



**HAL**  
open science

**LBM - Laboratoire de biomécanique arts et métiers**  
**ParisTech**  
Rapport Hcéres

► **To cite this version:**

Rapport d'évaluation d'une entité de recherche. LBM - Laboratoire de biomécanique arts et métiers ParisTech. 2013, Arts et métiers Paristech - Ecole nationale supérieure des arts et métiers, Centre national de la recherche scientifique - CNRS. hceres-02030940

**HAL Id: hceres-02030940**

**<https://hal-hceres.archives-ouvertes.fr/hceres-02030940>**

Submitted on 20 Feb 2019

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

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



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

Section des Unités de recherche

Evaluation de l'AERES sur l'unité :

Laboratoire de BioMécanique

LBM

sous tutelle des  
établissements et organismes :

Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

Centre National de la Recherche Scientifique



Décembre 2012



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

Section des Unités de recherche

Le Président de l'AERES

**Didier Houssin**

Section des Unités  
de recherche

*Le Directeur*

**Pierre Glaudes**



# Notation

À l'issue des visites de la campagne d'évaluation 2012-2013, les présidents des comités d'experts, réunis par groupes disciplinaires, ont procédé à la notation des unités de recherche relevant de leur groupe (et, le cas échéant, des équipes internes de ces unités). Cette notation (A+, A, B, C) a porté sur chacun des six critères définis par l'AERES.

NN (non noté) associé à un critère indique que celui-ci est sans objet pour le cas particulier de cette unité ou de cette équipe.

**Critère 1 - C1** : Production et qualité scientifiques ;

**Critère 2 - C2** : Rayonnement et attractivité académique ;

**Critère 3 - C3** : Interaction avec l'environnement social, économique et culturel ;

**Critère 4 - C4** : Organisation et vie de l'unité (ou de l'équipe) ;

**Critère 5 - C5** : Implication dans la formation par la recherche ;

**Critère 6 - C6** : Stratégie et projet à cinq ans.

Dans le cadre de cette notation, l'unité de recherche concernée par ce rapport et ses équipes internes ont obtenu les notes suivantes.

- Notation de l'unité : **Laboratoire de BioMécanique Arts et Métiers ParisTech**

C1	C2	C3	C4	C5	C6
A+	A	A	A	A+	A

- Notation de l'équipe : **Modélisation neuro-musculo-squelettique, innovation clinique et chirurgicale**

C1	C2	C3	C4	C5	C6
A+	A	A	NN	A+	A

- Notation de l'équipe : **BioMécanique : Sport, santé et sécurité**

C1	C2	C3	C4	C5	C6
A+	A	A	NN	A+	A

- Notation de l'équipe : **BioMécanique et système nerveux, analyse et restauration du mouvement**

C1	C2	C3	C4	C5	C6
A	A	A	NN	NN	NN



# Rapport d'évaluation

Nom de l'unité : Laboratoire de Biomécanique

Acronyme de l'unité : LBM

Label demandé : EA

N° actuel : EA 4494

Nom du directeur  
(2012-2013) : M<sup>me</sup> Wafa SKALLI

Nom du porteur de projet  
(2014-2018) : M. Philippe ROUCH

## Membres du comité d'experts

Président : M. Philippe GORCE, Université du Sud Toulon Var

Experts : M<sup>me</sup> Laurence CHEZE, Université Lyon 1 (représentant du CNU)

M<sup>me</sup> Valérie DEPLANO, IRPHE UMR 7342, Marseille

M. Didier MAINARD, CHU-Nancy, Université de Lorraine

M. Dominique PIOLETTI, UPFL, Université de Lausanne, Suisse

M. Rachid RAHOUADJ, LEMTA UMR 7563, Université de Lorraine

Délégué scientifique représentant de l'AERES :

M. Jean-Pierre BRANCHER

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

M. EL MANSOURI, directeur de la Recherche, ENSAM

M. Joel DUMAS, directeur UFR, Paris 13



## 1 • Introduction

Le laboratoire de Biomécanique (LBM) des Arts & Métiers ParisTech est une équipe d'accueil structurée en trois équipes de recherche. L'unité créée en 1979 développe des recherches sur la biomécanique neuro-musculo-squelettique. Les trois équipes recouvrent des compétences disciplinaires fortes dans les domaines de la biomécanique, de la santé, de la sécurité et du sport en allant de la modélisation géométrique et mécanique du système musculo-squelettique, à la caractérisation expérimentale in vitro de ce système et à des méthodes quantitatives d'exploration du vivant.

La gouvernance de l'unité est assurée par un conseil de laboratoire qui se réunit deux fois par an. En plus de cette instance statutaire, le LBM s'est doté d'instances de concertation et d'animation caractérisées par un comité de direction comprenant le directeur, les responsables des trois équipes et les responsables des cellules « vie scientifique », « communication » et « vie du laboratoire ». Ce comité se réunit régulièrement pour le fonctionnement courant et veille à l'animation scientifique et à la qualité de la communication interne et externe au sein de l'unité.

### Effectifs de l'unité

Effectifs de l'unité	Nombre au 30/06/2012	Nombre au 01/01/2014	2014-2018 Nombre de produisants du projet
<b>N1</b> : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés	12 (6 ETP)	14 (5,2 ETP)	14
<b>N2</b> : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés	0	0	0
<b>N3</b> : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)	6 (1,5 ETP)	3 (1 ETP)	3
<b>N4</b> : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)	3 (1,2 ETP)	2 (1,2 ETP)	2
<b>N5</b> : Autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.)	9 (5 ETP)	6 (5 ETP)	6
<b>N6</b> : Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)	0	0	0
<b>TOTAL N1 à N6</b>	30	25	25

Taux de producteurs	100 %
---------------------	-------

Effectifs de l'unité	Nombre au 30/06/2012	Nombre au 01/01/2014
Doctorants	18	
Thèses soutenues	28	
Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité *	1	
Nombre d'HDR soutenues	2	
Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	10	11



## 2 • Appréciation sur l'unité

Le LBM développe des recherches originales et pertinentes dans les domaines de la biomécanique, de la santé, de la sécurité et du sport. La démarche de recherche se situe dans l'interaction entre cliniciens et chercheurs de formation en ingénierie, avec un partenariat industriel fort (en particulier avec EOS Imaging) qui confère à l'unité une place originale au niveau national avec un bon rayonnement international.

