

RAPPORT D'ÉVALUATION DE L'UNITÉ
BMBI — Biomécanique et bio-ingénierie

SOUS TUTELLE DES ÉTABLISSEMENTS ET
ORGANISMES :

Université de Technologie de Compiègne (UTC)
Centre national de la recherche scientifique
(CNRS)

CAMPAGNE D'ÉVALUATION 2024-2025
VAGUE E



Au nom du comité d'experts :

Martine Pithioux, présidente du comité

Pour le Hcéres :

Stéphane Le Bouler, président par intérim

En application des articles R. 114-15 et R. 114-10 du code de la recherche, les rapports d'évaluation établis par les comités d'experts sont signés par les présidents de ces comités et contresignés par le président du Hcéres.

Pour faciliter la lecture du document, les noms employés dans ce rapport pour désigner des fonctions, des métiers ou des responsabilités (expert, chercheur, enseignant-chercheur, professeur, maître de conférences, ingénieur, technicien, directeur, doctorant, etc.) le sont au sens générique et ont une valeur neutre.

Ce rapport est le résultat de l'évaluation du comité d'experts dont la composition est précisée ci-dessous. Les appréciations qu'il contient sont l'expression de la délibération indépendante et collégiale de ce comité. Les données chiffrées de ce rapport sont les données certifiées exactes extraites des fichiers déposés par la tutelle au nom de l'unité.

MEMBRES DU COMITÉ D'EXPERTS

Présidente : Mme Martine Pithioux, Centre national de la recherche scientifique, Marseille

Experts : M. Bertrand Cinquin, Centre national de la recherche scientifique, Paris
Mme Nadia El Kissi, Centre national de la recherche scientifique, Grenoble
M. Sébastien Laporte, Arts et métiers Paristech — École nationale supérieure des arts et métiers, Paris
M. Salah Ramtani, Université Sorbonne Paris Nord, Villetaneuse

REPRÉSENTANT DU HCÉRES

M. Philippe Petitjeans

REPRÉSENTANTS DES ÉTABLISSEMENTS ET ORGANISMES TUTELLES DE L'UNITÉ DE RECHERCHE

Mme Anne-Christine Hladky, DAS, CNRS Ingénierie

M. Frédéric Lamarque, PR, Directeur à la Recherche à l'UTC

CARACTÉRISATION DE L'UNITÉ

- Nom : Biomécanique et Bioingénierie
- Acronyme : BMBI
- Label et numéro : UMR CNRS 7338
- Nombre d'équipes : quatre
- Composition de l'équipe de direction : Cécile Legallais

PANELS SCIENTIFIQUES DE L'UNITÉ

ST5 : Sciences pour l'ingénieur

THÉMATIQUES DE L'UNITÉ

L'unité de recherche Biomécanique et Bioingénierie (BMBI) adopte une approche originale dans les domaines de la mécanique du vivant et de l'ingénierie pour la santé, assurant un continuum Recherche-Ingénierie-Technologie pour la santé. Les objets d'intérêt sont variés, couvrant toutes les échelles, de la cellule au corps entier. Les études sont développées en lien avec des problématiques cliniques ou sociétales. Les approches sont transversales, biomimétiques et bioinspirées. La compréhension et la modélisation de la physique des phénomènes et des systèmes étudiés sont au cœur des enjeux et problématiques scientifiques de toutes les équipes de l'unité.

L'unité est structurée en quatre équipes. L'équipe CBB (Cellules, Biomatériaux et Bioréacteurs) développe des expertises dans le domaine de l'ingénierie tissulaire multi-échelle. L'équipe IFSB (Interactions Fluides/Structures Biologiques) développe des approches *in vitro/in vivo* et *in silico* à différentes échelles. L'équipe C2MUST (Caractérisation et Modélisation personnalisée du système musculo-squelettique) s'intéresse au système musculo-squelettique par des approches multi-échelles et multi-physiques. L'équipe CEBM (Centre d'Expertise en Biomécanique du Mouvement) étudie la biomécanique du mouvement.

Ces équipes s'appuient par ailleurs sur deux métaplateformes (CARMOD et IngeSysBio) et sur deux plateformes thématiques (TSS et e-biomed) :

— La métaplateforme CARMOD est affectée à la caractérisation mécanique des tissus vivants ou reconstruits et à la modélisation numérique des systèmes biomécaniques et des signaux électrophysiologiques permettant de caractériser différentes grandeurs physiques à différentes échelles, pour des tissus durs, mous ou des écoulements physiologiques. Son originalité vient du regroupement de ses équipements qui permet de mener des études multi-physiques et multi-échelles en biomécanique.

— La métaplateforme INGESYSBIO est affectée à la construction et la caractérisation biologique de modèles *in vitro* de complexité croissante, allant de la culture en 2D à la culture 3D en conditions dynamiques. Elle s'appuie sur des salles de culture de niveau L2, complétées par des moyens de microfabrication et de fabrication additive, permettant de créer et d'évaluer des modèles tissulaires très variés, ce qui en fait son originalité. Elle dispose de différents types de bioréacteurs permettant cette bioproduction.

— La plateforme Technologie Sport Santé (TSS) héberge une des plus grandes salles d'analyse du mouvement en France, avec plus de 40 caméras de capture du mouvement. Elle permet de placer les sujets étudiés dans des situations proches du terrain réel et permet de valider des dispositifs d'analyse pour les transférer en situation réelle (clinique, rééducation).

— La plateforme Outils Biomédicaux Connectés de la Chaire eBiomed se présente sous la forme d'un LivingLab « Appartement connecté » permettant d'évaluer des situations de personnes ayant besoin d'une assistance ou d'un suivi par des capteurs non-invasifs et connectés. Une de ses originalités, en dehors de sa présence sur le Centre d'Innovation de l'UTC, provient d'une démarche scientifique portant sur l'analyse des sons plutôt que sur des caméras ou des systèmes plus intrusifs, pour suivre l'activité d'une personne.

HISTORIQUE ET LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DE L'UNITÉ

L'unité a été créée en 1982 sur les thématiques alors émergentes de la Biomécanique et du Génie Biomédical. D'abord, URA CNRS « Biomécanique et Instrumentation Médicale » dirigée par Michel Jaffrin, il devient en 1996 l'UMR CNRS « Biomécanique et Génie Biomédical », sous les directions successives de Dominique Barthes-Biesel, puis Catherine Marque. C'est en 2008 que l'UMR est baptisée de son nom actuel « Biomécanique et Bioingénierie ». Elle sera dirigée successivement par Marie-Christine Ho Ba Tho puis par Cécile Legallais.

Dès sa création, l'unité a été reconnue pour son expertise couplée en sciences de l'ingénieur et sciences du vivant. Les disciplines originelles étaient la biomécanique des fluides, l'imagerie, l'instrumentation médicale ainsi que la physiologie musculaire ou encore les biomatériaux et la biologie cellulaire. La biomécanique des solides et l'ingénierie tissulaire sont venues élargir le spectre des compétences de l'unité dès le début des années 2000.

L'unité a proposé en 2018 un projet fondé sur trois équipes (CBB, IFSB, C2MUST), deux plateformes thématiques et deux métaplateformes rassemblant des équipements communs. Après deux années de fonctionnement suivant cette organisation, l'unité a souhaité mettre davantage en avant la thématique de la biomécanique du mouvement, pour les aspects recherche et enseignement, et a voté en conseil de laboratoire la création d'une quatrième équipe intitulée CEBM en 2020, incluant la plateforme TSS. Jusqu'au 31/12/2025, l'unité est donc aujourd'hui composée de quatre sous-entités de recherche (CBB, IFSB, C2MUST, CEBM), d'une plateforme thématique (Outils biomédicaux connectés rattachés à la Chaire e-Biomed), d'une autre plateforme TSS totalement incluse dans l'équipe CEBM, et de deux métaplateformes partagées (INGESYSBIO et CARMOD).

L'unité est hébergée à l'UTC dans plusieurs bâtiments du centre de recherche. Il dispose également de locaux, essentiellement pour ces plateformes, au centre d'innovation mis en service en 2015.

ENVIRONNEMENT DE RECHERCHE DE L'UNITÉ

L'unité BMBI a été et est toujours l'un des acteurs clés de la Fédération SHIC (Systèmes Hétérogènes en Interaction) et du Labex MSST (Maîtrise de Systèmes de Systèmes Technologiques) dans le secteur applicatif de l'ingénierie pour la santé et pour l'étude des systèmes de systèmes (SdS) technologiques. Elle a interagi avec cinq des sept autres unités de l'UTC dans le cadre de projets communs et de co-encadrement de treize doctorants notamment. L'unité BMBI et CosTech (UR SHS) co-pilotent le Pôle Health&Care Technology. L'Unité BMBI a participé à la création ou a sollicité le soutien de plusieurs instituts et initiatives de l'ASU, dans le cadre de l'idex SUPER puis d'autres projets financés par le PIA. Elle a été co-créatrice de l'Institut Universitaire d'Ingénierie en Santé en 2014, et plus récemment de l'initiative Maîtrise des Systèmes Technologiques surs et Durables (MSTD). Elle est également membre de l'Institut IMAT de SCAI (Sorbonne Institute for Artificial Intelligence) et de l'ISCD (Institut de la Science du Calcul et des Données). L'unité a également bénéficié de financements de l'ITE (Institut pour la Transition Environnementale) et de l'initiative i-bio. Durant la période évaluée, huit co-directions de thèse et un encadrement de post-doctorant ont été effectués avec Sorbonne Université et financés par ces instituts.

Au niveau régional, l'unité BMBI est réputée dans les thématiques du CPER 2015-2020 de la région Picardie (reprise par la nouvelle région Hauts de France), et est réputée dans la Smart Specialization Strategy (3S) de l'Union européenne. L'unité a également pris une place importante dans la construction du projet CPER TecSanté, qui a été sélectionné pour un financement à hauteur de 10 M€.

Au niveau national, l'unité BMBI est active au sein de plusieurs GDR (MecaBioSanté et GDR Réparer l'Humain BioMIM — Bioinspiration et Biomimétisme, I-GAIA — Ingénierie augmentée par la donnée, l'Apprentissage et l'IA, GDR ImaBio — Imagerie et Microscopie en Biologie, GDR Organoïdes, GDR TransInter — Transferts et Interfaces, GDR IASIS [Information, Apprentissage, Signal, Image et Vision]). Elle était membre de la fédération IMOA. Elle a mis en place des échanges de chercheurs permanents et d'étudiants avec le LIMMS (IRL CNRS 2820) à l'Université de Tokyo et avec l'Université de Waterloo (Canada).

L'unité de recherche BMBI bénéficie de fortes interactions avec le milieu médical (PIA RHU Ilite, PEPR MED-OOC).

EFFECTIFS DE L'UNITÉ : en personnes physiques au 31/12/2023

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	8
Maitres de conférences et assimilés	10
Directeurs de recherche et assimilés	3
Chargés de recherche et assimilés	1
Personnels d'appui à la recherche	13
Sous-total personnels permanents en activité	35
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	10
Personnels d'appui non permanents	1
Post-doctorants	3
Doctorants	33
Sous-total personnels non permanents en activité	47
Total personnels	82

RÉPARTITION DES PERMANENTS DE L'UNITÉ PAR EMPLOYEUR : en personnes physiques au 31/12/2023. Les employeurs non tutelles sont regroupés sous l'intitulé « autres ».

Nom de l'employeur	EC	C	PAR
UTC	17	0	8
CNRS	0	4	5
Autres	1	0	0
Total personnels	18	4	13

AVIS GLOBAL

L'unité Biomécanique et Bioingénierie est une unité de recherche de premier plan dans différents champs autour de la biomécanique des fluides, l'imagerie, l'ingénierie tissulaire et la biomécanique des solides. Elle se caractérise par un profil large d'activités interdisciplinaires et multi-échelles lui permettant d'assurer un continuum Recherche-Ingénierie-Technologie pour la santé.

Les objectifs ainsi que le positionnement scientifique de l'unité sont bien définis. Les collaborations solides de l'unité avec des chercheurs de reconnaissance internationale permettent de formaliser un nombre croissant de projets internationaux.

L'unité est aujourd'hui composée de quatre équipes (CBB, IFSB, C2MUST, CEBM), de deux plateformes thématiques (Outils biomédicaux connectés rattachés à la Chaire e-Biomed et Technologie Sport Santé intégrée depuis 2020 à la nouvelle équipe CEBM) et de deux métaplateformes (INGESYSBIO et CARMOD) rassemblant des équipements communs. Les membres interagissent régulièrement, avec un fonctionnement collégial, au sein d'un comité scientifique et du conseil de laboratoire, qui bénéficie à l'ensemble du personnel et favorise la mutualisation des moyens.

