Nom de l'unité : Laboratoire de biomécanique

Label demandé : UMR CNRS (et association INSERM)

N° si renouvellement : 8005

Nom du directeur : Mme Wafa SKALLI

## Université ou école principale :

ENSAM (Art et Métiers ParisTech)

## Autres établissements et organismes de rattachement :

CNRS, P12, P13

## Dates de la visite :

11 & 12 février 2009

# Membres du comité d'évaluation



## Président :

M. Bernard CAMBOU, INRETS Arcueil

## Experts :

M. Dominique PIOLETTI, EPFL, Lausanne Suisse

M. Noël Didier Bernard BERNACHE-ASSOLLANT, Mines St Etienne

Mme Marie-Christine HO BA THO, UTC Compiègne

Mme Anne GUILLAUME, Laboratoire Accidentologie et Biomécanique, PSA

M. Christian JORGENSEN, INSERM Montpellier

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

M. Philippe SARDAIN, CNU

M. Pierre GILLET, CoNRS

# Observateurs

Délégué scientifique de l'AERES :

Alain MERLEN

Représentant de l'université ou école, établissement principal :

M. Jean-Paul HAUTIER, ENSAM

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

M. Luc DARASSE et Pascal SOMMER, CdM STII

Mme Marie-Josèphe LEROY-ZAMIA, Inserm



## 1 • Présentation succincte de l'unité

- Effectif : 29 enseignants-chercheurs dont 11 PR, 6 MDC, et 12 autres (PUPH, PH,..), 4 ingénieurs, 16 doctorants, 3 techniciens et 3 administratifs ;
- 11 HDR encadrant des thèses ;
- 19 thèses soutenues pendant le quadriennal, d'une durée moyenne de 3,64 ans, 16 thèses en cours ;
- tous les enseignants chercheurs sont publiants.

## 2 • Déroulement de l'évaluation

Les documents fournis ainsi que les présentations, ont permis de bien appréhender l'activité du LBM. Il manque cependant dans les documents fournis un organigramme du laboratoire permettant de clarifier les effectifs de chacune des équipes proposées. La visite a permis de mettre en évidence la qualité des actions de valorisation en particulier auprès du milieu des cliniciens. Cette visite aurait pu cependant être moins exhaustive et plus ciblée.

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

Le laboratoire de Biomécanique est une UMR ENSAM/CNRS. Le laboratoire développe des activités de recherche centrées sur l'analyse et la modélisation du système ostéo-articulaire avec pour objectif une modélisation biomécanique personnalisée. Il s'agit essentiellement de développer des méthodologies et des outils d'analyse de ce système en vue de faciliter le diagnostic et les méthodes curatives. Ce laboratoire comprend 2 PR, 3 MCF qui relèvent de l'ENSAM, 2 PUPH et 1 MCUPH qui relèvent de l'Université Paris 6. Dans le quadriennal précédent le laboratoire comprenait une équipe chargée de la valorisation et 3 équipes de recherche (biomécanique ostéoarticulaire et recherches cliniques - chocs, confort, sécurité des transports - biomécanique des tissus). Dans le projet proposé pour le nouveau quadriennal deux équipes rejoindraient le laboratoire, il s'agirait d'une part d'une équipe de l'Université Paris 12 comprenant 3 PUPH (contrôle moteur et restauration du mouvement) et d'une équipe de l'Université Paris 13 comprenant 2 PUPH et un MCF (biomécanique, sport et santé). Dans le projet proposé 4 PH collaboreraient avec le laboratoire. Un certain nombre de chercheurs sans statuts identifiés apparaissent également dans le projet. Tous les enseignants chercheurs ayant une mission de recherche bien identifiée présentent une bonne activité de publications et peuvent tous être considérés comme publiants. On peut cependant remarquer que sur les 53 publications du laboratoire, la très grande majorité est publiée dans des revues de biomécanique, chaque article étant de longueur limitée (5 à 6 pages) et le nombre d'auteurs élevé (5 à 7 auteurs). Il serait bien dans le futur d'élever le niveau des publications et de viser certaines publications dans des revues à plus large audience.

Le laboratoire développe une activité contractuelle importante (en budget non consolidé 45% du financement provient de programmes nationaux ou européens et 45% de contrats privés), 6 brevets ont été déposés pendant ce quadriennal marquant ainsi la poursuite d'une politique de valorisation efficace. Le laboratoire apparaît comme une structure très réactive vis-à-vis des sollicitations des cliniciens qui sont très demandeurs d'un appui pour le développement d'outils d'analyse ou d'évaluation clinique. 19 thèses ont été soutenues durant ce quadriennal (5 profil SV et 14 profil SPI) ce qui correspond à une bonne activité de formation par la recherche, la formation pluridisciplinaire est un plus pour ce laboratoire. La durée moyenne des thèses (3,64 ans) pourrait être réduite pour s'approcher de 3 ans.



Le LBM est bien ancré dans des réseaux nationaux et présente une bonne visibilité internationale, en particulier il intervient dans un certain nombre de projets européens.

Le projet proposé bien qu'apportant des éléments nouveaux intéressants sur le plan scientifique doit être reconstruit dans le cadre d'une structuration plus visible. Dans ce cadre il sera nécessaire de bien différencier les chercheurs ou enseignants chercheurs ayant une mission de recherche des autres personnels pouvant participer à des activités de recherche mais sans avoir un statut de chercheur.