Le laboratoire a obtenu des résultats marquants et la production scientifique est de bonne qualité. La recherche partenariale est très bien développée avec un fort volant de contrats privés et de projets ANR, la participation aux programmes européens étant plus modeste. La formation doctorale est soutenue et de très bonne qualité. Le laboratoire est présent dans les structures nationales d'animation scientifique et est très attractif vis-à-vis des candidats au recrutement. Il dispose de plates-formes expérimentales originales et performantes traduisant le savoir-faire des chercheurs, des ingénieurs et des personnels techniques. Les membres de l'unité sont fortement impliqués dans les structures de formation de l'ENSAM notamment dans la mise en place et les enseignements du Master International (ParisTech) « Biomedical Engineering ». Le projet scientifique se positionne autour des compétences fortes de l'unité ; il vise à s'intégrer dans la thématique « Biomécanique et Ingénierie pour la santé » du réseau Arts et Métiers et à faire du LBM le leader de ce réseau.

L'unité dispose de la structuration nécessaire, de moyens importants, des compétences scientifiques et des savoir-faire forts pour mener à bien le projet proposé.

### Points forts et possibilités liées au contexte

Les points forts sont :

- un appui important des tutelles caractérisé par la volonté de placer le LBM en leader au sein du réseau Arts et Métiers pour la thématique « Ingénierie pour la santé »;
- Une rénovation et une extension des locaux du laboratoire (2000 m<sup>2</sup> dédiés);
- Une bonne production scientifique;
- Une très forte activité contractuelle;
- Une durée des thèses bien maîtrisée, une formation doctorale de bonne qualité appréciée par les doctorants;
- Une forte implication dans les institutions nationales et dans l'animation scientifique;
- Une bonne analyse stratégique ayant conduit pour le projet à une reconfiguration d'équipes appropriée;
- Un bon rayonnement international;
- Un accueil de cliniciens renforcé grâce à une convention avec l'AP-HP en cours de signature.

### Points à améliorer et risques liés au contexte

- La part des contrats, notamment européens, est modeste par rapport à celle relative aux projets ANR;
- La politique de CDD et de sous-traitance, inhérente au financement sur projets, est parfois préjudiciable à la pérennisation des savoir-faire;
- Les participations aux comités éditoriaux de revues sont modestes;
- Le nombre de chercheurs étrangers invités et des post-doc étrangers est faible .

### Recommandations

Il est recommandé de :

- maîtriser la politique contractuelle pour préserver la recherche amont, pour éviter la dispersion thématique et pour ne pas fragiliser les fondamentaux;
- Poursuivre la politique visant à faire émerger de nouveaux chercheurs pour prendre le relais, en termes de responsabilités scientifiques, des chercheurs confirmés se rapprochant de la fin de carrière;
- Encourager la soutenance d'HDR;
- Favoriser les projets inter-équipes via des ressources internes et la recherche de financements externes; .
- Mener une réflexion avec le conseil de laboratoire sur son rôle et ses attentes vis-à-vis de la gouvernance de l'unité;
- Analyser les charges des ITA et procéder à des rééquilibrages lorsque cela est nécessaire et possible.



### 3 • Appréciations détaillées

L'unité développe des recherches originales et pertinentes dans les domaines de la biomécanique, de la santé, de la sécurité et du sport. Elle occupe ainsi une place originale au niveau national. Des résultats marquants ont été obtenus dans ces différents domaines. La production scientifique de l'unité est de bonne qualité. Entre 2007 et 2011, l'unité a produit 140 articles dans des revues à comité de lecture (129 revues internationales et 11 revues nationales) ainsi que 212 communications dans des conférences (112 internationales et 100 nationales) avec actes et comité de lecture. La majorité des publications paraît dans les meilleures revues et conférences internationales des domaines couverts par l'unité. Cette production correspond à un bon ratio de 1,075 articles de revues/chercheur permanent/an et 0,93 conférences avec actes/chercheur permanent/an. Ces ratios passent respectivement à 2,15 et à 1,86 si l'on décompte les enseignants-chercheurs à la quotité de 50% (ETPT).

Il faut également souligner le dépôt de 6 brevets associés à une très forte activité contractuelle. En effet, le budget consolidé annuel moyen (1,3 M € sur la période 2007-2011) est en constante augmentation. Sur la période 2010-2011 la répartition moyenne des ressources est : projets nationaux et internationaux 33%, masse salariale 29%, contrats privés 14%, licence 12%, chaire Biomecam 9%, pôle de compétitivité 2% et dotation directe 1%.

L'encadrement doctoral est conséquent avec 28 thèses soutenues lors des quatre dernières années soit environ 2,8 thèses par HDR et la formation doctorale est appréciée. Le laboratoire réussit remarquablement à contrôler la durée des thèses dont la moyenne est de 3 ans et 4 mois. Les 18 thèses en cours, à la date de dépôt du dossier, sont toutes financées : 2 CIFRE, 5 financements pour étrangers, 4 AP-HP, 8 autres financements (contrats).

L'unité dispose d'un bon rayonnement international au travers de ses trois équipes. Plusieurs chercheurs seniors ont été distingués par les sociétés savantes (pour exemple Société de Biomécanique), des doctorants ont reçu un prix de thèse (Prix de thèse Pierre Bézier, Prix de thèse ARGOS), un enseignant-chercheur a reçu le prix de l'Académie nationale de Chirurgie et deux autres chercheurs ont obtenu un prix international/national (Blount Humanitarian Award, Médaille d'argent de l'ENSAM). Les membres du laboratoire sont également très présents dans les structures nationales d'animation scientifique (Présidence de la Société de Biomécanique).