L'unité accueille particulièrement bien les nouveaux entrants, notamment en leur attribuant un contrat doctoral fléché rapidement.

Lors de ce mandat, marqué par la crise Covid, l'excellence scientifique de l'unité est attestée par une dynamique de publications dans tous les champs de son activité. Les publications de l'unité, au nombre de 227, sont à plus de 60 % dans des journaux de premier plan tels que *Journal of Biomechanics*, *Acta Physiologica* ou *Journal of Fluid Mechanics*. Notons cependant des disparités de publications intra et inter équipes.

L'unité présente une excellente capacité de financement de sa recherche et d'équipement de ses plateformes. Elle a ainsi été lauréate d'un projet soutenu par l'ERC. Elle a été soutenue par le PEPR MED-OOC avec la coordination d'un des quatre Target Priority Project, le RHU Innovations in Liver Tissue Engineering (Ilite) avec le pilotage d'un WP, ou encore le CPER TecSanté dans la région HDF. Si les financements de la région sont en baisse, l'unité a su trouver de nouvelles sources de financements, notamment auprès de partenaires industriels.

L'unité est particulièrement réputée pour son appétence et sa réussite dans le transfert de ses travaux à destination de la clinique et des partenaires socio-économiques. Le comité souligne des avancées majeures notamment en santé, avec le développement de systèmes alternatifs pour la prise en charge de dysfonctionnements cardiovasculaires, hépatiques, gynécologiques ou encore musculo-squelettiques. Outre la grande diversité des objets ainsi envisagés, l'originalité et la pertinence des dispositifs proposés sont également à souligner. Ces avancées se prêtent bien au dépôt de demande de brevets qui restent cependant en deçà de ce qu'ils pourraient être.

Le rayonnement et l'attractivité de l'unité sont très bons au niveau international comme en témoignent sur la période sept conférences plénières dans des congrès internationaux, une quinzaine de conférences invitées ainsi que des rôles importants dans des sociétés savantes internationales (Chair du World Council of Biomechanics, Présidence de l'European Society for Artificial Organ, membre d'honneur de l'European Society of Biomechanics). Le comité note également l'implication de ces membres dans des instances nationales de pilotage de la recherche : la direction du GDR MecaBioSant, le comité de direction et de pilotage du CPER TecSanté ou encore la participation au conseil scientifique de différentes institutions telle que la Ligue contre le cancer. Il regrette cependant que cette participation ne s'étende pas à des instances internationales.

L'unité possède des équipements et des compétences techniques de très haut niveau par exemple en

microcaractérisation et microrhéologie, organisés au sein de deux plateformes et deux métaplateformes labélisées ou en cours de labélisation par l'UTC, l'Alliance Sorbonne Université et bientôt CNRS Ingénierie. Au vu de ce dynamisme, il apparaît que l'unité manque de personnel d'appui à la fois dans le domaine technique et administratif.

Les équipes de l'unité sont très impliquées dans la diffusion des sciences et les questions de société (Festival CNRS, Hauts de France, exposition itinérante, MT180s, Lycées, etc.).

L'unité de recherche BMBI a su développer une renommée nationale et des collaborations fortes à l'international. Le comité apprécie la trajectoire du laboratoire et son évolution notamment par son ouverture internationale.

ÉVALUATION DÉTAILLÉE DE L'UNITÉ

A — PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

L'unité a maintenu son nombre de publications comme demandé malgré un temps de plus en plus important consacré aux charges administratives. Le précédent rapport recommandait de continuer à être attractif pour recruter et bénéficier de sources de post-doctorants et doctorants. Sur la période écoulée, l'unité a recruté quatre nouveaux MCF et deux en mutation. L'unité BMBI a proposé six candidats aux concours CNRS, mais sans succès jusqu'à présent.

Le changement dans le contour des régions a diminué le nombre de contrats régionaux comme le précédent comité le craignait. Malgré cela, le nombre global de contrats reste tout à fait correct et de qualité, car le lien avec les industriels a augmenté. Les interactions avec l'environnement social et culturel ont aussi été amplifiées par des participations importantes à la diffusion de la science vers le grand public.

La création d'un comité scientifique et d'un Scientific Advisory Board (SAB) est appréciée par le comité et répond aux recommandations du précédent comité de visite, même s'il a très peu fonctionné jusqu'ici.

Des tentatives d'amélioration de l'agencement des espaces de travail et de vie ont été réalisées auprès de l'UTC, mais n'ont pas abouti. Des journées communes ont été organisées (trois par an) qui répondent à ce besoin de convivialité et d'échanges informels notamment entre les équipes.

Concernant la formation doctorale, le précédent comité suggérait qu'elle soit davantage orientée vers les besoins individuels des doctorants. Des progrès ont été réalisés avec des propositions de nouvelles formations à l'école doctorale, des formations organisées pour l'utilisation des matériels, notamment des plateformes, ou des ateliers consacrés aux non-permanents lors des « journées du BMBI ».

La vigilance de l'unité que souhaitait le précédent comité pour que le thème transversal émerge sur la biomécanique des systèmes biomimétiques et bio-inspirés ne soit pas source de dispersion thématique et reste bien un moyen d'approfondir des investigations pour la compréhension des relations structure-fonction en lien avec les projets des équipes et de permettre la conception de nouveaux dispositifs en bio-ingénierie a été entendue. Des discussions scientifiques ont eu lieu et plusieurs projets ont émergé qui ont donné naissance à des collaborations inter-équipes.

En conclusion, les recommandations précédentes de l'Hcéres ont été prises bien en compte par l'unité BMBI.

B — DOMAINES D'ÉVALUATION

DOMAINE 1 : PROFIL, RESSOURCES ET ORGANISATION DE L'UNITÉ

Appréciation sur les objectifs scientifiques de l'unité

L'unité développe de la recherche fondamentale, d'ingénierie et de technologies pour la santé de grande qualité. Les objectifs forts du BMBI que sont le développement de nouveaux tissus utilisés comme modèles alternatifs à l'expérimentation animale, mais également l'approche patient spécifique, les modèles multi-échelles et le couplage modèle mécanique et musculaire sont des objectifs originaux et de pointe dans le paysage national de la biomécanique et de la bioingénierie. Les plateformes sont également originales, bien situées et bien reconnues sur l'échiquier national.

Appréciation sur les ressources de l'unité

L'unité bénéficie de ressources humaines de très grande qualité tant sur le plan scientifique que technique, mais manque de personnels d'appui à la recherche au vu de son large panel d'expertise.

L'unité dispose de ressources propres qui lui permettent de réaliser une politique scientifique et de maintenir des équipements expérimentaux. De nombreux contrats ont été obtenus par l'unité et représentent un budget confortable de plus de 8 M€ sur la période considérée. Les plateformes sont de qualité. Le lien avec les industriels est de plus en plus fort implantant ainsi avantageusement l'unité comme un acteur important dans le domaine de la biomécanique et de la bioingénierie.

Appréciation sur le fonctionnement de l'unité

La structuration de l'unité autour des équipes scientifiques et des plateformes est efficace. Elle facilite les interactions, l'animation et la prospective scientifique. L'implication du personnel d'appui à la recherche, qui accomplit un travail dynamique pour soutenir les activités de recherche et des plateformes, est notable. Le pilotage, l'animation et l'organisation sont réalisés par des réunions régulières du conseil d'unité et du conseil scientifique. Le copil est apprécié et se réunit souvent.

Au cours de la période, l'unité a mis en place de nombreuses actions pour renforcer les questions d'hygiène et sécurité, améliorer l'accueil des doctorants et des post-doctorants et favoriser les initiatives internes et les projets exploratoires grâce à une politique de mise en commun des moyens.

De nombreuses responsabilités hors laboratoire sont assurées par des membres de l'unité, témoignage de son dynamisme.

1/ L'unité s'est assigné des objectifs scientifiques pertinents.

Points forts et possibilités liées au contexte

L'unité BMBI met en avant des objectifs très clairs qui englobent une vision globale de la biomécanique. Les thématiques de recherche sont en phase avec les politiques nationales et européennes dans le domaine de la santé. Les recherches mises en place sont interdisciplinaires et touchent des activités à la pointe dans le domaine de la biomécanique tout en apportant une contribution à la résolution de défis sociétaux. En effet, l'unité développe ses recherches dans le domaine de la prévention, réparation, rééducation et évaluation. L'accent est mis dans la personnalisation qui fait partie des thématiques clés à l'international en biomécanique. La biomécanique développée rentre dans le cadre de la biomécanique du solide, du fluide, des interactions fluides-structure, de l'ingénierie et du mouvement. De plus, l'unité développe des analyses interdisciplinaires qui sont effectivement indispensables dans le domaine de la biomécanique/bioingénierie.

L'unité a mis en place avec justesse un comité de pilotage scientifique qui participe à la mise en œuvre de sa stratégie globale. Elle a mutualisé ses équipements au bénéfice des chercheurs et donc in fine de la production scientifique. Des journées scientifiques de l'unité sont également organisées qui ont un fort impact positif sur la vie de l'unité.

Points faibles et risques liés au contexte

L'unité BMBI développe ses activités dans des applications très intéressantes pour la société, mais il manque « un liant » entre ces applications et entre les équipes. L'axe transverse dans le domaine du biomimétisme a permis des collaborations entre équipes et est en soi très intéressant pour créer des liens entre les différents projets de recherche, mais cette thématique n'est pas assez visible, ce qui est dommage, car c'est une originalité.

L'unité ne travaille pas sur une chaîne complète d'intervention qui inclut toutes les étapes comme la prévention, le diagnostic, la réparation, la réhabilitation, la rééducation et la performance.

Le positionnement de l'unité, par rapport à l'existant au niveau national et international, ne permet pas à l'unité de se situer précisément sur l'échiquier de la recherche en biomécanique et bioingénierie.

La charge d'enseignement des enseignants-chercheurs est trop importante pour qu'ils puissent mener une recherche plus poussée.

2/ L'unité dispose de ressources adaptées à son profil d'activités et à son environnement de recherche et les mobilise.

Points forts et possibilités liées au contexte

L'unité bénéficie d'une dotation de 200 k€ de ses tutelles qu'elle a intelligemment choisi de partager en formation, dotation par équipe, maintenance et achats d'équipements. De plus, un soutien à des projets émergents (20 k€ à 30 k€) est également donné qui permet de donner un coup de pouce initial aux nouveaux projets. Ainsi, une douzaine de projets ont pu être financés qui ont donné lieu au dépôt de dix projets soutenus par l'ANR. Ce choix a donc été très efficace et rentable. L'unité finance également des masters à hauteur de 20 k€ par an qui là encore ont des retombées positives sur la production scientifique. Par les contrats, l'unité a obtenu sur la durée considérée 6,4 M€ qui proviennent de l'Europe (avec un financement ERC d'envergure et plusieurs dépôts H2020 Horizon Europe), du national notamment par l'ANR et du régional (programme STaRS, projet CPER TecSanté 2022-2027), lui donnant ainsi les moyens nécessaires à son travail.

L'unité mutualise tous ses équipements des métaplateformes et plateformes, ce qui permet une très bonne rentabilité des moyens de recherche. L'unité a de plus en plus de collaborations avec des industriels ce qui laisse une ouverture sur de nouvelles demandes de financements comme les PRCE de l'ANR. La labélisation des plateformes et métaplateformes permet de tarifier certaines prestations et de bénéficier du PPI. Ces plateformes sont référencées dans le CPER TecSanté, rapportant ainsi environ 1 M€ de financement programmé sur la période 2021-2027. Leur labélisation par l'Alliance Sorbonne Université permet des échanges de matériels et des financements de maintenance des équipements, ce qui bénéficie largement à l'unité.

L'unité s'investit également dans les promotions professionnelles de tous ses membres (PAR, MCF, CR).

Points faibles et risques liés au contexte

L'unité fait face à une diminution de son nombre de chercheurs CNRS.

Les plateformes sont mutualisées pour toute l'unité, mais pas les ingénieurs qui y travaillent : ils sont soit associés à des équipes soit directement responsables de plateformes. Le comité remarque que ce fonctionnement n'est pas optimal dans la mesure où il ne favorise pas la mutualisation de ces moyens. Les enseignants-chercheurs de l'unité ayant d'importantes activités d'enseignement, cela rend plus difficile les réponses aux appels d'offres. L'interdisciplinarité de l'unité est un atout, mais cela peut également entraîner des faiblesses comme l'isolement thématique de certaines personnes.

L'unité BMBl a proposé six candidats aux concours CNRS, mais sans succès jusqu'à présent.

Le manque d'unité de lieux entre les équipes et de lieu commun pour que les membres du laboratoire se retrouvent ne contribue pas à améliorer et à amplifier les échanges entre les personnels de l'unité ni à affermir la vie du laboratoire.