## 4 • Analyse équipe par équipe et par projet

### 4.1 - Equipe Modélisation du Système Musculosquelettique et Recherches Cliniques

#### Bilan

Cette équipe multidisciplinaire s'implique plus particulièrement dans le transfert clinique des avancées obtenues dans le domaine de la modélisation de l'appareil locomoteur. A ce titre, ce groupe, numériquement le plus important (ressources humaines et production scientifique) peut se prévaloir de collaborations cliniques de qualité, ayant permis d'obtenir des avancées significatives dans des domaines variés, tels que (1) la modélisation de l'épaule, en intégrant au modèle osseux gléno- et omo-huméral la composante musculaire de la coiffe des rotateurs ; (2) la prise en compte de la caractérisation osseuse dans la modélisation du rachis, en vue de la détection du seuil fracturaire vertébral; (3) la simulation numérique du geste chirurgical orthopédique pour la prise en charge des scolioses ; (4) la reconstruction 3D du système musculaire à partir d'acquisitions et de segmentations IRM et (5) l'analyse cinématique de la marche normale et pathologique.

#### *Points forts :*

- développement d'algorithmes et de procédés informatiques originaux permettant la reconstruction précise et rapide de structures géométriques osseuses 3D à partir d'acquisitions planaires radiographiques via le système EOS ;
- développement personnalisé de modèle 3D de parties du système musculo-squelettique à partir d'imageries multi-modalités (EOS, Scanner, IRM) ;
- collaboration étroite et pertinente avec des cliniciens hospitaliers (orthopédistes, neurochirurgiens, rééducateurs...) dans les domaines de la faisabilité des projets (physiopathologie) et de leur transfert clinique (métrologie, suivi longitudinal) ;
- recherche transversale avec des valorisations efficaces des savoir-faire développés en laboratoire ;
- production scientifique importante en termes d'articles et de résumés de congrès, tant dans des revues de la spécialité que dans des travaux à plus large audience (Spine, JBJS, Calcified Tissue International, Osteoporosis International).

#### *Points faibles :*

- thématiques de recherche variées, bien qu'ayant toutes une relation avec la problématique de la biomécanique musculo-squelettique, ceci pouvant engendrer une dilution des ressources ;
- dans le cadre des projets de recherche clinique, il conviendrait de mieux hiérarchiser les objectifs (but primaire, secondaire..) et d'afficher plus fortement les contraintes méthodologiques (acuité, nombre de patients ...) ;
- absence de hiérarchisation des projets par rapport à leur importance respective dans la stratégie du développement du LBM.

#### Projet

#### *Points forts :*

- le développement des aspects « muscles » apparaît pertinent car cela permettrait un progrès considérable dans la modélisation des conditions de bord ; intégration ultérieure de la composante neurologique (commande neuro-musculaire) ;



- l'évaluation des risques de fracture liés à l'ostéoporose en combinant l'imagerie avec les paramètres géométriques est une idée intéressante.

*Points faibles :*

- les développements prévus sur EOS apparaissent seulement incrémentaux. Il n'y a pas de réelle nouvelle idée proposée ;
- idem pour les aspects de modélisation personnalisée ;
- manque d'une description des avancées scientifiques qui seront obtenues, seules les possibles applications cliniques sont décrites.

**Recommandations**

- présenter les différents projets dans une structure allant de l'amont à l'aval afin de pouvoir mieux comprendre la stratégie globale dans le développement scientifique de l'équipe ;
- concernant l'aspect fondamental, il convient d'identifier fortement un sujet phare innovant qui permettra de valoriser des compétences originales de l'équipe. L'axe muscle apparaît dès lors comme une ambition légitime du LBM en le déclinant sous 3 directions: reconstruction du muscle (EOS +IRM), modélisation de l'activation neuro-musculaire normale et pathologique, modélisation de la contraction musculaire pour la genèse du mouvement articulaire ;
- concernant l'aspect valorisation, il conviendra d'améliorer les performances du système EOS dans le domaine de l'acquisition (position assise, cinématique...) et dans certains modèles pathologiques (arthropathies dégénératives, fragilité osseuse et déviations rachidiennes, simulations de gestes chirurgicaux ...).

D'un point de vue général, il conviendra enfin de ne pas réduire les différents projets d'interface clinique comme des prestations de service factuelles aux praticiens mais comme de véritables collaborations scientifiques avec un meilleur affichage des avancées scientifiques obtenues ou attendues (physiopathologie, métrologie).

Note de l'équipe	Qualité scientifique et production	Rayonnement et attractivité, intégration dans l'environnement	Stratégie, gouvernance et vie du laboratoire	Appréciation du projet
A	A+	A	A	A

**4.2 Equipe : Biomécanique des chocs, confort et sécurité des transports**

**Bilan**

Le bilan des activités développées durant le quadriennal 2005-2008 au sein de l'équipe « Biomécanique des chocs, confort et sécurité des transports » concerne des études analytiques et applicatives. 4 grands thèmes sont abordés au travers d'un certain nombre de projets: la caractérisation mécanique des côtes, l'étude du comportement sous accélération verticale en dynamique des chocs de la colonne cervicale, l'évaluation de la cinématique 3D de la colonne cervicale « in vivo », l'acquisition de données mécaniques ostéo-articulaires d'enfants de 3 à 18 ans.