Le laboratoire est attractif vis-à-vis des candidats au recrutement : 1 professeur, 2 enseignants-chercheurs et 1 PRAG ont ainsi été recrutés durant le quadriennal. L'unité a également accueilli, durant la période 2007-2011, de très nombreux étudiants : 4 Master 1, 163 Master 2, 82 élèves ingénieurs et 3 post-doctorants.

De nombreux succès ont été obtenus aux appels à projets nationaux (8 ANR, 1 projet AFM, 1 projet OSEO, 1 projet Fondation Sécurité Routière et 1 projet Médicen) mais la part de projets internationaux est faible. Il faut toutefois mentionner la participation à deux réseaux européens (ISN, Idea-league), à 3 réseaux nationaux et à un groupe de recherche en biomécanique des chocs (ancien GDR). S'il est fait état de nombreuses collaborations nationales et internationales, leur nature est généralement peu explicitée dans le rapport.

Le laboratoire dispose de plusieurs plates-formes expérimentales très originales et performantes, développées en interne grâce à un remarquable savoir-faire des ingénieurs et personnels techniques.

Les membres de l'unité sont fortement impliqués dans les structures de formation du site Parisien notamment dans le cadre du Master International (ParisTech) « Biomedical Engineering » et ils sont nombreux à y avoir des responsabilités significatives. Les réformes scientifiques entreprises par le réseau Arts et Métiers au niveau national, l'affichage des priorités thématiques de l'établissement rendent naturellement visibles les disciplines importantes du laboratoire (Biomécanique et Ingénierie pour la santé) et sont une opportunité vis-à-vis de l'attractivité des étudiants et du maintien du potentiel enseignant-chercheur.

L'unité a procédé à une analyse stratégique de type forces, faiblesses, opportunités, menaces pour construire son projet. Celui-ci s'appuie sur des moyens communs importants et une évolution de la structuration en deux équipes. Une équipe figurant au bilan cesse son activité, les chercheurs de cette dernière sont répartis majoritairement dans l'équipe 1. Cette reconfiguration apparaît pertinente. Toutefois, le comité de visite a observé un déséquilibre en terme de production scientifique entre les différentes équipes qu'il faudra maîtriser lors du prochain quinquennal.

Le projet scientifique se positionne autour des compétences fortes de l'unité pour investiguer de nouvelles problématiques dans les domaines de la réalité virtuelle et des neurosciences pour la compréhension des mécanismes et risques lésionnels en position de conduite (en liaison avec la fondation sécurité routière), de la modélisation musculo-squelettique hybride (muscle + commande) dans le cadre du programme Cèdre de coopération Franco-Libanais. Une volonté forte de pérenniser et renforcer les collaborations nationales et internationales existantes, la participation à un réseau d'excellence européen (VPH Virtual Physiologic Human) et l'organisation d'une manifestation internationale (congrès CMBBE en 2014) témoignent des arguments dont dispose cette unité pour passer un cap majeur dans son développement.





L'unité dispose de la structuration nécessaire, de moyens importants, des compétences scientifiques et des savoir-faire pour mener à bien le projet proposé. Cependant, une attention particulière devra être portée sur la masse critique et le fait que le laboratoire reste de taille modeste au regard de ses objectifs et du standard des laboratoires nationaux. Le porteur de projet retenu par les instances de l'unité, fort de son importante expérience dans le pilotage de structure et du soutien scientifique de la direction sortante, a clairement convaincu le comité de visite de sa vision stratégique pour le développement du LBM. Le projet scientifique s'inscrit dans la dynamique d'unité mise en place par la direction actuelle qui est à féliciter, notamment par l'implication forte du LBM lors de la création du master BME, la labellisation de la plateforme technologique et d'innovation, la chaire BiomeCAM et la finalisation des travaux de rénovation et d'extension des locaux et cela dans un laps de temps très court.



## 4 • Analyse équipe par équipe

**Équipe 1 :** Modélisation musculosquelettique et innovation clinique

Nom du responsable : M<sup>me</sup> Wafa SKALLI

Effectifs :

Effectifs de l'équipe	Nombre au 30/06/2012	Nombre au 01/01/2014	2014-2018 Nombre de produisants du projet
<b>N1</b> : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés	7 (2,6 ETP)	8 (2,8 ETP)	8
<b>N2</b> : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés	0	0	0
<b>N3</b> : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)	0	0	0
<b>N4</b> : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)	1 (0,2 ETP)	1 (0,2 ETP)	1
<b>N5</b> : Autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.)	4 (4 ETP)	4 (4 ETP)	3
<b>N6</b> : Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)	1 (0,5 ETP)	1 (0,5 ETP)	0
<b>TOTAL N1 à N6</b>	13 (7,3 ETP)	14 (7,5 ETP)	12

Effectifs de l'équipe	Nombre au 30/06/2012	Nombre au 01/01/2014
Doctorants	12	
Thèses soutenues	16	
Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	1	
Nombre d'HDR soutenues	0	
Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	5	7



## • Appréciations détaillées

L'équipe « Modélisation musculosquelettique et innovation clinique » couvre de nombreux aspects (structure et commande) de la modélisation géométrique et mécanique personnalisée du système squelettique intact, lésé ou restauré. Les recherches concernent la modélisation à l'échelle du corps tout entier (modèle multicorps du système squelettique), de l'« organe » (segment vertébral, genou...) et du tissu. La démarche de recherche se situe dans l'interaction entre cliniciens et chercheurs de formation en ingénierie, avec un partenariat industriel très fort. Les travaux de recherche sont globalement plutôt pilotés par l'aval (besoins cliniques et industriels) et situés dans la suite logique de la thématique historique de l'équipe. Seize thèses ont été soutenues sur le quadriennal passé, 12 thèses étaient en cours à la date de dépôt du dossier. L'équipe a produit 98 articles de revues (soit un excellent ratio de 1,63 articles/chercheur permanent/an ou de 2,8 articles/ETPT/an), 116 articles de conférences (78 internationales et 38 nationales), (soit un excellent ratio de 1,93 conférences/chercheur permanent/an ou de 3,41 articles/ETPT/an) et a déposé 6 brevets. Les très nombreuses publications (nombre en forte progression) sont publiées dans des revues variées parmi les meilleurs journaux du domaine. L'équipe fait état d'une intense activité contractuelle et partenariale, le montant des contrats étant de 1,8 M€ sur le dernier quadriennal.