3/ Les pratiques de l'unité sont conformes aux règles et aux directives définies par ses tutelles en matière de gestion des ressources humaines, de sécurité, d'environnement, de protocoles éthiques et de protection des données ainsi que du patrimoine scientifique.

Points forts et possibilités liées au contexte

L'unité maintient son nombre de personnels statutaires, dix nouveaux titulaires ayant intégré l'unité compensant ainsi les départs (un PR, quatre MCF, deux IE et trois ECC). La parité est presque atteinte (40 % de femmes). L'unité a accueilli 45 % d'étrangers doctorants et post-doctorants.

La prévention des risques est bien prise en compte par la direction, en proposant une formation organisée régulièrement par les agents de prévention. L'unité déploie une politique de prévention des risques psychosociaux et des violences sexistes et sexuelles. Une commission qualité de vie et une commission développement durable ont été mises en place.

Au niveau éthique, l'unité se forme pour les expérimentations sur animal et sur l'homme. Elle essaie également de prendre en compte la sécurité informatique et a mis en place un plan de gestion des données.

L'unité est sensibilisée à la diminution de l'empreinte environnementale dans son organisation propre au niveau de la gestion des déchets, la gestion informatique, les missions et la mutualisation des commandes. Elle a également développé une analyse de la diminution de l'empreinte environnementale dans les pratiques médicales.

Points faibles et risques liés au contexte

L'unité prend en compte les risques psychosociaux sans pour autant avoir proposé un questionnaire pour évaluer ces risques au niveau de l'unité.

Les expérimentations en biomécanique sur les tissus biologiques, sur l'animal ou sur l'homme nécessitent des demandes d'autorisations éthiques dans chacun de ces domaines. Chacun doit s'en occuper sans que cette tâche n'ait pu être remplie par une personne propre. Au niveau éthique, les locaux ne sont pas habilités RIPH 1, ce qui peut empêcher certaines expérimentations sur l'homme.

L'unité est investie dans la réduction de sa consommation énergétique, mais la vétusté de certains de ses locaux rend ce travail difficile.

Un manque d'équité salariale entre les statuts des membres de l'unité est un risque pour la bonne entente des personnels en donnant un sentiment justifié d'injustice de traitement.

DOMAINE 2 : ATTRACTIVITÉ

Appréciation sur l'attractivité de l'unité

L'unité BMBI fait preuve d'un grand rayonnement scientifique au niveau européen par les nombreuses participations à des congrès internationaux effectuées lors de la période concernée et au niveau national par sa participation dans des instances avec certains de ses membres très impliqués dans les instances de pilotage de la recherche.

La bonne attractivité de l'unité s'observe aussi dans sa politique de recrutement de nouveaux chercheurs permanents pendant la période évaluée, dans le nombre important de doctorants ainsi que dans sa politique d'accueil de professeurs ou de doctorants étrangers.

L'unité a obtenu de nombreux financements lors d'appels à projets compétitifs témoignant ainsi de son très bon positionnement dans le domaine. La liste des financements obtenus dans son ensemble est très variée et tout à fait satisfaisante.

Les plateformes technologiques constituent clairement une des forces du laboratoire. Des postes permanents manquent cependant pour maintenir le savoir-faire et pour pouvoir réaliser davantage de contrats.

- 1/ *L'unité est attractive par son rayonnement scientifique et s'insère dans l'espace européen de la recherche.*
- 2/ *L'unité est attractive par la qualité de sa politique d'accompagnement des personnels.*
- 3/ *L'unité est attractive par la reconnaissance de ses succès à des appels à projets compétitifs.*
- 4/ *L'unité est attractive par la qualité de ses équipements et de ses compétences techniques.*

Points forts et possibilités liées au contexte pour les quatre références ci-dessus

L'unité a contribué à organiser de nombreux congrès internationaux de grande renommée (les World Congress of Biomechanics, les congrès ICTAM) et participe à des instances nationales comme le CS de l'INSIS ou le CoNRS par exemple. Elle organise des journées (RV Biomédical et Health and Care Tenology).

Elle a accueilli des professeurs invités : six sur la période considérée dont deux de l'Université de Tokyo (Japon), deux de l'Université de Reading (Royaume-Uni), un de l'Université de Waterloo (Royaume-Uni) qui a depuis obtenu le statut de chercheur associé à l'unité et un de l'Université de Hunan (Chine). Elle maintient des liens forts avec certains organismes à l'étranger : aux États-Unis avec la Mayo Clinique, au Chili avec l'Université de Valparaiso, au Brésil avec l'Université de Fortaleza, au Royaume-Uni avec les universités Queene Mary et Reading.

Les doctorants et post-doctorants viennent de plusieurs régions de France et de l'étranger (USA, Japon, Brésil). Un master co-habilité avec l'Université du Liban a été mis en place par l'unité. Cela a permis d'obtenir une dizaine de thèses en co-tutelle. Seize doctorants ont réalisé plusieurs séjours à l'étranger. De plus, les doctorants ont obtenu de nombreux prix : treize sur la période telle que trois prix de thèse Guy Deniulou, un prix de thèse de la Société de Biomécanique ou encore un prix de l'Académie Nationale de Chirurgie.

L'unité a également obtenu des distinctions comme Chevalier de la Légion d'Honneur ou de l'Ordre National du Mérite pour certains de ses membres.

Des membres du laboratoire sont éditeurs associés de revues comme *Image and Vision Computing*, Elsevier, *International Journal of Artificial Organs*, SAGE Ed jusqu'en 2019, *Transplantation Internationale*, Frontiers, Springer Multimedia Tools and Applications (Medical Imaging Track), IRBM. Plusieurs membres ont participé à des instances nationales de pilotage de la recherche telles que CS CNRS, CoNRS, CS Inserm, CNU, GDR MecaBioSanté, GDR Biomim. L'unité est également membre du CPER TecSanté.

L'unité a mis en place un accueil efficace pour les nouveaux entrants. Elle a la possibilité de proposer un contrat doctoral de l'ED aux nouveaux chercheurs/enseignants-chercheurs. Elle a également mis en place un accueil pour les PAR avec une présentation de toutes les équipes. Des financements internes au sein de l'unité sont proposés qui ont permis à certains projets de se consolider en leur donnant les moyens de se déployer ou qui ont favorisé des projets collaboratifs ou émergents.

L'unité a obtenu un financement Consolidator Grant de l'ERC sur le projet MultiPhysMicroCaps sur les microcapsules et les cellules en écoulement, un financement Health Chronos d'European Institute of Innovation and Technology (EIT) dont l'objectif est la conception d'un dispositif médical pour la prédiction du vieillissement musculaire précoce, un financement de projet européen EuroStars sur le suivi à distance du risque d'accouchement prématuré par l'analyse du signal électrohystorographique, neuf financements de projets par l'ANR dont cinq en tant que porteur (dont deux portées par des IR), un financement RHU. L'unité a également obtenu d'autres types de financements (PHC, FC3R, Anses, PEPS, Plan de Relance, porteur d'un projet du PEPR MED-OOC, EquipeX, Labex, PIA, projet régional).

Au niveau des équipements, la labélisation de ses plateformes et métaplateformes permet à l'unité d'être attractive et accessible. Notamment la plateforme Technologie Sport Santé (TSS) qui héberge une des plus grandes salles d'analyse du mouvement en France, intéresse beaucoup les chercheurs et cliniciens qui souhaitent placer les sujets étudiés dans des situations proches du terrain réel. Elle permet de valider des dispositifs d'analyse pour les transférer en situation réelle (clinique, rééducation).

L'UR BMBI dispose de ses propres clusters. L'unité commence à mettre en place un processus de tarification de certains équipements et plateformes qui permettra de pérenniser les ressources pour leur maintenance et les achats spécifiques.

Points faibles et risques liés au contexte pour les quatre références ci-dessus

La participation des membres dans des instances internationales est manquante.

Le nombre de contrats européens est peu élevé du fait du nombre de membres statutaires dans l'unité. Ceci est néanmoins largement compensé par le grand nombre de succès obtenu par l'unité à d'autres types de financements.

Le nombre de projets réalisés en sous-traitance pour des industriels est faible au vu des possibilités des plateformes. Le nombre de techniciens et ingénieurs statutaires impliqués dans les plateformes est relativement restreint par rapport aux besoins du laboratoire, ce qui rend difficile l'optimisation de ces ressources.

DOMAINE 3 : PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Appréciation sur la production scientifique de l'unité

La production scientifique de l'unité est de très bon niveau par sa qualité, 60 % des publications étant de tout premier ordre, et par le nombre de publications avec un ratio significatif de 2,5 articles en moyenne par ETP. Le comité a beaucoup aimé que tous les membres de l'unité publient, incluant les PAR, les doctorants et post-doctorants.

Cette production de très bon niveau est typique de l'interdisciplinarité des travaux menés, avec des publications dans des revues du secteur biomédical au sens large et dans des revues disciplinaires des autres domaines scientifiques présents dans l'unité et centraux également pour l'unité. Les revues ciblées ne sont cependant pas toujours les plus prestigieuses. La production se caractérise par une multitude de sujets inédits, fondamentaux aussi bien qu'appliqués, menés sur une large gamme d'échelles, et au moyen d'approches qui empruntent à des disciplines telles la mécanique ou la physique des fluides, la matière molle ou encore l'informatique.

La production reflète par ailleurs le très bon caractère collaboratif de la recherche menée dans l'unité : 40 % de cette production est issue de collaborations académiques, industrielles, nationales et internationales ; 60 % d'entre elles étant portées par les chercheurs de l'unité BMBI. La participation des industriels et des cliniciens est cependant trop faible. La production pourrait être un peu plus élevée si la charge d'enseignement des enseignants-chercheurs n'était pas à ce point supérieure à ce qu'elle devrait être.

1/ La production scientifique de l'unité satisfait à des critères de qualité.

2/ La production scientifique de l'unité est proportionnée à son potentiel de recherche et correctement répartie entre ses personnels.

3/ La production scientifique de l'unité respecte les principes de l'intégrité scientifique, de l'éthique et de la science ouverte. Elle est conforme aux directives applicables dans ce domaine.

Points forts et possibilités liées au contexte pour les trois références ci-dessus

La production scientifique de l'unité est excellente, avec à la fois des publications dans les meilleurs journaux de leur domaine et des publications dans des journaux de qualité dans des domaines variés couvrant la mécanique et la physique des fluides, la matière molle ou encore l'informatique. À titre d'exemple, le comité note des articles dans *Journal of Biomechanics*, *Annual Review of Biomedical Engineering*, *Acta Physiologica*, *IRBM*, *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, *Computers in Biology and Medicine*, aussi bien que dans *Biomacromolecules*, *Journal of Fluid Mechanics* ou encore *Physics of Fluids*.

Parmi les faits marquants de la période, on peut citer, sans être exhaustif (on se reportera à l'évaluation des équipes pour plus de détail) : les travaux fondamentaux de l'équipe CBB sur le couplage « barrière pulmonaire/biopuce hépatique » proposant un modèle et une méthode alternative à l'expérimentation animale pour l'évaluation de la toxicité de substances inhalées ; les travaux de l'équipe IFSB couplant expérimentation et modélisation pour la mise au point de puces microfluidiques et de techniques d'électrospinning ; les protocoles de caractérisation nanomécanique par AFM développés par C2MUST en lien avec le vieillissement des fibres musculaires et une publication de référence de l'équipe CEBM permettant d'évaluer les mouvements de la face par une approche de métrologie objective.

De façon générale, la production scientifique de l'unité est souvent associée à des avancées majeures ou à des sujets originaux. Un marqueur important de la période concerne sans conteste les applications biomédicales. Pour exemple, on peut souligner la mise au point d'un foie bioartificiel extracorporel par culture dans des bioréacteurs de cellules encapsulées dans des billes d'alginate, la conception de dispositifs de réparation de la valve mitrale par la modélisation CFD des mouvements de la valve, le transfert des modèles de contraction utérine vers un dispositif permettant de prévoir les risques d'accouchement prématuré, l'élaboration de prototypes d'assistance au portage issue des études d'analyse du mouvement.

L'unité a su s'établir comme un acteur clé dans le domaine de la biomécanique, avec des approches originales et pionnières à l'international. Le taux de publication moyen est de 2,5 articles par ETP, témoignant d'une activité scientifique soutenue. La production reflète par ailleurs le caractère collaboratif de la recherche avec 40 % des articles issus de collaborations académiques, y compris avec les cliniciens, industriels, nationales et internationales. 60 % de ces collaborations sont initiées et portées par les chercheurs de BMBI.