En filigrane, l'ensemble de ces projets apporte des éléments pour la collecte de données permettant d'enrichir la modélisation numérique du système ostéo-ligamentaire de l'être humain à différentes périodes de la vie.

*Points forts :*

- Forte collaboration avec les industriels et certaines structures étatiques à vocation de recherches appliquées (IMASSA, INRETS). Cela a pour intérêt majeur de permettre une retombée directe et rapide des recherches réalisées au sein du laboratoire en particulier dans les domaines de la sécurité routière ou aéronautique.



- Remontée des problèmes théoriques à résoudre rencontrés lors des études appliquées, véritables points d'achoppement à l'avancée des connaissances dont une partie est traitée directement par cette équipe en collaboration avec les autres équipes.
- Le nombre et le niveau des publications est en augmentation par rapport au précédent quadriennal.

Ainsi même si les projets de l'équipe sont plus appliqués que ceux des autres équipes, il existe une valeur ajoutée dans le sens de l'application des connaissances issues de la recherche plus fondamentale.

*Points faibles :*

- Manque de structuration claire de l'équipe autour d'une thématique principale, ce qui donne une impression de dispersion.
- Absence de personnels ayant une HDR dans l'équipe or beaucoup des travaux reposent sur des doctorants.
- Difficulté à discerner les réelles avancées en recherche par rapport aux résultats déjà obtenus dans d'autres laboratoires comme par exemple dans le cadre de l'étude sur la cinématique du cou.

**Le projet**

Le projet de l'équipe concerne l'implémentation des muscles et de leur comportement dans les modèles ostéo-articulaires, la personnalisation des modélisations à partir de données obtenues en IRM ou par le système de radiographie à bas rayonnement EOS avec un focus sur la modélisation du système ostéo-articulaire des enfants.

*Points forts :*

- Complémentarité avec une partie des thématiques des autres équipes du laboratoire.
- Large recueil de données morphologiques.

*Points faibles :*

- Difficulté à cerner la spécificité de l'équipe par rapport aux thématiques affichées « chocs, confort et sécurité des transports ».
- Manque de structuration claire de l'équipe autour d'une thématique principale ce qui donne, de même que dans le bilan, une impression de dispersion.
- Programme très ambitieux pour une équipe de permanents à effectif réduit

**Recommandations**

Le projet de l'équipe est à mieux articuler autour du thème principal affiché du laboratoire de biomécanique d'Arts et Métiers ParisTech qui est le développement de modélisations du système ostéo-articulaire et musculaire de l'être humain. Il serait souhaitable d'éviter de parcelliser l'activité en réalisant un regroupement des équipes initialement prévues dans le projet, ce qui permettrait une plus grande cohérence du projet autour de la modélisation du système ostéo-articulaire et musculaire avec des applications dans les domaines du sport et des transports. Cela aurait aussi pour intérêt de grossir l'effectif de chercheurs permanents au sein de l'équipe lui permettant de mettre en parallèle les moyens en personnels et les objectifs affichés pour le prochain quadriennal.

Note de l'équipe	Qualité scientifique et production	Rayonnement et attractivité, intégration dans l'environnement	Stratégie, gouvernance et vie du laboratoire	Appréciation du projet
B	A	B	A	B





### 4.3 - Equipe « Biomécanique des tissus »

Cette équipe développe une activité transversale autour de l'étude biomécanique des tissus durs (os et cartilage) ou plus récemment des tissus mous (muscles et tendons). Son objectif est de faire de la prévision de durée de vie *in vivo* à partir d'imagerie scanner ou base dose (EOS). Des études à partir de méthodes ultrasonores ont été développées en collaboration avec le LIP -UMR 7623 afin de caractériser les microcracks existants dans les os. De nombreux travaux expérimentaux sont menés en partenariat avec des laboratoires universitaires, mais une partie non négligeable est effectuée à l'aide de dispositifs mis au point par l'équipe « biomécanique des tissus ». Les modèles de simulation numérique développés pour prédire la résistance de différentes parties anatomiques utilisent une approche par éléments finis, la personnalisation (en termes de géométrie et de matériau) étant au cœur de la problématique. Enfin une ouverture sur l'ingénierie tissulaire est annoncée. La démarche effectuée par l'équipe « biomécanique des tissus » va du fondamental jusqu'à l'application, c'est une qualité à souligner.

Par rapport au contexte national et international, de nombreuses équipes effectuent des travaux sur les propriétés mécaniques des matériaux biologiques, couplées avec les techniques d'imagerie. Une des originalités a été d'investiguer les propriétés mécaniques du tissu cortical et spongieux simultanément (on peut regretter que ce travail n'ait pas été poursuivi pour vraiment différencier ces deux tissus). Originalité également pour le disque intervertébral, à propos duquel, comme cela a été souligné par l'équipe, peu de travaux existent. Il serait pertinent de poursuivre dans cette voie d'autant plus que ces travaux devraient contribuer aux modélisations effectuées dans l'équipe 1 qui possède un leadership incontestable sur les modélisations géométriques et numériques de la colonne vertébrale et aussi les études de choc au niveau du rachis cervical.