La reconfiguration d'équipes proposée au projet apparaît comme très pertinente. Elle permet de faire émerger des thématiques vers la modélisation multi-échelle et multi-physique d'une part, et sur la commande neuromusculaire d'autre part, pistes prometteuses pour élargir le spectre des recherches de l'équipe. Elle pourra permettre un meilleur équilibre entre recherches fondamentales et finalisées avec le développement de recherches plus amont si ces domaines sont soutenus au sein de l'équipe.

Cette équipe fait état de nombreuses invitations dans des congrès nationaux et internationaux, de nombreux prix (thèse, lors de congrès,...), de participations à plusieurs réseaux nationaux (Arts et Métiers ParisTech en ingénierie pour la santé, ParisTech en santé) et internationaux (Idea-League, Integrated Safety Network). Ce réseau est au crédit de l'équipe 2 (S.LAPORTE), l'implication de plusieurs membres dans des sociétés savantes nationales et internationales et l'implication forte de la directrice dans l'expertise auprès d'instances nationales (ANR, l'ANVAR, l'ANRT et PREDIT). L'accueil d'un chercheur australien de haut niveau pour deux années (financement Marie-Curie), d'un Post-Doctorant chinois et la participation d'un membre de l'Académie de Médecine montrent toute l'attractivité de cette équipe au plan national et international.

L'activité de transfert directement liée à l'activité scientifique de l'équipe a permis : la mise en place d'une cellule Relations Industrielles et Valorisation interne au laboratoire (qui s'appuie sur un organisme labellisé Carnot), des chaires financées par des partenaires privés (Société Générale, Fondation Cotrel, Proteor, Covea) et a contribué au développement international de la société EOS Imaging. Enfin, la démarche qualité est très présente dans l'ensemble des travaux de l'équipe.

Le suivi des doctorants est très satisfaisant et la mise en place de séminaires « publications » pour favoriser la valorisation de leurs travaux est appréciable. La plupart d'entre eux participent activement à l'encadrement de projets de PFE et Masters. Ces encadrements représentent une part importante des charges d'enseignement des membres de l'équipe et des doctorants bénéficiant d'un « monitorat ». Plusieurs membres de cette équipe ont une participation active dans la mise en place et les enseignements du Master International (ParisTech) « Biomedical Engineering ».

L'avis global sur le bilan et le projet scientifique de l'équipe est très positif.

### Points forts et opportunités

- Très bonne production scientifique (très forte progression lors du quadriennal) ;
- Partenariat industriel très fort (en particulier avec EOS Imaging);
- Une durée des thèses bien maîtrisée;
- Une forte implication dans les institutions nationales et dans l'animation scientifique;
- Bon rayonnement international.

### Points à améliorer et risques

- La présentation des recherches de l'équipe ne met pas ou peu en avant leur positionnement vis-à-vis des travaux d'autres équipes sur les mêmes thématiques au niveau national et international;
- Nombre important de collaborations, contrats et projets ANR par rapport à la taille de l'équipe.



## Recommandations

- Analyser la charge des chercheurs contractuels et des ITA et procéder à des rééquilibrages lorsque cela est possible et nécessaire;
- Clarifier la politique scientifique (stratégie de publication et de transfert, congrès et revues visés, type de reconnaissance visée,...), et bien positionner les travaux dans un contexte international.

**Équipe 2 :** Biomécanique : Sport, santé et sécurité

**Nom du responsable :** M<sup>me</sup> Patricia THOREUX & M. Sébastien LAPORTE

**Effectifs :**

Effectifs de l'équipe	Nombre au 30/06/2012	Nombre au 01/01/2014	2014-2018 Nombre de producteurs du projet
<b>N1</b> : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés	6 (2.4 ETP)	6 (2,4 ETP)	6
<b>N2</b> : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés	0	0	0
<b>N3</b> : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)	1 (0.5 ETP)	2 (1 ETP)	0
<b>N4</b> : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)	2 (1 ETP)	1 (1 ETP)	1
<b>N5</b> : Autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.)	1 (1 ETP)	2 (1 ETP)	2
<b>N6</b> : Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)	0	0	0
<b>TOTAL N1 à N6</b>	10 (4,9 ETP)	11 (5,4 ETP)	9

Effectifs de l'équipe	Nombre au 30/06/2012	Nombre au 01/01/2014
Doctorants	6	
Thèses soutenues	8	
Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	0	
Nombre d'HDR soutenues	2	
Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	5	5



## • Appréciations détaillées

Les recherches menées par l'équipe 2 entre 2007 et 2011 se sont déclinées selon deux axes, l'un portant sur le sport et la santé, l'autre sur la sécurité. Les études ont été réalisées en synergie avec le monde clinique et reflètent bien la composition de cette équipe où 2 PU-PH et 1 MCU-PH participent aux recherches. Le développement d'une convention avec l'AP-HP a fortement encouragé cette synergie.

Les travaux menés sur l'axe 1 se sont focalisés sur la modélisation du sportif handicapé et de son interaction avec son matériel de suppléance afin de l'optimiser. Ces études, plutôt pilotées par projets, ont été réalisées à l'aide d'analyses cinématiques des mouvements du sportif et de son matériel en comparaison avec des développements analytiques. Les avancées sur cette thématique ont essentiellement porté sur des préconisations de réglage de fauteuil en vue d'optimiser le geste sportif.