Les non-permanents (doctorants et post-doctorants) jouent un rôle de premier plan dans la production scientifique. À la demande de l'école doctorale, ils sont formés à l'écriture scientifique. L'unité quant à elle veille à ce que les doctorants publient au moins un article en tant que premier auteur avant leur soutenance témoignant ainsi de son investissement dans le développement de la relève scientifique. Les personnels d'appui à la recherche (PAR) sont également associés le plus souvent possible, soit en tant que co-auteur, soit par des remerciements, ce qui souligne l'engagement du laboratoire à l'intégration et à la valorisation des contributions de l'ensemble des acteurs de la recherche.

L'unité veille à une répartition proportionnée des responsabilités et des possibilités, favorisant une dynamique intergénérationnelle. Les jeunes chercheurs bénéficient donc d'un environnement propice à leur développement, avec un soutien spécifique pour l'intégration dans les projets scientifiques propice à la publication de leurs travaux. L'unité mise sur l'émergence de nouvelles thématiques novatrices tout en maintenant une continuité dans les domaines d'excellence établis.

L'unité fait preuve d'une excellente prise de conscience et d'application des principes d'intégrité scientifique, d'éthique et de science ouverte. L'unité s'est ainsi engagée activement dans la promotion de la science ouverte en déposant toutes ses publications dans HAL. La sensibilisation à l'intégrité scientifique est par ailleurs renforcée par l'utilisation de logiciels de détection de plagiat fournis par l'UTC. Les formations proposées par l'unité sur les risques associés aux revues prédatrices ainsi que de l'utilisation de certains outils, comme ChatGPT, témoignent aussi du soin qu'elle porte à la formation de ses étudiants en thèse. On souligne enfin que les recherches impliquant des expérimentations sur l'animal ou sur l'humain sont systématiquement accompagnées d'une validation éthique (numéro du comité d'éthique ou CPP), garantissant la conformité aux exigences réglementaires.

Points faibles et risques liés au contexte pour les trois références ci-dessus

L'unité publie ses travaux sans toujours cibler les revues plus prestigieuses. Actuellement, la répartition des articles se concentre sur des revues de spécialité, mais l'unité pourrait viser des titres de renommée plus large afin d'accroître la visibilité de ses recherches. Par exemple, il serait pertinent de soumettre aux revues telles que *Journal of the Royal Society Interface*, *Nature Biomedical Engineering*, ou *Annals of Biomedical Engineering*, ce qui permettrait de renforcer l'impact des publications de l'unité.

La moyenne actuelle du nombre de publications par doctorant est légèrement inférieure à ce qui pourrait être attendu, avec environ une publication par thèse en deçà d'une cible à atteindre qui pourrait être du double. Bien que l'unité BMBI bénéficie de partenariats forts avec des institutions étrangères (Université de Tokyo, Université de Waterloo), le nombre de publications en co-auteur avec des chercheurs internationaux reste faible. De même, les collaborations avec des industriels et des cliniciens, qui sont stratégiques pour l'unité, ne donnent pas lieu à suffisamment de publications conjointes. Actuellement, elles ne représentent qu'environ 10 % des publications.

Les enseignants-chercheurs de l'unité BMBI assument une charge d'enseignement bien supérieure à la moyenne, atteignant en moyenne 153 % de la charge officielle. Cette surcharge, combinée à de nombreuses responsabilités administratives et pédagogiques, limite le temps consacré à la recherche et à la publication.

DOMAINE 4 : INSCRIPTION DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE DANS LA SOCIÉTÉ

Appréciation sur l'inscription des activités de recherche de l'unité dans la société

L'unité a renforcé son lien avec le monde socio-économique et clinique, ce qui est très positif. Le nombre de brevets est peu élevé au regard du nombre de dépôts de déclaration d'inventions.

L'unité s'investit bien dans les activités grand public et de communication.

1/ L'unité se distingue par la qualité et la quantité de ses interactions avec le monde non-académique.

2/ *L'unité développe des produits à destination du monde culturel, économique et social.*

3/ *L'unité partage ses connaissances avec le grand public et intervient dans des débats de société.*

Points forts et possibilités liées au contexte pour les trois références ci-dessus

L'unité est reconnue dans deux pôles de compétitivité, Medicen et BioValley, et a porté une attention particulière à ses relations avec le monde de la clinique et des industriels. Ces partenariats ont permis de proposer ou d'évaluer de nouvelles solutions thérapeutiques, de nouveaux outils d'aide au pronostic ou au diagnostic. L'unité BMBI fait partie de l'Institut Faire Faces lui permettant ainsi de bénéficier de fortes interactions avec le milieu médical au CHU d'Amiens. Des contrats ont été obtenus par des FUI, accord-cadre, plan de relance, sept dispositifs Cifre et un financement d'un projet ANR PRCE pour 1,1 M€. Au niveau clinique, comme il n'y a pas de CHU à Compiègne, l'unité s'est orientée vers des hôpitaux aux alentours en Picardie et le Grand Paris et est partenaire d'un RHU.

L'unité BMBI a déposé quinze déclarations d'invention qui ont donné lieu à sept brevets et trois protections de logiciel. La SATT a validé un programme de maturation de deux ans. L'unité a mis en place un suivi de toutes ses inventions.

L'unité participe à des activités grand public comme la fête de la science et le festival du CNRS et a co-créé une exposition pour les 80 ans du CNRS. Elle a présenté un atelier sur « l'homme réparé ». De plus, l'unité a une chaîne YouTube et a créé différentes capsules vidéos et des interviews. Les doctorants participent au MT180 de Sorbonne Université.

Points faibles et risques liés au contexte pour les trois références ci-dessus

Les brevets sont essentiellement en micro-fluidique, mais n'ont pas encore donné lieu à la création d'une startup. D'autres domaines sont pourtant adaptés pour mener des actions de transfert comme le dispositif d'assistance physique non robotisé/non motorisé de type exosquelette pour le transport manuel de charges ou le dispositif de réparation de la valve mitrale. Des contacts avec la SATT et des instituts Carnot ont commencé.

L'unité BMBI s'investit dans des activités grand public et dans la diffusion des activités de recherche, mais ces actions sont déséquilibrées entre les personnels avec notamment un plus faible investissement des nouveaux membres de l'unité et des doctorants.

ANALYSE DE LA TRAJECTOIRE DE L'UNITÉ

La recherche en biomécanique, présente à l'UTC depuis les années 70, a présidé à la création de l'unité en 1982, à son positionnement pionnier dans ce domaine et à son évolution vers une recherche toujours plus collaborative et interdisciplinaire, entre ingénierie et vivant, en lien avec des enjeux de santé publique.

Dans les cinq dernières années, l'unité a accompagné la révolution que connaît la médecine depuis deux décennies en proposant des modèles adaptés, fondés sur le développement d'approches pertinentes, quantitatives, explicatives et prédictives, mêlant expérimentation et simulation, dans un dialogue délicat et incontournable entre systèmes vivants et systèmes bioartificiels. Certains travaux ont été couronnés de succès tangibles : mise au point d'un foie bioartificiel extracorporel par culture dans des bioréacteurs de cellules encapsulées dans des billes d'alginate, dispositifs de réparation de la valve mitrale par la modélisation CFD des mouvements de la valve, transfert des modèles de contraction utérine vers un dispositif permettant de prévoir les risques d'accouchement prématuré, prototypes d'assistance au portage issu des études d'analyse du mouvement.

Le changement de paradigme actuel, avec la « médecine 6P », spécifique à chaque patient, s'accompagne de deux autres révolutions. La première concerne l'importance de l'accès à des données de qualité et leur traitement. La seconde est en lien avec le cadre réglementaire autorisant désormais la mise sur le marché de dispositifs et médicaments de thérapie innovante sans essais animaux, validés sur la base de résultats fournis par des modèles. C'est dans ce cadre que l'unité de recherche BMBI inscrit sa trajectoire pour la prochaine période de contractualisation. Il s'agira ainsi de développer des modèles biomécaniques du vivant, numériques et expérimentaux, in vitro ou in vivo, capables de reproduire fidèlement la complexité inhérente au corps humain et de les faire dialoguer avec les données.

La stratégie proposée est très appropriée, avec le développement de modèles dits « jumeaux numériques ». Les modèles expérimentaux bénéficieront notamment des techniques microfluidiques maîtrisées de longue date dans l'unité. Les modèles numériques intégreront la non-stationnarité des phénomènes et les stimulations externes. La réduction nécessaire des temps de calcul en routine clinique sera obtenue par la mise en œuvre du calcul HPC et de l'IA. Les enjeux technologiques, spécificité forte de l'unité, resteront une cible majeure. Un intérêt particulier sera dorénavant apporté à l'analyse du cycle de vie des dispositifs développés, en lien avec les enjeux de transition. Dans un esprit d'exhaustivité, la personnalisation des modèles et l'exploitation des données qui y est inhérente, impliquant des études sur des personnes, la prise en compte des aspects éthiques est également envisagée, en lien avec le comité d'éthique de Sorbonne Université.

L'intérêt de ce projet et de la trajectoire dans laquelle s'inscrit l'unité sont enthousiasmants par leur impact scientifique et sociétal. Ils sont par ailleurs convaincants du fait de leur adéquation avec ce qui fait l'ADN de l'unité et des travaux qui y sont menés. L'unité BMBI est en effet une unité remarquable par la qualité de ses réalisations scientifiques et techniques en direction des applications biomédicales, depuis sa création et toujours d'actualités à ce jour. Elle dispose par ailleurs d'équipements de pointe qui sont mis à disposition sur des plateformes et des métaplateformes, avec des personnels propres assurant un usage optimal. Elle a montré, enfin, être à même de relever les défis à venir, par son positionnement unique et revendiqué dans un continuum Recherche-Ingénierie-Technologie pour la santé, dans un équilibre fécond entre recherche fondamentale de haut niveau nécessaire à la compréhension de la physique des phénomènes et recherche applicative motivée par l'innovation et le transfert.

À la suite de Cécile Legallais, le projet de l'unité est porté par Anne-Virginie Salsac en tant que directrice d'unité et par Muriel Vayssade et Dan Istrate en tant que directeurs adjoints. Le mode de fonctionnement actuel, harmonieux et collégial, avec notamment des conseils scientifiques et des conseils techniques en plus des conseils d'unité, est une véritable force. Il sera pérennisé et constituera une base solide et l'occasion de réfléchir à d'autres organisations scientifiques, permettant en particulier d'intégrer les chercheurs et enseignants-chercheurs juniors aux missions de pilotage et de gestion de la recherche au sein de l'unité et de favoriser la synergie entre les axes sur des thématiques communes. La présentation de la trajectoire par la future direction est stimulante et prometteuse.

RECOMMANDATIONS À L'UNITÉ

Recommandations concernant le domaine 1 : Profil, ressources et organisation de l'unité

L'unité est encouragée à continuer à répondre à des projets internationaux et à inviter des chercheurs étrangers sur une durée de plus d'un mois.

En raison de la dispersion géographique de l'unité sur le campus de l'UTC, une salle commune à toute l'unité BMBl permettrait des échanges et des moments de convivialité entre les membres, notamment dans le cadre de l'orientation vers quatre axes que s'est fixée l'unité.

L'unité est encouragée à associer les personnels juniors à l'organisation globale du laboratoire en leur affectant des responsabilités d'administration de la recherche, permettant par ailleurs d'anticiper leur progression de carrière. Le passage de l'HDR est particulièrement encouragé, une marge de progression étant clairement possible dans le prochain mandat.

Il est conseillé de continuer les efforts mis en place par l'unité en présentant des candidats CNRS en section 09, 28, et interdisciplinaire, mais également en section 10.

Il est fortement recommandé de pérenniser le personnel d'appui à la recherche. L'unité doit par ailleurs poursuivre son processus de tarification sur tous les équipements. Une liste complète des équipements aiderait dans la mutualisation. Compte tenu du nombre d'équipements, un plan de gestion et de maintenance pourrait aider l'unité.

La trajectoire du laboratoire s'oriente vers quatre axes de recherche pour favoriser davantage de porosité entre les axes. Il est conseillé à l'unité de commencer la mise en place de cette nouvelle organisation dès l'année 2025. Les objectifs scientifiques de l'équipe CEBM gagneraient à être mieux définis.

La création d'un comité scientifique et d'un *Scientific Advisory Board* (SAB) est appréciée par le comité même s'il a très peu fonctionné jusqu'ici. Cette action mérite d'être poursuivie.

La charge d'enseignement des enseignants-chercheurs est trop importante et mériterait d'être réduite pour que les membres du BMBl aient plus de temps pour la recherche. Cette charge pourrait être réduite par la création de nouveaux postes, notamment PRAG, pour alléger les tâches d'enseignement des enseignants-chercheurs et ainsi stimuler leur productivité scientifique.

En répondant à ces axes d'amélioration, le BMBl pourra renforcer sa visibilité internationale, mieux exploiter ses collaborations existantes, et optimiser sa production scientifique pour atteindre ses objectifs stratégiques.