Cette équipe créée depuis 2006, très centrée sur son responsable, a un véritable projet scientifique autour de la compréhension des propriétés mécaniques de l'os sous différentes formes (cortical, spongieux, cartilage...) *in vitro* puis *in vivo*. L'ouverture aux tissus mous, bien qu'annoncée, n'est pas vraiment démontrée, même si une collaboration dans le cadre d'un programme ANR focalisé sur les tendons est en cours. On peut d'ailleurs penser que cette ouverture ne pourra être assumée par la structure de l'équipe actuelle.

Son projet scientifique est clair, on peut cependant être inquiet quant à sa réalisation compte tenu de l'effectif de l'équipe en enseignant-chercheurs, d'autant plus que le leader, parti depuis plusieurs mois, ne pourra assumer la responsabilité du projet annoncé.

#### *Points forts :*

Les travaux s'intègrent parfaitement avec ceux de l'équipe 1, montrant l'apport des investigations des propriétés mécaniques pour les modélisations et le diagnostic des pathologies ostéo-articulaires. On notera aussi une bonne intégration nationale (2 GDR (STIC- Santé et Mécanotransduction) et 2 ANR) et internationale en collaboration avec l'équipe 1 (projet Européen sur l'ostéoporose).

La production scientifique est de bonne qualité puisque 22 articles internationaux sont produits durant le quadriennal, l'impact factor se situant entre 1,5 et 4. Parmi les 22 articles on en notera 12 effectuées avec l'équipe 1 et 5 associées avec le LIP.

Les publications dans les revues variées démontrent la pluridisciplinarité des travaux (8/22 dans des revues recherche clinique).

Sur le plan de la valorisation industrielle, on notera 5 brevets depuis 2006 (Le responsable de l'équipe est associé à ces brevets) ainsi que des collaborations industrielles bien établies (Société Médimaps).

Les personnels de l'équipe sont fortement impliqués en enseignement à l'ENSAM ou dans le cadre du Master BIOST.

#### *Points faibles :*

Tous les articles sont signés du responsable de l'équipe, alors que les autres collaborateurs (Pr ou MCF) n'ont pas encore publié dans le cadre de cette équipe (il n'y a pas de publications communes). Ceci est inquiétant pour l'avenir, sachant que le responsable d'équipe a quitté le LBM depuis plusieurs mois, et que son successeur n'est pas encore choisi.



### Recommandations :

L'urgence est aujourd'hui de formaliser la succession de l'animateur de l'équipe en terme de personne et de projet. Ainsi dans ce cadre, il serait peut être nécessaire de recentrer et approfondir de nouvelles méthodologies de caractérisation originales abordées (EOS et mesure de DMO) et qui seraient propres au laboratoire, comme par exemple la caractérisation du disque intervertébral qui serait pertinente pour les autres équipes étudiant la scoliose et le rachis cervical. Les collaborations avec les équipes extérieures notamment avec le LIP sont fructueuses (si on se réfère aux publications communes), mais par exemple le domaine des ultrasons n'est pas le domaine d'expertise du laboratoire, il faudra veiller à bien identifier dans les collaborations la complémentarité, l'apport des différentes équipes.

Le rayonnement international est correct, mais pourrait être augmenté, on dénombre 3 conférences invitées dans le cadre de congrès internationaux.

Note de l'équipe	Qualité scientifique et production	Rayonnement et attractivité, intégration dans l'environnement	Stratégie, gouvernance et vie du laboratoire	Appréciation du projet
A	A+	A	A	B

#### 4.4 - Equipe Biomécanique, Sport et Santé

##### Le projet

Le projet « Biomécanique, Sport et Santé » s'appuiera sur la plateforme de modélisation personnalisée du LBM.

Le projet s'articule autour de deux axes.

(1) Modélisation et analyse de la gestuelle du sujet obèse ou diabétique. L'activité physique et sportive est alors envisagée comme un traitement préventif ou curatif des pathologies. L'impact sur le système ostéo-articulaire est étudié.

(2) Le second axe est centré sur les sportifs, en particulier rugbymen et coureurs de fond. Il s'agit alors de prévenir les pathologies induites par le sport dans ces groupes, ainsi que dans d'autres groupes particuliers tels que les enfants. Une partie physiologie est proposée, comme la course en hypoxie.

##### *Points forts :*

- Le thème « Sport et Santé » est particulièrement bien en adéquation avec l'environnement professionnel des membres de l'équipe :
  - des cliniciens présents sur place (un oncologue et un spécialiste de l'obésité) intéressés par les effets préventifs et curatifs du sport ;
  - des étudiants en sport à proximité, dont des sportifs de haut niveau, intéressés pour participer à l'élaboration de programmes d'entraînement non traumatiques ;
  - présence des étudiants du master recherche « Mouvements et Muscles » dans le département STAPS.
- La porteuse du projet est dynamique et a su fédérer et motiver les deux pôles d'une UFR de Paris 13 pour un projet commun (pôle Médecine et pôle STAPS), comme en témoigne la création toute récente des postes occupés actuellement par les deux membres de l'équipe.
- L'un a déjà acquis une expérience certaine dans le département « Traumatisme en sport de haut niveau » de l'Hôtel Dieu.
- La production scientifique est importante (quoique de niveau inégal en terme d'impact, à pondérer par ailleurs par le fait qu'elle porte sur des travaux antérieurs à la création de l'équipe).