Les travaux entrepris dans l'axe 2 se sont intéressés à la modélisation du complexe tête cou en dynamique. Basé sur les modèles géométriques mis en œuvre par l'équipe 1, sur des développements réalisés afin de géométriquement modéliser les muscles et leur insertion mais également sur des caractérisations mécaniques ex vivo de muscles, l'objectif était de proposer des simulations plus réalistes de la contraction musculaire et de ses effets sur le complexe tête cou en dynamique. Les avancées pendant la période 2007-2011 ont porté sur les mises en œuvre de protocoles d'essais spécifiques aux matériaux vivants et d'un modèle en éléments finis paramétré et volumique du complexe tête cou avec prise en compte des muscles.

Il est important de noter que l'équipe 2 utilise en bonne intelligence les développements faits par l'équipe 1 autour du système EOS leur permettant ainsi d'avoir accès à des modèles patients spécifiques.

Les travaux menés par cette équipe ont donné lieu à 19 RCLI (soit un ratio de 0,42 articles/chercheur permanent/an ou de 0,86 articles/ETPT/an) dans des revues internationales de bonne facture émergeant aux communautés biomécanique et clinique reflétant ainsi parfaitement la composition de l'équipe (pour exemple : Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, Journal of Engineering in Medicine, Spine, Journal of Rehabilitation Research and Development, Journal of Biomechanics, Gait and Posture...), 7 chapitres d'ouvrage, 41 communications dans des congrès internationaux (soit un ratio de 1,17 articles/chercheur permanent/an ou de 1,86 articles/ETPT/an), 24 dans des congrès nationaux et 15 communications invitées ont également été réalisées entre 2007 et 2012. Sans que la qualité de cette production scientifique ne soit remise en question, il apparaît un certain déséquilibre quantitatif par rapport à l'équipe 1.

Ces travaux ont pour partie été réalisés dans le cadre de collaborations avec le LABLAB du Pr Cappozzo (Rome), plusieurs laboratoires de l'IFSTTAR, l'IM2 de Bordeaux, le LAMIH de l'Université de Valenciennes et d'une convention avec l'INSEP. Les membres de l'équipe 2 ont participé à 4 projets ANR (dont un en collaboration avec l'équipe 1) ainsi qu'à un projet avec la fondation pour la sécurité routière. Ce taux de réussite est notable et l'équipe 2 peut se féliciter de son succès en réponses aux appels d'offres de sa communauté.

Les membres de l'équipe 2 sont présents dans de nombreux réseaux nationaux et internationaux en lien avec leurs activités scientifiques ; on citera notamment leur participation active dans la société française de biomécanique (Présidence), le groupe de recherche en biomécanique des chocs, la société française de traumatologie du sport (Vice-présidence), l'European Federation of Orthopaedic and Sport Trauma et l'Integrated Safety Network.

Les membres de l'équipe 2 participent activement à l'encadrement et à l'accompagnement de leurs étudiants en thèse. Le suivi des doctorants en liaison avec l'ED432 « Sciences des Métiers de l'Ingénieur » commune aux Arts et Métiers ParisTech et aux Mines ParisTech, semble être une réussite. Plusieurs membres de cette équipe sont fortement impliqués dans le Master « Biomedical Engineering » commun à ParisTech et à l'Université Paris Descartes que ce soit dans la direction du master, dans la spécialité « Biomechanics et Biomaterials » ou dans le parcours « Impact and injury mechanism ». Cette implication accroît l'attractivité de l'équipe auprès des étudiants. Un des membres de l'équipe est responsable de l'ensemble des enseignements de médecine et traumatologie du sport en Ile de France.



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

La volonté d'établir plus de transversalité entre les thématiques Sport, Santé et Sécurité a conduit l'équipe 2 à proposer un changement de nom de « Biomécanique : Sport, santé et sécurité » en « Comportement dynamique et endommagement : Sport, Santé et Sécurité ». L'intention de se regrouper autour d'un objectif commun : l'analyse et la modélisation des mécanismes d'endommagement de l'appareil locomoteur est fort pertinent. Toutefois, les applications des thématiques sport et sécurité restent assez diverses et malgré un « chapeau » commun, les méthodologies et outils déployés sont, pour l'instant, peu partagés ; cependant la synergie affichée entre les membres de l'équipe pourrait, peut-être, devenir un moteur suffisant pour aboutir à une meilleure transversalité. Cela permettrait notamment de converger vers des verrous scientifiques communs et de les aborder avec plus de force.

Le projet de l'équipe 2, partie sport et santé, s'inscrit dans la continuité de l'analyse du geste sportif avec un effort porté sur l'étude des relations entre pratique sportive et remaniements musculo-squelettiques. Pour cela, analyses cinématique et physiologique du sportif en situation de pratique et modélisation dynamique personnalisée seront associées. Cet axe sera décliné sous la forme d'applications. Tout d'abord des travaux portant sur l'analyse des phases d'appui d'un sport d'art martial comme le Kung Fu avec pour objectif d'améliorer les techniques d'entraînement. Sera également étudiée l'influence des propriétés mécaniques du sol sur les actions mécaniques inter segmentaires du sportif (rugbymen) qui par l'intermédiaire de modèles du système musculo-squelettique développés par l'équipe 1 au travers d'EOS, permettront de remonter aux efforts musculaires et intra articulaires pour explorer les mécanismes d'endommagement. Enfin les effets adaptatifs du tissu osseux aux contraintes exercées par la pratique sportive de jeunes adolescents (football) seront étudiés en collaboration avec le Centre National de Clairefontaine.