L'interdisciplinarité de l'unité est un atout, mais cela peut également entraîner des faiblesses comme l'isolement thématique de certaines personnes, l'unité doit surveiller cela.

Les expérimentations en biomécanique sur les tissus biologiques, sur l'animal ou sur l'homme nécessitent des demandes d'autorisations éthiques dans chacun de ces domaines. Un groupe de travail dans ce domaine pourrait aider au fonctionnement de l'unité.

À l'issue des réunions du Copil, la production et le partage de comptes rendus systématiques permettraient d'améliorer la communication et l'appropriation des informations par l'ensemble des membres du laboratoire.

En ce qui concerne l'organisation interne de l'unité et son articulation autour de quatre axes, il va être primordiale qu'une attitude constructive des axes et de leur responsable, allant dans le sens choisi par la majorité de l'unité et portée par la direction de l'unité, soit le fil conducteur de tous dans une ambiance apaisée et des échanges conviviaux, constructifs et collaboratifs.

Recommandations concernant le domaine 2 : Attractivité

Le comité suggère qu'une réflexion soit menée afin que les travaux de chacune des équipes soient représentés de façon plus uniforme lors de conférences invitées en France et à l'étranger. Il invite les membres de l'unité à candidater davantage à des appels à projets internationaux et européens pour augmenter le rayonnement de BMBl.

Le comité encourage la poursuite de l'effort pour permettre le recrutement de chercheur CNRS. L'unité devrait continuer à recruter sur des expertises existantes même si la tendance est d'aller vers de nouveaux profils et de nouvelles disciplines.

L'unité possède des équipements et des compétences techniques remarquables, organisés au sein de deux plateformes et deux métaplateformes. Leur labélisation par CNRS Ingénierie notamment est en cours et gagnerait à être finalisée afin d'apporter la visibilité adéquate à ce parc expérimental.

Recommandations concernant le domaine 3 : Production scientifique

Le comité encourage l'unité à maintenir la qualité des publications tout en les soumettant dans des revues à plus haut facteur d'impact et à augmenter le nombre de publications par doctorant. Il faudra veiller à corriger les disparités de publication intra et inter-équipes.

Puisque l'unité BMBI bénéficie de partenariats forts avec des institutions étrangères (Université de Tokyo, Université de Waterloo), le nombre de publications en co-auteur avec des chercheurs internationaux pourrait être augmenté significativement. De même, les collaborations avec des industriels et des cliniciens, qui sont stratégiques pour l'unité, devraient donner lieu à davantage de publications conjointes. Actuellement, elles ne représentent qu'environ 10 % des publications. L'objectif pourrait être de doubler ce chiffre pour mieux aligner les résultats scientifiques sur les orientations stratégiques de l'unité.

Concernant les doctorants, l'objectif pourrait être d'atteindre au moins deux articles par doctorant avant la soutenance, afin d'améliorer la visibilité des travaux de thèse et la compétitivité des doctorants sur le marché de l'emploi. Une augmentation de 30 à 50 % sur le prochain quinquennal pourrait être envisagée.

Le projet de l'unité devrait intégrer une chaîne complète d'intervention en incluant toutes les étapes comme la prévention, le diagnostic, la réparation, la réhabilitation, la rééducation et la performance.

Recommandations concernant le domaine 4 : Inscription des activités de recherche dans la société

Le comité encourage l'unité à intensifier ses interactions avec les industriels. L'unité devra cependant veiller à répondre de manière sélective aux sollicitations des acteurs du monde socio-économique pour éviter la dispersion scientifique. Les contacts avec les industriels augmentant, l'unité doit apprendre à les gérer d'une façon plus structurée et ainsi diminuer le temps qui y est consacré.

Les résultats scientifiques de l'unité se prêtent bien au dépôt de demande de brevet qu'elle est encouragée à amplifier. Des contacts avec la SATT et des instituts Carnot pourraient être renforcés pour davantage mettre en valeur ces brevets. De plus, l'unité pourrait envisager la création d'une startup.

L'unité BMBI s'investit dans des activités grand public et dans la diffusion des activités de recherche, mais il serait bon que de nouveaux membres de l'unité et plus de doctorants s'investissent dans ces activités grand public. La diversification des membres impliqués dans ce domaine pourrait augmenter la visibilité de l'unité.

ÉVALUATION PAR ÉQUIPE

Équipe 1 : Équipe Cellules, Biomatériaux, Bioréacteurs (CBB)

Nom de la responsable : Muriel VAYSSADE

THÉMATIQUES DE L'ÉQUIPE

L'équipe CBB s'est fixé comme objectif la construction de modèles tissulaires complexes reproduisant la structure multi-échelles tridimensionnelles natives des organes. Ses activités portent sur les interactions entre cellules/tissus et l'environnement (biomatériaux, matrice extracellulaire, contraintes mécaniques, facteurs biochimiques) qui sont reproduits puis étudiés afin de mieux appréhender leurs impacts sur les fonctionnalités des tissus sains ou pathologiques et des tissus reconstruits. Les compétences disciplinaires de l'équipe intègrent les aspects biomatériaux, l'ingénierie tissulaire et les microsystèmes autour de quatre thèmes : les matériaux pour dispositifs médicaux implantables ou invasifs, la bioingénierie du foie, les barrières physiologiques et les interfaces de tissus biohybrides.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Lors de la précédente visite du comité Hcéres, la première recommandation était d'établir des priorités sur les thématiques pour favoriser l'émergence de certains projets et de veiller à bien adapter les activités par rapport à la concurrence internationale eu égard au risque de « dispersion des thèmes de recherche en regard des moyens humains de l'équipe ». En réponse, l'équipe s'est réorganisée autour de quatre thèmes, ce qui a probablement permis une meilleure visibilité de son activité de recherche et une répartition efficace de son potentiel humain sans pour autant être en mesure d'établir des priorités et de bien orienter ses activités par rapport à la concurrence.

La deuxième recommandation portait sur un effort sur le recrutement de chercheurs, d'enseignants-chercheurs et de techniciens ou ingénieurs pour assurer le fonctionnement de tous les axes de recherche affichés. L'équipe a répondu favorablement en recrutant un MCF en 2020 et un enseignant-chercheur contractuel en 2023 ; tous relèvent de la section CNU 65. L'équipe a aussi recruté six post-doctorants et l'un d'entre eux comme IR en 2019.

La troisième recommandation concernait l'amélioration des « interactions avec le monde industriel des biomatériaux ». En réponse, l'équipe CBB s'est engagée dans deux dispositifs Cifre (Sanofi, Procope Medicals), un projet financé par l'ANR PRCE (MimLiverOnChip avec les entreprises Fluigent et HCS Pharma) et des partenariats avec LARS (projet FUI Liga2Bio) et Activ Biomat (projet Stimule ANTIADH).

EFFECTIFS DE L'ÉQUIPE : en personnes physiques au 31/12/2023

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	1
Maitres de conférences et assimilés	2
Directeurs de recherche et assimilés	1
Chargés de recherche et assimilés	0
Personnels d'appui à la recherche	4
Sous-total personnels permanents en activité	8
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	1
Personnels d'appui non permanents	1
Post-doctorants	2
Doctorants	16
Sous-total personnels non permanents en activité	20
Total personnels	28

ÉVALUATION

Appréciation générale sur l'équipe

L'équipe CBB peut se prévaloir d'une activité de recherche dynamique et de très bon niveau eu égard aux compétences des personnalités scientifiques de tout premier plan qui la composent et aux nombreuses interactions avec les équipes IFSB et C2MUST sur la période. L'équipe CBB couvre un large spectre d'activité partant des biomatériaux et de leur biocompatibilité pour des dispositifs médicaux jusqu'à l'ingénierie tissulaire et la médecine régénératrice.

La production scientifique est de qualité avec des études le plus souvent novatrices et des publications à facteurs d'impacts assez élevés. Cependant, le nombre de publications a diminué, passant de 106 à 70 articles.

Le positionnement de l'équipe par rapport à la concurrence internationale constitue une piste d'amélioration. Le comité souligne un risque de dispersion thématique au vu du nombre de permanents de l'équipe. Le risque de dispersion est également accentué par la diversité des collaborations qui, bien qu'enrichissantes, peuvent disperser les efforts si elles ne sont pas alignées sur une stratégie thématique cohérente. Les interactions avec le secteur non-académique ne semblent pas assez exploitées pour générer un impact économique tangible.

Points forts et possibilités liées au contexte

L'équipe CBB se distingue par ses contributions scientifiques, sa capacité à mobiliser des financements et ses initiatives de valorisation. Son ambition de transformer les avancées scientifiques en soins personnalisés se manifeste par le développement de modèles tissulaires complexes, intégrant les interactions cellulaires et les biomatériaux, avec des applications en médecine personnalisée, toxicologie prédictive et médecine régénératrice.

La coordination du projet PEPR exploratoire MED-OOC, avec un budget de 48 M€, établit l'équipe comme un acteur clé de l'innovation dans les organes et organoïdes sur puce, ouvrant de nouvelles perspectives en recherche pharmacologique et essais cliniques. Entre 2018 et 2023, l'équipe CBB a levé plus de 2,3 M€ de fonds, produit 70 publications et doublé les publications communes avec les équipes IFSB et C2MUST. Ces résultats illustrent sa compétitivité et son impact en recherche interdisciplinaire.

Les collaborations avec l'Inserm U1138 et le Centre Hépatobiliaire de Villejuif, centre de référence en transplantations hépatiques, renforcent l'importance clinique des recherches menées. Par ailleurs, l'équipe participe activement au développement de dispositifs médicaux, tels que le cœur artificiel et les membranes biohybrides, et a soumis quatre demandes de brevets, soulignant son potentiel en valorisation et innovation.

La diversité des thématiques (biomatériaux, bioingénierie du foie, barrières physiologiques, interfaces de tissus biohybrides) permet d'explorer divers domaines de l'ingénierie tissulaire, favorisant l'acquisition de compétences et de technologies. Cette polyvalence représente un atout pour les projets en préparation.

Bien que l'équipe soit déjà reconnue dans l'espace européen de la recherche (ESAO, projets financés par le PHC), la possibilité d'élargir sa visibilité existe, notamment par des réponses aux appels Horizon Europe, pour renforcer son positionnement et attirer de nouveaux talents. Les partenariats en cours avec le secteur industriel (dispositifs Cifre, collaborations) offrent des perspectives de création de produits innovants, notamment dans le domaine des biopuces microfluidiques pour la toxicologie prédictive.

Les efforts partiellement aboutis de recrutement (MCF, ECC, ingénieurs) ont permis de compenser en partie les départs de personnels permanents. Par ailleurs, la bioingénierie du foie et les modèles organoïdes continuent d'offrir des perspectives prometteuses en médecine personnalisée, avec des projets comme RHU iLite ou ANR Track-NAFLD, susceptibles d'améliorer les traitements des maladies hépatiques et métaboliques.

Points faibles et risques liés au contexte

Durant la période 2018-2023, l'équipe CBB a maintenu une activité scientifique soutenue, mais le nombre de publications a diminué, passant de 106 à 70 articles. Cette baisse pourrait être liée au risque de dispersion des axes de recherche, déjà souligné lors de la précédente évaluation. En effet, les thématiques couvertes par l'équipe restent très diversifiées, allant des biomatériaux à la bioingénierie du foie, en passant par les barrières

physiologiques et les interfaces de tissus biohybrides. Cette dispersion pourrait avoir limité la capacité à concentrer les efforts sur des projets plus ciblés et à fort impact.

Le thème de la bioingénierie du foie s'avère le plus prolifique en matière de production scientifique, mais l'absence de priorités claires des autres thématiques pourrait avoir contribué à la régression globale des publications.

Le positionnement de l'équipe par rapport à la concurrence internationale est un point de faiblesse. Bien que l'équipe soit active au niveau européen, elle n'a pas encore pleinement saisi les occasions offertes par les appels à projets internationaux, tels qu'Horizon Europe, pour renforcer sa visibilité mondiale et attirer des financements significatifs.

Le risque de dispersion est également accentué par la diversité des collaborations qui, bien qu'enrichissantes, peuvent disperser les efforts si elles ne sont pas alignées sur une stratégie thématique cohérente. Par ailleurs, la restructuration de l'équipe avec le départ de trois chercheurs permanents et l'arrivée de nouveaux chercheurs n'a pas encore permis de compenser pleinement l'impact de ces départs sur les activités de recherche. Les recrutements récents, bien que bénéfiques, ne sont pas suffisants pour assurer une continuité et un renforcement des compétences dans les domaines stratégiques.

Les interactions avec le secteur non-académique, bien qu'encourageantes, ne semblent pas assez exploitées pour générer un impact économique tangible. Le transfert technologique reste encore limité, et le potentiel de valorisation de certaines innovations, telles que les biopuces microfluidiques ou les dispositifs médicaux développés, n'est pas pleinement exploité.