##### *Points faibles :*

- On perçoit mal quel aspect du système neuro-musculo-squelettique (ostéo-articulaire, ou musculaire, ou les deux), est privilégié dans le projet.



- Pas de collaboration bien identifiée avec un Enseignant-Chercheur 60eme section du LBM (sauf avec la responsable du système d'Analyse Quantifiée du Mouvement du LBM, mais pour une part infime de son activité).
- Pas de collaboration envisagée non plus avec des membres de l'équipe 5 en phase de création (neuro-physiologie), malgré la présence commune dans les projets des deux équipes, de la composante physiologie.
- La plate-forme matérielle sur site hospitalier (systèmes AQM et EMG) n'est pas encore acquise (pour l'instant, le système d'AQM est transporté du LBM).

### Recommandations

Equipe émergente.

Les porteurs du projet possèdent les compétences requises. La plate-forme de modélisation personnalisée du LBM est adaptée.

Cependant, le projet doit être mieux précisé scientifiquement. Si la modélisation et l'analyse de la gestuelle, ainsi que l'étude de son impact, apparaissent comme une application de la plate-forme de modélisation du LBM, alors l'équipe pourrait s'intégrer dans l'équipe « Modélisation musculo-squelettique et Recherche Clinique ». En revanche, si le modèle considéré envisage d'un point de vue approfondi l'étude du système musculaire, alors l'équipe « Sport et Santé » pourrait plutôt s'insérer dans la deuxième équipe proposée intégrant l'ensemble effet neurologique-muscle-squelette.

D'une manière générale, il conviendrait que cette équipe définisse les détails du modèle autour duquel s'inscrit son projet, en précisant quelles parties du système elle privilégie pour le prochain quadriennal, afin de bien se positionner dans la restructuration des équipes suggérée par le comité.

Note de l'équipe	Qualité scientifique et production	Rayonnement et attractivité, intégration dans l'environnement	Stratégie, gouvernance et vie du laboratoire	Appréciation du projet
Non noté	Non noté	Non noté	Non noté	B

## 4.5 Equipe Biomécanique et système nerveux

### Projet

Le projet neurologie et réhabilitation qui est bien structuré, se propose l'analyse et l'évaluation après thérapeutique en utilisant les plateformes d'analyse de mouvement en création sur site et d'analyse neurophysiologique et imagerie médicale installées du CHU. Le projet s'articule sur 2 axes, l'un concerne l'analyse et la modélisation des troubles du mouvement liés à la parésie, spastique, au syndrome de parkinson, et de l'hydrocéphalie. Le second axe est plus centré sur l'évaluation des traitements, kinésithérapie, stimulation dans parkinson ou de la parésie.

Les porteurs de projet possèdent les compétences requises, avec des publications régulières dans des revues de spécialité. La plateforme du LBM est adaptée, une partie de l'équipement nécessaire est localisé sur le site hospitalier.

La pluridisciplinarité au sein de cette équipe quasiment autonome sur le plan scientifique (imagerie fonctionnelle du cerveau, analyse du mouvement, ergométrie, rééducation fonctionnelle) est un atout pour appréhender les relations entre les troubles de la commande et de la marche. Néanmoins, l'implication des orthopédistes mérite d'être plus explicitée.

Elle possède des plateformes technologiques appropriées au projet scientifique et le personnel technique approprié.



En ce qui concerne le projet d'intégration avec le LBM, on peut comprendre la complémentarité au niveau des disciplines et la volonté des deux équipes à s'associer, cependant sur le plan scientifique, il mérite d'être plus explicite (notamment sur la modélisation de la commande, les muscles..., comment utiliser les données obtenues par l'équipe émergente pour développer un modèle). A titre d'exemple, comment les données obtenues de l'imagerie fonctionnelle du cerveau, les mesures expérimentales effectuées sur le muscle en ergométrie... vont être utilisées par le LBM ?

*Points forts :*

- Dynamisme des cliniciens impliqués.
- Projet bien structuré, compétence acquise. Cohérence du programme avec le souhait du LBM d'approfondir la partie neurotransmission et modélisation.
- La cohérence médecine rééducation neurologie et LBM

*Points faibles :*

- Equipe émergente, pas de chercheurs EPST à temps plein dédié.
- Il s'agit d'une application du savoir faire du LBM, qui ne nécessite pas l'individualisation d'une équipe en soi.
- Nécessité de refocaliser sur une pathologie neurologique.
- Niveau en terme d'impact des publications des porteurs du projet
- Faible activité de publication des autres membres associés de l'équipe

Recommandations

Intégration de cette équipe émergente au sein d'une équipe plus large incluant des chercheurs en biomécanique. Mieux focaliser le projet sur une pathologie. Recruter des chercheurs sur cette thématique pour la crédibiliser sur un plan fondamental.

Note de l'équipe	Qualité scientifique et production	Rayonnement et attractivité, intégration dans l'environnement	Stratégie, gouvernance et vie du laboratoire	Appréciation du projet
Non noté	Non noté	Non noté	Non noté	B

## 5 • Analyse de la vie de l'unité

Il existe une stratégie collective de l'unité. Pour l'exemple on peut citer la mise en place des séminaires « publications » qui a permis de dynamiser la production scientifique de l'unité.