En prolongement de la précédente période, la partie sécurité se focalisera tout d'abord sur la modélisation paramétrée en situation de conduite en tenant compte des contractions musculaires et du comportement neurophysiologique qui pilote la contraction des muscles. Une deuxième thématique sera développée sur la modélisation du comportement de l'os spongieux. Sur cette dernière partie, les verrous semblent identifiés avec des caractérisations mécaniques ex vivo, le développement d'un modèle de comportement représentant la fracture, l'étude de l'influence de la micro architecture sur les dispersions des caractéristiques mécaniques ainsi que la définition d'un critère macroscopique de rupture.

Etant donné les forces en présence et la compétitivité de certains sujets, le projet peut paraître un peu trop ambitieux entre modélisations neurophysiologique, caractérisations mécaniques des milieux vivants, modèle de fracture, et influence de la microarchitecture.

### Points forts et possibilités liées au contexte :

- Equipe jeune, dynamique avec du potentiel;
- Synergie avec la clinique;
- Utilisation et exploitation du système EOS à bon escient;
- Qualité des doctorants.

### Points à améliorer:

- Articulation entre recherche fondamentale et recherche finalisée à améliorer;
- Positionnement des recherches par rapport aux communautés nationale et internationale;
- Collaborations internationales.

### Recommandations :

- Améliorer la transversalité entre les deux axes de cette équipe.



**Équipe 3 :** Biomécanique et système nerveux, analyse et restauration du mouvement

**Nom du responsable :** MM. Philippe DECO et Jean-Michel GRACIES

**Effectifs :**

Effectifs de l'équipe	Nombre au 30/06/2012	Nombre au 01/01/2014	2014-2018 Nombre de produisant du projet
<b>N1</b> : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés	2 (1 ETP)	0	
<b>N2</b> : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés	0	0	
<b>N3</b> : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)	1 (1 ETP)	0	
<b>N4</b> : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)	0	0	
<b>N5</b> : Autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.)	0	0	
<b>N6</b> : Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)	0	0	
<b>TOTAL N1 à N6</b>	3 (2 ETP)	0	

Effectifs de l'équipe	Nombre au 30/06/2012	Nombre au 01/01/2014
Doctorants	2	
Thèses soutenues	2	
Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	0	
Nombre d'HDR soutenues	0	
Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	2	0



## • Appréciations détaillées

Les recherches menées par l'équipe 3 entre 2007 et 2011 concernent l'analyse des troubles du mouvement liés à des pathologies neurologiques handicapantes (e.g. parésie spastique, syndromes parkinsoniens, troubles moteurs de l'hydrocéphalie). L'objectif premier consiste à améliorer la compréhension des mécanismes de perturbation de la commande de l'effecteur musculo-squelettique dans les affections neurologiques centrales du mouvement. La modélisation et la restauration des désordres de la commande neurologique du mouvement sont ensuite prises en compte. La dernière étape consiste à faire converger les résultats de l'équipe avec ceux des projets des deux autres équipes pour ce qui concerne la modélisation musculo-squelettique, afin d'aboutir à une modélisation neuromusculosquelettique personnalisée. Deux actions de recherche sont présentées dans le bilan d'activités pour la période 2007-2011 :

la caractérisation des patterns de contraction musculaire dans les troubles moteurs d'origine centrale et leur évolution sous traitement (action 1) ;

la caractérisation des troubles de l'équilibre postural (action 2).

La production scientifique est plus qu'honorable, compte tenu du faible effectif de l'équipe. L'action 1 présente 2 publications ACL sous presse, 4 publications ACLI et 16 conférences, et l'action 2, 4 publications ACL, un rapport de projet ANR, un projet soutenu par la FFR et 4 conférences invitées. On compte ainsi un ratio de 0,8 articles/chercheur permanent/an ou de 1,6 articles/ETPT/an ce qui constitue un bilan très honorable. Les revues concernées traitent de la biomécanique, comme : Journal of Engineering In Medicine, Journal of Biomechanics (Impact Factor IF 2,43), Clinical Biomechanics (IF 2,07) et Gait and Posture (IF 2.12). Deux thèses ont été soutenues. Le nombre de contrats de recherche s'élève à 2 : 1 projet ANR, 1 projet avec la Fondation Française de Rugby. Le financement des recherches provient d'une ANR (MIRAS), et d'un contrat avec la Fédération Française de Rugby (FFR 2012). L'ANR MIRAS est consacrée à la mise au point d'un déambulateur robotisé pour la prévention et l'autonomie de la chute du sujet âgé, en collaboration avec les sociétés ISIR, Robosoft et LAAS-CNRS, les hôpitaux de Toulouse, et de Paris (Charles Foix et Henri Mondor).

Les membres du groupe « Biomécanique et système nerveux, analyse et restauration du mouvement » se répartiront dans les deux équipes du projet.

### Points forts et possibilités liées au contexte :

- Les nouveaux locaux sont en cours d'installation, ils devraient faciliter les échanges entre équipes;
- Maîtrise des techniques mises en œuvre dans les deux actions qui constituent des domaines applicatifs clairement identifiés;
- Bonne activité d'encadrement doctoral,
- Moyens expérimentaux de caractérisation et de mesure performants;
- Liens étroits avec les milieux hospitaliers et les entreprises.

### Points à améliorer et risques liés au contexte :

- On note peu de publications communes aux trois permanents;
- Les deux axes de recherche de l'équipe sont assez disjoints, et en interaction faible avec les deux autres équipes du LBM.

### Recommandations :

- Intégration de l'équipe trois dans les deux autres équipes.