En somme, l'équipe CBB fait face à des défis importants liés à la gestion des priorités des thématiques, à la compétitivité internationale et à la structuration de ses collaborations, nécessitant une stratégie claire pour optimiser son potentiel de croissance.

Analyse de la trajectoire de l'équipe

L'équipe CBB a évolué au cours du mandat 2018-2023, en élargissant ses thématiques de recherche de deux à quatre, avec une approche pluridisciplinaire intégrant des interactions internes et entre les équipes, notamment avec les équipes IFSB et C2MUST. Cette réorganisation a permis d'augmenter les collaborations et la diversité thématique, mais a également mis en lumière le risque de dispersion, déjà signalé lors de l'évaluation précédente. La réduction de la production scientifique, passant de 106 à 70 articles, pourrait en partie découler de cette diversification des axes.

La dynamique de levée de fonds contractuelle reste toutefois remarquable, avec plus de 2,3 M€ obtenus sur la période, malgré le départ non compensé de trois chercheurs permanents (1 PR 65, 1 DR 28, 1 CR 28). Cette réduction d'effectif a été partiellement atténuée par le recrutement de jeunes chercheurs, mais le maintien d'un haut niveau de performance scientifique pourrait être compromis par le manque d'expérience de ces nouvelles recrues. Le potentiel humain de l'équipe repose principalement sur les compétences des sections CNU/CRS 65, 28 et 10, complétées par des ingénieurs et techniciens spécialisés dans les sciences du vivant et de l'ingénieur.

L'encadrement doctoral est à la hauteur des attentes, avec des distinctions significatives pour les doctorants, ce qui souligne la qualité de la formation. Les réunions mensuelles permettent de coordonner efficacement les projets, informer sur les appels à projets et assurer le suivi scientifique, mais des défis subsistent quant à la gestion des priorités des thématiques pour éviter la dispersion.

La transition vers la nouvelle dénomination «BioFab» marque une volonté de renouvellement tout en conservant les mêmes enjeux scientifiques majeurs. L'organisation en trois thèmes est une tentative de recentrage stratégique pour répondre aux défis de l'ingénierie tissulaire, avec une structuration autour des biomatériaux, des micro-environnements cellulaires et des organoïdes fonctionnels. Cette approche vise à renforcer les modèles biofidèles et les applications précliniques et cliniques, tout en exploitant les infrastructures de la métaplateforme INGESYSBIO.

En matière de visibilité, la trajectoire internationale de l'équipe reste perfectible. L'absence de participation significative à des programmes européens (hormis quelques projets) limite le rayonnement à l'échelle mondiale.

En résumé, la trajectoire de CBB montre une évolution positive malgré des défis organisationnels et des risques liés à la dispersion des thèmes de recherche. Le recentrage en cours représente l'occasion de stabiliser et d'accroître les performances futures de l'équipe.

RECOMMANDATIONS À L'ÉQUIPE

Pour le prochain quinquennat, il est recommandé que l'équipe BioFab intensifie ses efforts pour améliorer sa visibilité à l'international. En s'engageant davantage dans les programmes européens, tels qu'Horizon Europe, et en établissant des accords-cadres de coopération scientifique, l'équipe pourra valoriser ses compétences et étendre ses collaborations stratégiques. Le soutien des réseaux CNRS, à travers les départements thématiques et les ITMOs, sera crucial pour intégrer les initiatives internationales et bénéficier d'un accompagnement au montage de projets.

Il est conseillé d'accorder la priorité au recrutement de profils CNU section 60/33 pour renforcer l'expertise en biomatériaux, combler les lacunes actuelles et optimiser les interactions avec les autres équipes de l'UR BMBI. Cela permettra de consolider les efforts en matière de recherche pluridisciplinaire, tout en augmentant la capacité de l'équipe à répondre aux grands défis scientifiques. Bien entendu, les efforts sur le recrutement de personnels CNRS doivent être maintenus.

Le comité souligne la nécessité d'établir des priorités stratégiques entre les différents axes de recherche pour éviter de diluer les ressources et améliorer l'efficacité de la production scientifique. Par ailleurs, l'équipe doit anticiper les verrous scientifiques, mettre en perspective ces défis et mobiliser les ressources CNRS pour surmonter les obstacles. Ceci garantira l'efficacité et la pertinence des avancées scientifiques, tout en alignant les recherches sur les priorités nationales et internationales en santé et ingénierie tissulaire.

Les interactions avec le secteur non-académique, bien qu'encourageantes, doivent être davantage exploitées pour générer un impact économique tangible.

Équipe 2 : Interactions Fluides Structures Biologiques (IFSB)

Nom de la responsable : Anne-Virginie SALSAC

THÉMATIQUES DE L'ÉQUIPE

Les recherches portent sur la biomécanique des fluides, à l'intersection de la mécanique, de la physique et des sciences de la vie. Elles visent à identifier et décrire les interactions entre les écoulements physiologiques et les structures déformables associées. Les systèmes vivants sont examinés à travers une approche biomimétique ; les systèmes bioartificiels sont abordés d'un point de vue bioinspiré. L'équipe innove en développant des techniques thérapeutiques mini-invasives. Les études couvrent toutes les échelles du système cardiovasculaire et les approches sont multiphysiques, combinant des techniques numériques en lien avec des méthodes de réduction de modèles, développements expérimentaux mettant en œuvre des systèmes microfluidiques et caractérisations par imagerie médicale fonctionnelle. Elles intègrent par ailleurs des études cliniques.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

La première recommandation, continuer à développer des outils expérimentaux originaux permettant de valider les modèles et simulations pour maintenir la qualité de production et de publication de l'équipe a été prise en compte. En témoignent des développements de techniques thérapeutiques combinant approches numériques, développements de systèmes microfluidiques et caractérisations par imagerie médicale fonctionnelle.

Sur la diversification des financements, le DAE met en évidence des financements sur AAP institutionnels au niveau local et national en passant par les investissements de la région. Les fonds européens contribuent à hauteur de près de 50 % du budget de l'équipe. L'implication des partenaires socio-économiques est également perceptible avec une contribution à hauteur de 20 % du budget global et un engagement pérenne de certains industriels.

Une dernière recommandation soulignait l'absence de PAR affecté spécifiquement à l'équipe, mettant en difficulté le fonctionnement des équipements et la pérennisation des savoir-faire, notamment au niveau de la plateforme microfluidique. Tant l'UTC que le CNRS ont accédé à ce besoin. Un IR spécialisé en microfluidique est aujourd'hui affecté à mi-temps à l'équipe et assure la responsabilité technique des deux plateformes portées par l'équipe. Un IE, affecté à temps plein à l'équipe, apporte un soutien en modélisation numérique, l'autre spécificité et la force de l'équipe.

EFFECTIFS DE L'ÉQUIPE : en personnes physiques au 31/12/2023

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	1
Maitres de conférences et assimilés	3
Directeurs de recherche et assimilés	1
Chargés de recherche et assimilés	1
Personnels d'appui à la recherche	2
Sous-total personnels permanents en activité	8
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	1
Personnels d'appui non permanents	0
Post-doctorants	0
Doctorants	7
Sous-total personnels non permanents en activité	8
Total personnels	16

ÉVALUATION

Appréciation générale sur l'équipe

L'équipe IFSB est constituée de chercheurs reconnus au niveau international avec des marqueurs forts relatifs aux écoulements physiologiques et aux écoulements de microcapsules. Elle se distingue au sein de sa communauté scientifique, par une approche originale, alliant développements expérimentaux et codes numériques, en collaboration avec des cliniciens. Son attractivité se mesure par ses résultats et ses publications de qualité, les sollicitations de ses pairs au niveau national et international. Son activité à destination des partenaires industriels, en lien avec les enjeux sociétaux liés à la santé, est remarquable. L'équipe est fortement engagée dans la médiation scientifique.

Le nombre de publications dans les revues est faible. Ces publications sont par ailleurs dispersées (près de 40 titres différents). Ce choix peut induire un manque de visibilité.

Points forts et possibilités liées au contexte

L'équipe est structurée autour de deux thèmes et cinq axes scientifiques qui interagissent entre eux. Elle est reconnue pour ses travaux sur les écoulements de microcapsules et de cellules et sur les écoulements physiologiques. L'originalité tient au couplage entre développement d'expériences pointues mettant en œuvre des systèmes microfluidiques et d'outils numériques permettant d'extraire des lois de transfert pertinentes.

Les chercheurs publient dans des revues à forte visibilité internationale des domaines de la mécanique et de la biophysique. Le comité compte une cinquantaine d'articles dans des journaux internationaux à comité de lecture tels que *Computers in Biology and Medicine*, *Micro & Nanofluidics* ou *Journal of Fluid Mechanics*. La participation aux conférences, aux séminaires, et les publications dans des revues nationales, ouvrages et chapitres d'ouvrage, témoignent en outre du dynamisme des chercheurs à diffuser leurs travaux.

Outre les aspects académiques, les activités d'IFSB se caractérisent par des collaborations étroites avec les partenaires socio-économiques comme l'entreprise *Segula Technologies* ou *Guerbet*, et des liens forts avec les praticiens hospitaliers (Hôpital Henri Mondor, CHU Dijon, CHU Amiens, Hôpital Saint-Antoine, CHU Rennes). L'intégration des approches fondamentales et des actions de valorisation a permis la finalisation de deux brevets internationaux sur un implant pour valve cardiaque pour l'un et sur un implant mini-invasif de réparation de valve cardiaque pour l'autre. Deux déclarations d'invention ont aussi été déposées : un logiciel de génération géométrique 3D de modèles de valves mitrales (2022) d'une part et un implant pour valve cardiaque en cours de dépôt d'autre part. La valorisation des résultats, notamment auprès de fabricants de dispositifs biomédicaux, est parfaitement appréhendée et des fonds de maturation (1,3 M€) ont été obtenus. Les financements industriels représentent environ 20 % du budget global.

L'équipe a obtenu plusieurs financements de projets sur AAP compétitifs en tant que partenaire et a porté dans la période un projet financé par l'ERC, un projet financé par le FEDER, deux projets financés par l'ANR, cinq projets financés par la Région, deux projets financés par l'idex et sept projets industriels. Notons que le projet Consolidator Grant *MultiphysMicroCaps* financé par l'ERC, sur le comportement de microcapsules déformables en écoulement ouvrant la voie à de nouvelles générations de microvecteurs pour des substances actives, a aussi profité à l'ensemble de l'équipe et même de l'unité par les équipements et les personnels qu'il a apportés. Sur la période évaluée, les fonds européens contribuent à hauteur de près de 50 % du budget de l'équipe.

Les membres de l'équipe sont impliqués dans la formation par la recherche, référents pour la formation doctorale et coordinateur d'un parcours et d'une mention de master notamment. Au crédit de l'équipe également, une quarantaine d'actions de médiation scientifique, notamment lors de présentations à l'Académie des Sciences ou des *Rendez-vous Biomédical*.

Le recrutement des doctorants est remarquablement exogène, provenant de tout le territoire français, assurant une diversité des cultures et formations scientifiques qui profite aux échanges au sein de l'unité. Les financements sont variés et proviennent, outre les contrats doctoraux, de l'Europe, l'international et l'industrie. Le comité compte par ailleurs un taux d'encadrement moyen de l'ordre de quatre doctorants/ETP ce qui est remarquable.

L'équipe a reçu deux prix de thèse en 2019 et en 2022. Un article d'un chercheur permanent a été mis à l'honneur par le journal « *Computers in Biology and Medicine* » en 2018. Un autre chercheur, officier de l'Ordre National du Mérite 2018, a par ailleurs présidé le COS du *World Congress of Biomechanics* en 2018 et en 2022.

Les membres de l'équipe sont sollicités pour des responsabilités d'animation et d'administration de la recherche. Le comité note la codirection du GDR «MECABIO» de 2017 à 2021, la direction du GDR «MECABIO Santé» depuis 2022, et la fonction de secrétaire du CNFM depuis 2023.

Au niveau local, les membres de l'équipe siègent au CS de l'UTC, au Conseil de département ou encore au CA de la Fondation Partenariale de l'UTC.

Au sein de l'unité, l'équipe assure le pilotage scientifique et technique des plateformes « Modélisation en biomécanique des fluides » et « Microfluidique microsystèmes cellulaires ».

Points faibles et risques liés au contexte

Le potentiel d'encadrement est contraint, l'équipe comptant un PR et un DR, pour trois MCF et un CR. Cela pose la question de la charge des responsabilités administratives et de gestion de la recherche, ainsi que les possibilités et perspectives offertes par les postes offerts aux concours DR et PR.