La gouvernance du laboratoire apparaît bien maîtrisée, les instances de concertation (comité de direction, conseil de laboratoire) fonctionnent bien et l'ambiance générale apparaît bonne. Par contre l'organisation des équipes dans l'unité et les relations de ces équipes avec un certain nombre de personnes extérieures au LBM est mal explicité dans le dossier, elle est donc difficile à appréhender.



## 6 • Conclusions

### *Points forts :*

- Le LBM développe une thématique originale en biomécanique du système osteo-articulaire avec une relation très forte avec le milieu clinique et le monde industriel.
- La mise en place et le développement du DEA puis du master de biomécanique par les enseignants chercheurs du LBM présentent un grand intérêt car :
  - Ce master constitue un vivier de qualité pour les doctorants du laboratoire.
  - Ce vivier constitué de mécaniciens et de médecins est ainsi plongé très tôt dans un environnement pluridisciplinaire.
  - Ce vivier très fidèle au laboratoire constitue à terme une source de liens potentiels vers le milieu de la recherche publique, le milieu hospitalier ou le milieu industriel concerné.
  - Ce vivier irrigue de façon très efficace l'ensemble des secteurs concernés en France avec une présence significative à l'international.
- La dernière évaluation avait conclu à un déficit de publications, la mise en place d'une politique volontariste de la part de la direction de l'unité, en particulier au travers du séminaire d'aide à la publication a été très efficace. Le laboratoire peut aujourd'hui présenter un bilan en matière de publications largement amélioré avec des publications d'un niveau correct. La répartition reste cependant assez hétérogène et il serait maintenant important de viser à élever le niveau des publications.
- Le laboratoire présente une bonne activité en matière de formation par la recherche avec des doctorants de bon niveau qui de façon générale trouvent facilement du travail en fin de thèse.
- Le laboratoire a continué à développer une politique en matière de valorisation très efficace. Le développement de la plateforme EOS est une très belle réussite dans ce domaine. La mise en place d'une équipe de valorisation dans le laboratoire a permis de mieux identifier et de clarifier les actions du laboratoire proches de l'ingénierie.
- Le laboratoire apparaît comme une structure très réactive vis-à-vis des sollicitations des cliniciens qui sont très demandeurs d'un appui pour le développement d'outils d'analyse ou d'évaluation clinique. L'intérêt de nombreux cliniciens à collaborer avec ce laboratoire apparaît évident.
- La gouvernance du laboratoire apparaît bien maîtrisée, les instances de concertation (comité de direction, conseil de laboratoire) fonctionnent bien et l'ambiance générale apparaît bonne, même si les ITA font état d'une surcharge de travail, liée en partie au dynamisme du laboratoire.

### *Points faibles :*

- Le projet de structuration du laboratoire en cinq équipes n'apparaît pas crédible en raison d'un effectif qui restera limité malgré l'arrivée de nouveaux membres. Le projet doit donc être recentré sur des axes forts et bien identifiés.
- Le développement du projet scientifique passe certainement par une plus grande implication dans une thématique « matériau » en s'appuyant sur des coopérations pertinentes avec des laboratoires ayant cette compétence.
- Le nombre de HDR dans le domaine de la biomécanique reste faible.
- Tous les doctorants devraient publier dans les mois qui suivent leur soutenance (actuellement seuls 84% d'entre eux le font).

### Recommandations

Le bilan du laboratoire apparaît positif avec en particulier une évolution significative de la production scientifique et le maintien d'une valorisation forte de la recherche en particulier en milieu clinique.

Par contre le projet proposé bien qu'apportant des éléments nouveaux intéressants sur le plan scientifique doit être reconstruit dans le cadre d'une structuration plus visible et plus crédible en se basant sur les compétences du laboratoire et en faisant évoluer les thématiques actuelles vers une thématique plus large.



Ce projet pourrait être défini sur les deux axes suivants :

1. Biomécanique du système ostéo-articulaire.

Cette thématique, dans la continuité de l'activité scientifique actuelle devrait s'étendre à la modélisation des disques intervertébraux ce qui nécessiterait de renforcer la compétence matériau du laboratoire.

2. Modélisation de l'ensemble complet : commande neurophysiologique, muscles, squelette. Ce deuxième axe qui permettrait d'élargir les thématiques actuelles du LBM mettrait en place ou amplifierait les activités scientifiques portant sur les interactions entre le contrôle moteur et le système musculaire d'une part et entre le système musculaire et le système ostéo-articulaire d'autre part.

Les deux équipes hospitalo-universitaires souhaitant rejoindre le LBM pourraient s'inscrire dans ce schéma. En particulier les neurophysiologistes de Paris 12 trouveraient tout naturellement leur place dans l'axe 2 et les enseignants chercheurs de Paris 13 travaillant sur la thématique « sport-santé » devraient trouver le meilleur positionnement dans l'un ou l'autre axe.

Sur le plan des ressources humaines, l'urgence est aujourd'hui de formaliser la succession du responsable de l'équipe « biomécanique des tissus » en terme de personne et de projet. De plus il est nécessaire de renforcer le potentiel humain par le recrutement de chercheurs statutaires (CNRS ou INSERM). Le LBM doit développer une politique dans ce sens.