## 5 • Déroulement de la visite

Dates de la visite :

Début : Mardi 11 décembre 2012 à 8h 30

Fin : Mercredi 12 décembre 2012 à 12h30

Lieu(x) de la visite :

Institution : Laboratoire de Biomécanique Arts et Métiers ParisTech

Adresse : 151 Boulevard de l'Hôpital, 75013 Paris, France

Locaux spécifiques visités :

Les nouveaux locaux du laboratoire (2000 m<sup>2</sup>)

Déroulement ou programme de visite :

La visite de l'unité s'est déroulée les 11 et 12 décembre 2012. Elle a débuté par une présentation du bilan de l'unité par le directeur, une présentation du projet par son porteur et une synthèse de l'activité des trois équipes, constituant l'unité, par leurs responsables. Par la suite, l'ensemble du comité a pu approfondir son analyse par des discussions sur le bilan et les perspectives avec les personnels de chaque équipe. La visite des plates-formes expérimentales a permis d'assister à une demi-douzaine de démonstrations et une vingtaine de présentations. Des rencontres à huis clos ont été tenues avec les doctorants, les personnels enseignants-chercheurs, les personnels d'appui et les représentants des tutelles de l'unité. Le comité remercie l'unité pour les documents fournis, les compléments apportés lors de la visite, la qualité des exposés et la remarquable organisation des journées.

### Programme de visite

Mardi 11 décembre 2012 :

8h30-9h :	Accueil
9h-9h15 :	Réunion à huit clos
9h15-10h30 :	Présentation générale du laboratoire par la directrice et le futur directeur. Bilan (directrice) et projet (futur directeur) - Echanges avec le comité (audience publique).
10h30-10h45 :	Pause
10h45-11h30 :	Présentation scientifique de l'équipe Biomécanique : Sport, Santé et Sécurité (Responsables : M. Sébastien LAPORTE et M <sup>me</sup> Patricia THOREUX) (audience publique)
11h30-12h :	Présentation scientifique de l'équipe Biomécanique et système nerveux : analyse et restauration du mouvement (Responsables : M. Philippe DECO et M. Jean-Michel GRACIES) (audience publique)
12h-12h45 :	Présentation scientifique de l'équipe Modélisation du système musculo-squelettique et innovation clinique (Responsable M <sup>me</sup> Wafa SKALLI) (audience publique)
12h45-14h15 :	Déjeuner
14h15-16h45 :	Visite du laboratoire et démonstrations scientifiques



- 16h45-18h :           Audition des représentants du personnel (ouvert à tous les personnels hors direction avec au moins un membre dans chaque équipe) :
- 16h45 : Doctorants
  - 17h30 : ITA
  - 18h15 : Enseignants chercheurs et chercheurs
- 19h-19h45 :           Réunion à huit clos du comité

Mercredi 12 décembre 2012 :

- 8h30-8h45 :           Accueil
- 8h45-9h45 :           Discussion avec les représentants des tutelles (hors direction)
- 9h45-10h45:           Echanges complémentaires avec la direction de l'Unité
- 10h45-12h :           Réunion à huis clos du comité
- 12h-12h30 :           Clôture de l'évaluation



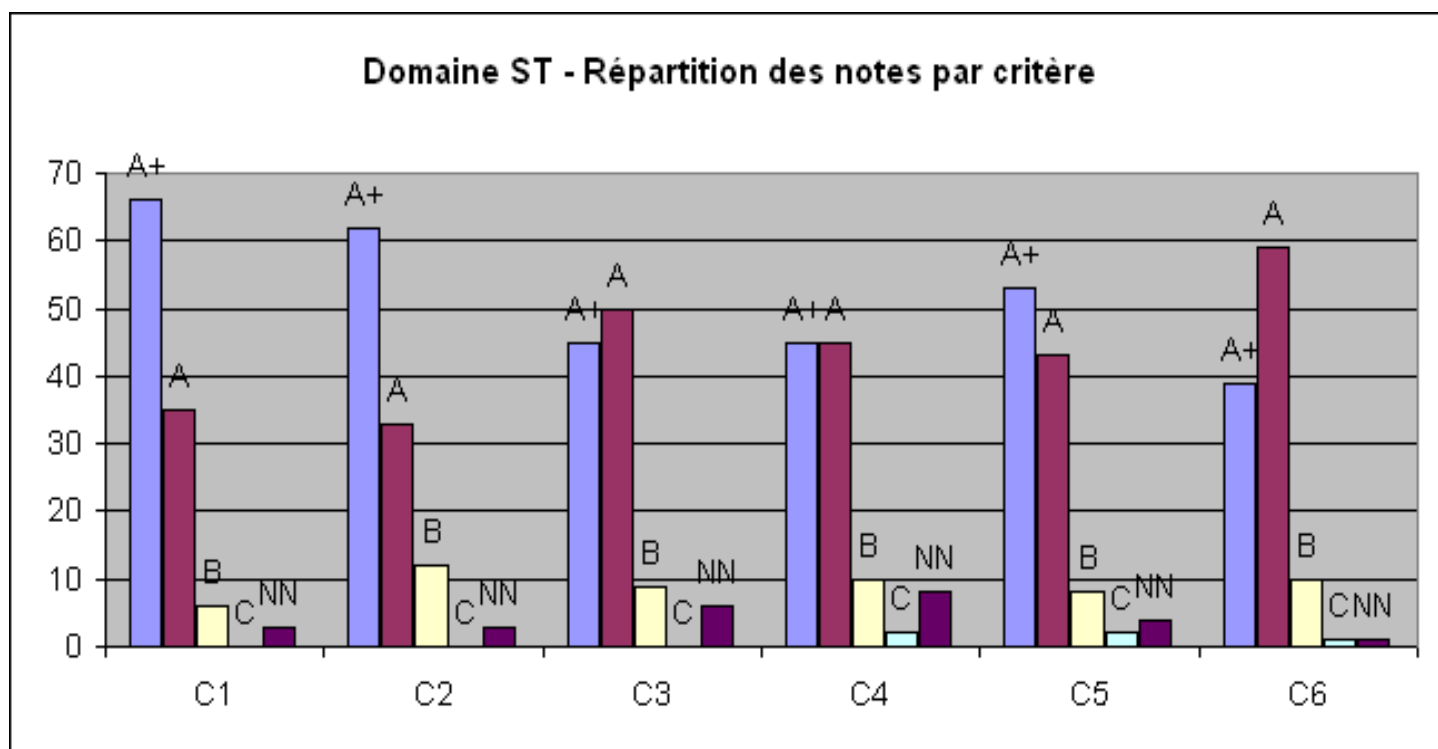
## 6 • Statistiques par domaine : ST au 10/06/2013