Il en résulte également des disparités entre chercheurs, la responsabilité scientifique des contrats industriels et sur AAP ainsi que la dynamique de publications ou d'encadrement des doctorants étant portées à plus de 30 % par trois chercheurs et enseignants-chercheurs.

Près de quarante titres différents publient les travaux des chercheurs de l'équipe IFSB, soit une cinquantaine d'articles. Ce choix peut induire un manque de visibilité.

Le comité note peu d'articles de revue. Pour une équipe avec une telle attractivité, un tel rayonnement et autant de savoir-faire, de telles productions seraient justifiées et contribueraient à la communication des résultats à la juste valeur de leur qualité.

Le nombre de dispositifs Cifre sur la période est de deux, ce qui peut paraître timide par rapport au potentiel de valorisation des sujets et problématiques abordés par l'équipe.

Le comité ne note pas de transfert méthodologique, notamment autour des bancs expérimentaux (puces microfluidiques) et des codes numériques (licences) développés en propre.

Analyse de la trajectoire de l'équipe

L'équipe IFSB possède un savoir-faire de longue date sur les interactions fluides des structures biologiques en écoulement. Ses travaux sur les écoulements physiologiques d'une part, sur la caractérisation expérimentale et la modélisation numérique du mouvement de microcapsules et cellules en écoulement d'autre part, sont des marqueurs forts de ses recherches.

Sur la période, le nombre de C et EC est resté stable, les départs et essaimages ayant été compensés par des recrutements. Cette stabilité, avec des C et EC séniors sur les thématiques ancrées dans l'ADN de l'unité et de l'équipe, couplé à ce dynamisme, avec des C et EC entrants sur des thématiques renouvelées, projettent l'activité de l'équipe dans une perspective enthousiasmante. Cela concerne notamment le développement de modélisations intégrant des données patients-spécifiques multi-modales pour l'aide à la décision clinique. Les approches développées sont originales, tant sur le plan expérimental avec la conception de dispositifs microfluidiques uniques, que sur le plan de la modélisation numérique. Dans ce domaine, aux travaux en réduction d'ordre des modèles « interactions fluide-structure » seront ajoutés des modèles hybrides, pour lesquels des méthodes d'apprentissage machine seront introduites de manière intrusive.

Pour mener à bien ces recherches, l'équipe dispose de moyens humains, en nombre et en qualité, à travers les C et EC confirmés et ceux ayant récemment rejoint l'équipe. Les moyens financiers dont elle dispose sont pour partie sécurisés et de nombreuses demandes sont en cours d'évaluation ou en cours de dépôt.

La trajectoire de l'équipe IFSB se révèle donc robuste, construite sur un ensemble de compétences et de résultats remarquables, portée par un savoir-faire et des ressources humaines appropriées. Elle bénéficie également de moyens et d'équipements adaptés et s'inscrit dans une dynamique convaincante, axée sur des projets expérimentaux novateurs et de défis scientifiques motivants, notamment dans le domaine des structures biologiques et de leurs interactions avec les fluides en écoulement.

RECOMMANDATIONS À L'ÉQUIPE

Le comité note un nouveau souffle sur la période d'évaluation en RH. De nouveaux entrants sont ainsi porteurs d'une nouvelle dynamique liée à des projets nouveaux et de nouveaux moyens d'investigation. Il faudrait consolider l'ancrage des nouveaux arrivants dans la vie de l'équipe et de l'unité, en les accompagnant pour

l'obtention de ressources humaines et financières leur permettant de développer leurs recherches. Plus largement, cet accompagnement devra être encouragé et consolidé par des prises de responsabilités assurant la visibilité de chacun. Pour le passage de l'HDR, une marge de progression est souhaitable dans la prochaine période d'évaluation.

La stratégie internationale de l'équipe est très bonne avec un projet financé par l'ERC, un projet financé par le FEDER et de nombreuses collaborations. L'équipe doit continuer à structurer sa stratégie internationale pour maintenir voire gagner en visibilité. Le potentiel de nouveaux projets européens, exploitant les résultats du projet financé par l'ERC et les projetant dans la dynamique portée par les nouveaux entrants, pourrait être un levier.

L'organisation de congrès internationaux est une autre clé que l'équipe a toute légitimité à actionner.

Le comité invite l'équipe à augmenter le nombre de publications dans les revues. Privilégier les journaux phares en limitant les parutions dans des titres périphériques permettrait de refléter le cœur d'activité et les compétences de l'équipe.

Équipe 3 : Caractérisation et Modélisation personnalisée du système musculo-squelettique (C2MUST)

Nom des responsables : Sofiane BOUDAOU et Karim EL KIRAT

THÉMATIQUES DE L'ÉQUIPE

L'équipe se concentre sur deux thématiques scientifiques : la caractérisation multi-échelles et multi-physique, et la modélisation multiphysique couplée à l'analyse de données multimodales. La première thématique englobe des recherches sur la caractérisation in vivo et in vitro des tissus mous et osseux, en particulier les effets du vieillissement sur ces tissus. La seconde thématique vise à développer des modèles biomécaniques avancés pour la compréhension et la simulation des processus physiologiques, notamment à travers l'utilisation de jumeaux numériques et de l'intelligence artificielle. Ces recherches permettent d'améliorer les outils de diagnostic médical et de prévention, et de proposer des solutions innovantes pour le suivi et le traitement des pathologies liées au vieillissement.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

L'équipe C2MUST a pris en compte les recommandations du précédent rapport en apportant des améliorations significatives.

Pour répondre aux préoccupations sur la dispersion des thématiques, elle a réorganisé ses recherches en deux grands axes : la caractérisation multi-échelles et multi-physique, et la modélisation multiphysique couplée à l'analyse de données multimodales. Cette réorganisation a structuré les efforts de recherche, favorisant la cohérence entre les membres.

Pour maintenir un haut niveau de publication, l'équipe a mobilisé ses forces et enrichi ses équipements grâce à divers financements. La production scientifique est restée élevée avec 2,2 publications par ETP/an sur 2018-2023, témoignant de l'activité soutenue après le regroupement des deux équipes.

L'équipe a accueilli plusieurs chercheurs invités et renforcé ses partenariats internationaux avec l'Université de Waterloo et la Mayo Clinic. Elle a poursuivi le recrutement de nouveaux chercheurs et techniciens pour assurer la continuité de ses projets.

L'équipe a amélioré ses interactions avec l'industrie et le monde clinique en développant des collaborations et en obtenant des financements pour des projets appliqués. Des efforts significatifs ont été faits pour diffuser les connaissances scientifiques au public, notamment par la participation à des événements comme la Fête de la science et la Semaine européenne du développement durable.

EFFECTIFS DE L'ÉQUIPE : en personnes physiques au 31/12/2023

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	5
Maitres de conférences et assimilés	5
Directeurs de recherche et assimilés	1
Chargés de recherche et assimilés	0
Personnels d'appui à la recherche	2
Sous-total personnels permanents en activité	13
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	7
Personnels d'appui non permanents	0
Post-doctorants	0
Doctorants	13
Sous-total personnels non permanents en activité	20
Total personnels	33

ÉVALUATION

Appréciation générale sur l'équipe

L'équipe C2MUST se distingue par son attractivité, intégrant jeunes chercheurs spécialisés et collaborations internationales avec des institutions comme l'Université de Waterloo ou la Mayo Clinic. Sa production scientifique est solide, démontrant une recherche de qualité sans toutefois publier dans les revues de très fort impact.

L'équipe bénéficie de financements diversifiés (européens, nationaux et régionaux) permettant de renforcer ses infrastructures et équipements. L'équipe est bien inscrite dans la société, participant activement à des événements de communication pour le grand public.

Points forts et possibilités liées au contexte

L'équipe C2MUST bénéficie de nombreux points forts et possibilités contextuelles prometteuses. Parmi ses atouts majeurs, le comité note une forte interdisciplinarité, avec des projets intégrant modélisation, caractérisation, biomécanique et intelligence artificielle, appliqués à la santé. Par exemple, les travaux sur le projet de mesurer l'âge réel des muscles grâce aux signaux HD-sEMG (J. Gerontol. en 2022) ou l'utilisation de l'IA pour l'apprentissage de la mimique faciale publiée dans Computer Methods and Programs in Biomedicine (2022) ont été appréciés du comité. Cette approche multidisciplinaire attire des doctorants (40 sur la période dont 13 de l'étranger, notamment du Liban) et stagiaires de qualité, renforçant ainsi les capacités de recherche de l'équipe. La production scientifique est solide, avec un taux de 2,2 publications par ETP/an, démontrant la robustesse de l'activité de recherche même durant la période COVID-19.

Les partenariats internationaux sont un autre point fort, notamment avec des institutions prestigieuses comme l'Université de Waterloo au Canada et la Mayo Clinic aux États-Unis. Ces collaborations enrichissent les projets de recherche et augmentent leur visibilité globale. L'équipe a su tirer parti de ces partenariats pour développer des projets de recherche innovants, notamment autour du vieillissement et des jumeaux numériques, deux domaines de recherche émergents et prometteurs.

La dynamique de recrutement avec trois nouveaux enseignants-chercheurs est également notable, avec l'arrivée de jeunes chercheurs spécialisés en intelligence artificielle et biomécanique, promettant de continuer à renforcer l'équipe et à diversifier ses compétences.

L'équipe C2MUST a noué des collaborations fructueuses avec des entreprises comme BioSerenity, ABBOTT, et TMSi, ainsi qu'avec des hôpitaux tels que l'AP-HP et le CHU d'Amiens, aboutissant à des financements significatifs pour des projets appliqués. Ces partenariats ont permis de développer des dispositifs innovants répondant à des besoins concrets, comme le prototype d'électromyographie HD-sEMG pour évaluer le vieillissement musculaire ou le projet européen SafePregnancy@home pour la détection des accouchements prématurés. Ces travaux, combinant recherche fondamentale et applicative, démontrent la capacité de l'équipe à traduire ses expertises scientifiques en solutions concrètes pour le marché et le secteur de la santé.

La participation régulière à des événements de diffusion scientifique, comme la Fête de la science et la Semaine européenne du développement durable, ainsi que la production de contenus à destination du grand public, illustrent l'engagement de l'équipe à partager ses connaissances et à promouvoir ses innovations.

Ces éléments combinés assurent à l'équipe C2MUST une position favorable pour aborder les défis futurs. La structuration autour de thèmes forts et la capacité à mobiliser des financements variés garantissent une continuité et une évolution positive de ses activités de recherche. Cela permet à l'équipe de poursuivre ses avancées significatives dans le domaine de la recherche biomédicale et biomécanique, tout en s'adaptant aux nouvelles exigences scientifiques et technologiques.

Points faibles et risques liés au contexte

L'équipe C2MUST s'appuie sur des équipements de pointe à haut niveau de technicité, tels que les systèmes d'élastographie par résonance magnétique (ERM) pour la caractérisation mécanique des tissus, ou encore les plateformes d'imagerie par tomographie de cohérence optique (OCT) couplées à des techniques de clarification tissulaire. Elle utilise également des grilles HD-sEMG innovantes pour l'analyse des signaux musculaires, essentielles au diagnostic et à la modélisation. Cependant, l'absence de personnel technique

propre met en péril la maintenance, la continuité et l'exploitation optimale de ces infrastructures, qui sont au cœur de projets stratégiques et compétitifs.

Un autre point faible notable est l'absence de publications dans les journaux de très haut niveau. Bien que la production scientifique soit robuste avec 2,2 publications par ETP/an, l'équipe possède le potentiel pour publier dans des revues de plus haut calibre pour accroître sa visibilité et son impact scientifique. Cette lacune limite la reconnaissance internationale de l'équipe et son attractivité pour les collaborations et financements prestigieux.

Les risques contextuels incluent la possible diminution du temps consacré à la rédaction et à la révision des articles scientifiques, au profit d'autres tâches administratives ou liées à l'enseignement. Cette situation compromet la qualité et la quantité des publications. De plus, l'équipe fait face à un épuisement académique de ses titulaires, qui doivent jongler entre la mise à jour technologique constante des méthodes et équipements, la production scientifique de qualité, et une présence active dans les instances de l'unité et de l'UTC. Ce contexte de surcharge de travail nuit à la pérennité de l'expertise développée et à la motivation des chercheurs.

Par ailleurs, les difficultés liées à la dispersion géographique des membres de l'équipe, entre plusieurs bâtiments, peuvent entraîner des problèmes de communication et de collaboration, ralentissant ainsi les progrès des projets communs. La gestion des équipements répartis sur différents sites complique également leur utilisation optimale et la maintenance régulière.