Il faudra clarifier le potentiel humain de recherche dans chaque équipe en différenciant bien les enseignants chercheurs ou chercheurs statutaires. La présence de chercheurs mal identifiés ou sans statut (« autre ») doit être évitée.

Toutes les actions ponctuelles qui ne relèveraient pas des deux thématiques proposées plus haut qui sont souvent proches d'une activité d'ingénierie seront rattachées à la cellule « valorisation ».

Note de l'unité	Qualité scientifique et production	Rayonnement et attractivité, intégration dans l'environnement	Stratégie, gouvernance et vie du laboratoire	Appréciation du projet
A	A	A	A	B

**Commentaires au pré-rapport d'évaluation de l'AERES**  
**Laboratoire de Biomécanique – Arts et Métiers Paris Tech – CNRS UMR 8005**  
Date : 11-12 février 2009

Nous remercions le comité d'évaluation et son président, et faisons parvenir ci-joint les commentaires. Certains correctifs de détail sont apportés directement dans le document en mode révision. Nous reprenons ci après deux points principaux, qui nécessitent un argumentaire plus long, suivis des autres points plus ponctuels qui appellent un commentaire.

Publications : (point 3 page 4 et point 6 page 11)

Dans la partie 3 : *Analyse globale de l'unité, ...*, il est mentionné :

*« Tous les enseignants chercheurs ayant une mission de recherche bien identifiée présentent une bonne activité de publications et peuvent tous être considérés comme publiants. On peut cependant remarquer que sur les 53 publications du laboratoire, la très grande majorité est publiée dans des revues de biomécanique, chaque article étant de longueur limitée (5 à 6 pages) et le nombre d'auteurs élevé (5 à 7 auteurs). Il serait bien dans le futur d'élever le niveau des publications et de viser certaines publications dans des revues à plus large audience ».*

Nous ne comprenons pas la réserve émise: le nombre total de publications a doublé, le nombre de publications internationales est de 63, et il est normal que la grande majorité des publications soit dans le domaine de la biomécanique! La longueur des articles est la longueur recommandée dans ces revues (environ 3000 mots) et le nombre d'auteurs est le nombre classique dans les domaines pluridisciplinaires, c'est le cas d'experts de référence dans ce domaine.

Quant au niveau des publications c'est probablement de facteur d'impact qu'il s'agit? Car plusieurs publications se font dans les revues de référence d'un excellent niveau, bien que leur facteur d'impact soit plus faible que dans des domaines visant un public plus large.

Ne serait- il pas plus juste de formuler ce point de la manière suivante :

***« le laboratoire est félicité pour sa belle progression en publications. Il est encouragé à poursuivre dans cette voie, en veillant à augmenter le facteur d'impact moyen des publications ».***

Ce point concernant les publications est également mentionné dans la partie 6 : conclusion :

- *« La dernière évaluation avait conclu à un déficit de publications, la mise en place d'une politique volontariste de la part de la direction de l'unité, en particulier au travers du séminaire d'aide à la publication a été très efficace. Le laboratoire peut aujourd'hui présenter un bilan en matière de publications largement amélioré avec des publications*



*d'un niveau correct. La répartition reste cependant assez hétérogène et il serait maintenant important de viser à élever le niveau des publications. »*

La référence à la dernière évaluation est inexacte : le bilan du comité d'évaluation (2004) mentionnait : « l'avis est unanime quant à la qualité du laboratoire... Le LBM a bien suivi les recommandations en augmentant le nombre de publications... » L'avis de la DR mentionnait **en point positif** « le nombre important de publications ». Seul l'avis complémentaire DR/MSTP mentionnait : « la production scientifique reste modeste avec une progression à signaler ». Nulle part il n'est donc fait mention d'un déficit en publications.

Nous trouvons **particulièrement sévère de qualifier de tout juste correct** le niveau des publications lorsque nombre d'entre elles est réalisé dans les revues de référence dont le taux de rejet est élevé (75% pour J. Biomechanics par exemple). Il me semble important de différencier l'impact factor (associé à l'audience) et le niveau (une revue comme Stapp Car Crash Journal par exemple étant reconnue comme d'excellent niveau dans le domaine de la biomécanique des chocs alors que son impact factor est très faible, compte tenu du public très ciblé visé par la revue et de sa diffusion relativement restreinte)

#### Projet scientifique et structuration du Laboratoire

Nous suivons les recommandations du comité d'évaluation et une réflexion approfondie, à partir du rapport d'évaluation, nous conduit à proposer une structuration en trois équipes : Les équipes « *Modélisation musculosquelettique et recherches cliniques* » et « *biomécanique et système nerveux* » sont maintenues, et une équipe « *Biomécanique : Sport, Santé et Sécurité* » regroupera les équipes Biomécanique des chocs et Biomécanique : Sport et Santé. Cette nouvelle équipe serait dirigée par Patricia Thoreux.

Les chercheurs et doctorants de l'équipe « Biomécanique des tissus » sont répartis entre les équipes et nous ferons apparaître au niveau de l'affichage une thématique transverse plutôt qu'une équipe. Ceci n'affectera pas la dynamique d'ensemble en raison de la multi-appartenance des membres de cette équipe. Le rapport souligne effectivement l'urgence d'un recrutement, celui-ci est prévu mais pour des raisons administratives (délai d'un an entre le départ d'un PU et la possibilité d'utiliser son poste pour un recrutement permanent), le poste n'est pas encore ouvert. Une ATER apporte un appui temporaire dans cette thématique. Nous avons l'engagement de la direction générale pour une ouverture du poste en septembre.