Notes

Critères	C1 Qualité scientifique et production	C2 Rayonnement et attractivité académiques	C3 Relations avec l'environnement social, économique et culturel	C4 Organisation et vie de l'entité	C5 Implication dans la formation par la recherche	C6 Stratégie et projet à cinq ans
A+	66	62	45	45	53	39
A	35	33	50	45	43	59
B	6	12	9	10	8	10
C	0	0	0	2	2	1
Non Noté	3	3	6	8	4	1

Pourcentages

Critères	C1 Qualité scientifique et production	C2 Rayonnement et attractivité académiques	C3 Relations avec l'environnement social, économique et culturel	C4 Organisation et vie de l'entité	C5 Implication dans la formation par la recherche	C6 Stratégie et projet à cinq ans
A+	60%	56%	41%	41%	48%	35%
A	32%	30%	45%	41%	39%	54%
B	5%	11%	8%	9%	7%	9%
C	0%	0%	0%	2%	2%	1%
Non Noté	3%	3%	5%	7%	4%	1%





## 7 • Observations générales des tutelles

Evaluation de l'AERES sur l'Unité :

Laboratoire de Biomécanique Arts et Métiers ParisTech - LBM

Nom du rapport : - [S2PUR140005670 - Laboratoire de Biomécanique Arts et Métiers ParisTech - 0753237L](#)

Numéro du rapport : D2014-EV-0753237L-S2PUR140005670-002926-RT.pdf

## Commentaires sur le rapport d'évaluation établi pour le projet du LBM

La direction et les membres du laboratoire remercient le comité pour sa visite et la qualité des échanges, et ont lu avec beaucoup d'attention le rapport, tant concernant l'ensemble de l'unité que chacune des équipes. Nous sommes heureux d'avoir pu convaincre de la qualité et du potentiel du laboratoire, et de partager la vision que nous avons de son évolution tant sur le plan scientifique que sur le volet organisationnel.

Nous serons bien entendu particulièrement vigilants quant aux points à améliorer. Ces points concernent en grande partie le positionnement international:



Effectivement la part des contrats européens est modeste par rapport aux projets ANR et institutionnels (OSEO, pôles de compétitivité), ce qui est lié aux succès qualifiés de remarquables dans ces appels d'offres : compte tenu de la taille des équipes, et pour éviter la dispersion, nous nous sommes attachés au travail important de réalisation et de valorisation des recherches prévues dans ce cadre (le projet STEREOs + soutenu par le pôle de compétitivité MEDICEN a par exemple donné lieu à 10 publications internationales).

Un de nos objectifs clairs étant de **conforter et renforcer le positionnement international du LBM**, nous veillerons à augmenter la participation à des projets européens et internationaux, et à des comités éditoriaux de revues. Le recrutement récent de jeunes enseignants chercheurs qui montent progressivement en puissance, la maturité scientifique de ceux qui viennent de passer l'HDR ou qui sont en instance de la faire, le rattachement scientifique de chercheurs et enseignants chercheurs de qualité, nous permettent d'être confiants quant à cet objectif. Le comité a très justement souligné le potentiel scientifique et les opportunités liées à l'attractivité du laboratoire, et nous ne doutons pas que la politique active de soutien de nos autorités de tutelle en personnel statutaire, qu'il s'agisse d'enseignants chercheurs ou de personnel support (ITA) nous permettra de rééquilibrer les charges de travail pour consacrer davantage de temps à cette évolution indispensable. De même l'accueil de chercheurs et post docs étrangers (qui est à notre sens déjà tout à fait honorable : un Associate Professor d'Australie dans le cadre d'un financement Marie Curie, une Associate Professor de Montréal et une de Calgary, un post doc chinois et un post doc italien) pourra tout naturellement être augmenté.

Les recommandations sont toutes attentivement considérées et sont tout à fait en phase avec la stratégie du LBM. Nous poursuivrons l'accompagnement des jeunes chercheurs pour favoriser la soutenance d'HDR et la prise de responsabilités scientifiques, politique qui a été conduite avec succès dans l'exercice précédent. Nous sommes également tout à fait conscients du déséquilibre en termes de production scientifique entre une équipe jeune, plus récemment créée, et une équipe qui est structurée

de bien plus longue date. La volonté très forte de progrès affichée par les responsables d'équipes et par l'ensemble du LBM nous conduira à réfléchir ensemble pour renforcer la production scientifique de cette deuxième équipe, dont la qualité a été soulignée, et qui bénéficie de l'appui sans réserve de la direction du LBM et des responsables de l'équipe 1. Les excellentes relations qui existent au sein du laboratoire, les parois poreuses et fluides qui favorisent le dialogue scientifique intra et inter-équipes, permettront par ailleurs de poursuivre le développement de projets inter-équipes et de projets transversaux au sein d'une même équipe (ce qui s'est déjà traduit dans les faits dans plusieurs projets), et de poursuivre la réflexion en vue d'assurer le meilleur équilibre entre recherche amont et recherche partenariale.

Le point récurrent concernant les charges des ITA et des enseignants chercheurs passera nous l'espérons par un renforcement de l'unité qui dispose, comme l'a souligné le comité d'évaluation, « de la structuration nécessaire, de moyens importants, des compétences scientifiques et des savoir-faire forts pour mener à bien le projet proposé ». Le soutien des autorités de tutelle et la demande d'association aux organismes de recherche devrait permettre le recrutement de personnels statutaires qui contribueront à un positionnement très fort du LBM aussi bien national qu'international.

<p>Skalli Wafa Directrice du laboratoire LBM</p> 	<p>EL MANSORI Mohamed Directeur Général Adjoint à la Recherche et à l'Innovation</p> 
---	--