Nous afficherons également une thématique transverse autour du mouvement et du handicap, très liée aux aspects musculaires qui constituent effectivement une priorité en recherche sur le plan fondamental, et dont l'étude se décline de manière complémentaire dans les différentes équipes.

Quant à l'équipe Biomécanique et système nerveux, comme cela a été souligné par le comité d'évaluation, celle-ci gagnerait à être consolidée par des chercheurs ou des enseignants chercheurs en sciences de l'ingénieur. L'autre priorité sera donc un recrutement MCF ou CR





d'un automaticien, nous nous engageons à tout faire pour pouvoir rapidement bénéficier d'un poste permanent de l'une des autorités de tutelle de l'équipe. Néanmoins il nous semble indispensable de maintenir cette équipe (équipe 3), différenciée de l'équipe 1, même si des chercheurs se trouvent actuellement à l'interface entre l'équipe « modélisation et recherches cliniques » et cette équipe 3, pour assurer l'appui scientifique nécessaire en sciences de l'ingénieur (le premier doctorant est codirigé par W. Skalli et Ph. Decq), et un post doctorant est à 30% affecté à l'équipe. Nous considérons que cette équipe « Biomécanique et système nerveux » ouvre vers de nouveaux interfaces : les **neurosciences** d'une part, **l'automatique et la robotique** d'autre part, essentielles pour progresser dans la compréhension de la commande et des capteurs proprioceptifs. Par exemple, les recherches en imagerie fonctionnelle du cerveau et mouvement du sujet sont des recherches exploratoires qui pour l'instant sont tout à fait fondamentales et pourraient s'avérer d'un intérêt majeur pour progresser dans la compréhension de la commande motrice et de ses troubles. Intégrer cette équipe à l'équipe 1 conduirait à une dispersion pour cette dernière (dont la diversité des thèmes abordés est soulignée comme déjà très large et est évoquée comme un point faible), alors que le maintien d'une équipe dédiée à la thématique système nerveux et mouvement permettra une dynamique importante sur une thématique porteuse. Cette stratégie comporte certes une part de risque, mais n'est-il pas demandé de favoriser les recherches d'interface sur des sujets émergents ? Compte tenu de la qualité des résultats de recherche obtenus au cours de ce quadriennal et des progrès soulignés par le comité, nous demandons à nos autorités de tutelle de nous faire confiance dans cette proposition et d'accepter la structuration que nous proposons.



Wafa Skalli

#### Ci après suivent des commentaires plus ponctuels

*Page 5, § 4 (Bilan Equipe 1), il est noté en point faible : « thématiques de recherche variées, bien qu'ayant toutes une relation avec la problématique de la biomécanique musculo-squelettique, ceci pouvant engendrer une dilution des ressources » :*

Il nous semble au contraire que c'est la diversité d'approches, avec une concentration thématique autour de la biomécanique du système musculosquelettique, qui est une richesse et qui a permis les progrès soulignés dans le bilan.

*Page 6, § 1 (Projet Equipe 1), il est noté en point faible « les développements prévus sur EOS apparaissent seulement incrémentaux. Il n'y a pas de réelle nouvelle idée proposée »*



EOS a constitué une innovation majeure et une véritable rupture, et il est bien connu qu'une telle rupture ne peut être renouvelée tous les 4 ans: cependant un axe de progrès majeur, qui est précisé dans le projet, concerne le développement de modèles volumiques personnalisés, qui, conjointement avec la multiénergie in vivo, permettront à la fois de gagner encore en précision dans les reconstructions et d'évoluer vers la caractérisation des propriétés mécaniques de l'os à partir d'EOS. Par ailleurs, EOS a permis de lever un verrou relatif à la reconstruction 3D du système ostéoarticulaire en position érigée, les recherches s'appuient maintenant sur ces reconstructions pour progresser sur la compréhension de la biomécanique de ce système intact, lésé et restauré.

*Page 6, § 1 (Recommandations), il est noté : « D'un point de vue général, il conviendra enfin de ne pas réduire les différents projets d'interface clinique comme des prestations de service factuelles aux praticiens mais comme de véritables collaborations scientifiques avec un meilleur affichage des avancées scientifiques obtenues ou attendues (physiopathologie, métrologie).*

Le nombre de publications scientifiques de qualité montrent qu'il s'agit bien là de véritables collaborations scientifiques : l'affichage des avancées scientifiques ne se fait-il pas au travers des publications?

**Remarque de Jean-Paul HAUTIER concernant les chercheurs non statutaires et le renforcement.**

Il convient de rappeler au comité que nous sommes dans un établissement d'enseignement supérieur contraint par les nécessités d'enseignement. Ainsi, la masse d'enseignants-chercheurs est elle-même bornée et il s'agit ensuite d'établir une répartition entre les diverses unités, qui ne soient pas antinomiques avec les profils de formation. En conséquence, le recours aux chercheurs contractuels est une politique de substitution pour un laboratoire dynamique et j'y souscris, sachant que le Directeur de laboratoire emporte la responsabilité d'un bon équilibre dans les activités.

Validé par JP Hautier, Directeur général le 7 avril 2009