Analyse de la trajectoire de l'équipe

L'évaluation de la trajectoire proposée pour l'équipe C2MUST met en lumière plusieurs points clés. L'approche intégrée de l'équipe, axée sur la caractérisation et la modélisation du système musculo-squelettique, est solide et bien définie. Le développement des jumeaux numériques, qui jouent un rôle crucial dans l'aide au diagnostic médical, montre une orientation claire vers des outils réalistes de simulation des processus physiologiques. Ces modèles, entraînés sur des bases de données hybrides, visent à optimiser les protocoles expérimentaux et à favoriser une recherche responsable et durable.

L'expertise de C2MUST en biomécanique et en analyse des signaux physiologiques, couplée à une intégration accrue de l'intelligence artificielle, constitue un atout majeur. L'objectif de concevoir des jumeaux numériques optimisés pour les applications médicales, en incorporant le contrôle moteur, est pertinent. Les dispositifs innovants, tels que la technologie HD-sEMG et l'échographie portable, soutiennent ce but en offrant des solutions connectées, non-invasives et durables pour un suivi régulier.

L'accent sur le vieillissement du système neuro-musculo-squelettique est particulièrement prometteur. En exploitant les travaux sur l'axe « bien vieillir » et en utilisant des plateaux techniques et des bases de données multimodales, C2MUST s'oriente pour mieux comprendre les mécanismes de vieillissement. Cela favorise la prévention contre la sédentarité et les chutes et l'évaluation de thérapies et de programmes de rééducation.

Les interactions avec les autres équipes de l'unité renforcent la trajectoire de C2MUST. La collaboration avec l'équipe IFSB sur des projets d'élastographie et d'analyse biomécanique, ainsi que les projets entre les équipes avec CBB sur la reconstruction biomimétique et l'utilisation de la tomographie à corrélation optique, démontrent une synergie efficace et un partage de compétences.

La trajectoire de C2MUST est bien alignée avec les objectifs de recherche avancée en biomécanique et médecine, renforcée par des collaborations entre les équipes et un engagement actif dans la diffusion scientifique. Ces éléments assurent à l'équipe une position favorable pour aborder les défis futurs et poursuivre ses avancées significatives.

RECOMMANDATIONS À L'ÉQUIPE

Dans l'objectif de renforcer ses capacités de recherche, d'encore améliorer la qualité de ses publications, et de maintenir sa position dans le domaine de la biomécanique et de la médecine du futur, l'équipe C2MUST devra continuer à recruter et former des ingénieurs et techniciens spécialisés pour assurer le bon fonctionnement des équipements.

Le comité suggère à l'équipe de viser des revues de très haut niveau pour accroître sa visibilité et son impact scientifique.

Le comité encourage l'équipe à réfléchir à améliorer la gestion du temps de travail pour équilibrer les tâches de rédaction, recherche, enseignement et administratives. Il faudra sans doute envisager de déléguer dans l'équipe certaines tâches administratives.

Le comité invite l'équipe à renforcer les collaborations avec des institutions comme l'Université de Waterloo et la Mayo Clinic et d'en développer de nouvelles.

Le comité suggère à l'équipe C2MUST d'utiliser pleinement ses jumeaux numériques et ses bases de données multimodales pour améliorer les protocoles expérimentaux.

Il est essentiel d'obtenir des financements supplémentaires et de recruter du personnel qualifié pour garantir la durabilité et l'excellence des projets de recherche de C2MUST.

Le comité recommande de mettre en place des stratégies pour améliorer la communication interne et faciliter les interactions entre les membres dispersés sur plusieurs sites.

Pour améliorer l'intégration de l'équipe dans l'unité, il faudra continuer à favoriser les collaborations avec les autres équipes de l'unité, comme IFSB et CBB, pour le partage de compétences et la synergie des projets.

Il serait productif pour l'unité que les relations entre les responsables de l'équipe et l'équipe élargie de direction de l'unité (copil, direction) s'apaisent dans un esprit constructif et convivial.

Pour donner davantage leur place aux plus jeunes et leur permettre de construire leur dossier de carrière, il serait sans doute judicieux de faire tourner les rôles de responsabilité de l'équipe avec d'autres membres de C2MUST.

Équipe 4 : Centre d'Expertise en Biomécanique du Mouvement (CEBM)

Nom des responsables : Khalil BEN MANSOUR et Frédéric MARIN

THÉMATIQUES DE L'ÉQUIPE

Le Centre d'Expertise en Biomécanique du Mouvement (CEBM) se consacre à l'étude du mouvement humain et animal. Il adopte une approche pluridisciplinaire, intégrant mécanique, physiologie, neuroscience et informatique pour comprendre les processus sensoriels, physico-chimiques et biomécaniques impliqués dans le mouvement. Ses travaux visent à analyser les mouvements en laboratoire et en situation réelle, à modéliser ces mouvements et à étudier les mécanismes biologiques sous-jacents. Les recherches du CEBM ont des applications variées, notamment dans les domaines de la santé, du sport, de l'ergonomie et de l'assistance aux personnes. En outre, le CEBM collabore étroitement avec des partenaires industriels et cliniques pour développer des dispositifs innovants.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Le Centre d'Expertise en Biomécanique du Mouvement (CEBM) a été reconnu comme une équipe de recherche du laboratoire en 2020, il n'y a donc pas de recommandation spécifique le concernant.

EFFECTIFS DE L'ÉQUIPE : en personnes physiques au 31/12/2023

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	1
Maitres de conférences et assimilés	0
Directeurs de recherche et assimilés	0
Chargés de recherche et assimilés	0
Personnels d'appui à la recherche	2
Sous-total personnels permanents en activité	3
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	0
Personnels d'appui non permanents	0
Post-doctorants	1
Doctorants	3
Sous-total personnels non permanents en activité	4
Total personnels	7

ÉVALUATION

Appréciation générale sur l'équipe

Le Centre d'Expertise en Biomécanique du Mouvement (CEBM) se distingue par son expertise dans l'analyse du mouvement humain et animal. Son approche interdisciplinaire, intégrant mécanique, physiologie, neurologie et informatique, permet d'étudier le mouvement de manière exhaustive. Le CEBM bénéficie de collaborations stratégiques et de financements diversifiés, renforçant ses infrastructures. Cependant, le nombre réduit de personnels statutaires et la forte charge administrative sont des points faibles à surveiller pour maintenir et accroître sa reconnaissance internationale.

Points forts et possibilités liées au contexte

Le CEBM dispose d'une expertise méthodologique et technique reconnue nationalement pour l'analyse du mouvement humain et animal, établissant ainsi l'équipe (qui n'existe que depuis 2020) comme un acteur clé de la recherche en biomécanique. Les avancées sur la caractérisation du dispositif Ergoskel pour assister la manutention d'objets lourds sont significatives.

Grâce à une approche interdisciplinaire intégrant mécanique, physiologie, neurologie et informatique, le CEBM étudie le mouvement sous tous ses aspects, de la modélisation à l'application concrète, avec des retombées scientifiques, industrielles et sociétales notables.

Le CEBM relève trois défis majeurs : 1/Technologique, avec la conception de protocoles expérimentaux standardisés et sur mesure pour la captation précise des mouvements en utilisant des systèmes avancés de photogrammétrie et des capteurs inertiels, 2/Topologique, avec la représentation mathématique du mouvement avec des métriques adaptées pour quantifier les déplacements, et, 3/Biomécanique, avec l'utilisation de techniques d'imagerie médicale et de modèles multi-échelle pour étudier les articulations et les muscles, et développer des applications en rééducation, sport et ergonomie.

La production scientifique est correcte compte tenu de la création récente de l'équipe. La revue Sensors, de réputation moyenne, est la plus utilisée pour publier les travaux de l'équipe.

L'intégration du CEBM dans l'Alliance Sorbonne Université favorise des collaborations accrues et un accès à des ressources partagées. Le soutien financier diversifié, incluant des financements européens, nationaux et régionaux, renforce ses infrastructures et soutient ses projets de recherche. L'équipe a attiré des financements compétitifs, tels que le programme PRCE de l'ANR pour le projet « CAPT-ESE » et des contrats industriels avec des entreprises comme FM Logistic.

En matière de valorisation, le CEBM a déposé deux demandes de brevets et développé des produits pour le monde industriel, culturel et social, tels qu'un exosquelette de port de charge en collaboration avec FM Logistic. L'équipe partage activement ses connaissances avec le grand public à travers des événements comme la Fête de la Science et des collaborations médiatiques, renforçant ainsi sa visibilité et son impact sociétal.

Le CEBM possède une base solide d'expertise et de collaborations, soutenue par des financements diversifiés et une forte présence sociétale, assurant une position avantageuse pour poursuivre ses recherches et développer des solutions innovantes dans les domaines de la santé, du sport et de l'ergonomie.

Points faibles et risques liés au contexte

L'équipe CEBM présente plusieurs points faibles et risques contextuels à prendre en considération. Tout d'abord, le nombre réduit de personnels titulaires est un point faible significatif. Cette situation rend l'expertise fortement dépendante de la disponibilité des personnes actuellement en poste. Si ces personnes venaient à être absentes pour une période prolongée, cela pourrait compromettre la continuité et la pérennité de l'expertise et des projets de recherche en cours.

De plus, cette dépendance au personnel titulaire accroît la charge de travail sur les membres actuels, ce qui peut conduire à un épuisement académique. Les chercheurs doivent non seulement maintenir une production scientifique de qualité et une mise à jour technologique constante des méthodes et équipements, mais aussi participer activement aux instances de l'unité et de l'UTC. Cette surcharge peut nuire à leur efficacité.

Bien que la production scientifique soit correcte, l'équipe ne vise pas les revues plus prestigieuses, ce qui peut nuire à sa visibilité et à son impact scientifique à l'échelle internationale. La reconnaissance internationale est cruciale pour attirer des financements compétitifs et établir des collaborations de haut niveau.

En matière de financement, bien que l'équipe ait réussi à attirer des financements variés, la dépendance à des sources externes pose un risque. Les fluctuations des sources de financement peuvent compromettre la stabilité des projets à long terme. Il est donc essentiel de sécuriser des financements supplémentaires et de diversifier les sources pour assurer la continuité des recherches.

Analyse de la trajectoire de l'équipe

La trajectoire proposée pour le CEBM inclut la fusion avec la chaire eBioMed, afin de former un nouvel axe scientifique appelé BioMov-E. Cette fusion vise à renforcer l'interdisciplinarité et à exploiter les synergies entre les compétences en biomécanique et en objets biomédicaux connectés.

BioMov-E se concentrera sur la caractérisation et l'analyse du mouvement humain et animal à toutes les étapes de la vie, permettant une étude approfondie des adaptations motrices et des modifications musculo-

squelettiques avec des applications concrètes dans l'industrie, la clinique et le sport. BioMov-E utilisera des technologies avancées, telles que la photogrammétrie à plusieurs caméras et des capteurs inertiels miniaturisés, pour des mesures précises en laboratoire et en conditions réelles. L'intégration des systèmes connectés favorisera le développement de dispositifs médicaux innovants, comme les exosquelettes et les outils de rééducation, en collaboration avec des entreprises telles que FM Logistic. La conception de jumeaux numériques, incorporant des éléments de contrôle moteur et d'intelligence artificielle, améliorera la modélisation des systèmes neuro-musculo-squelettiques pour le suivi de la santé et la rééducation. Enfin, un objectif clé est d'étudier le vieillissement du système neuro-musculo-squelettique en utilisant des bases de données multimodales et en développant des outils d'aide au diagnostic pour comprendre les mécanismes de vieillissement, prévenir les chutes et évaluer de nouvelles thérapies.

BioMov-E bénéficiera des plateformes technologiques « Technologie Sport Santé » et « eBioMed », facilitant ainsi les collaborations avec d'autres équipes de l'UTC et au sein de l'Alliance Sorbonne Université. Cette intégration stratégique renforcera l'accès aux ressources partagées et aux infrastructures avancées, tout en favorisant les échanges scientifiques et techniques.

La trajectoire proposée prévoit de continuer à sécuriser ses ressources par des financements diversifiés, incluant des projets européens, nationaux et régionaux, pour soutenir l'innovation et les infrastructures. Les succès passés, tels que les projets financés par l'ANR et les contrats industriels, démontrent la capacité du CEBM à attirer des ressources essentielles. La valorisation des résultats par le dépôt de demande de brevet et le transfert technologique est également un aspect crucial de cette trajectoire.

La fusion du CEBM et de la chaire eBioMed au sein de BioMov-E représente une étape stratégique pour renforcer l'interdisciplinarité, l'innovation technologique et l'impact sociétal des recherches menées. Cette trajectoire ambitieuse, soutenue par des collaborations robustes et des financements diversifiés, cherche à établir BioMov-E comme un acteur majeur dans le domaine de la biomécanique et de la santé connectée. Le comité considère que c'est en effet une étape importante et judicieuse dont on verra assez vite si elle conduit effectivement à donner à l'équipe un positionnement visible et reconnu de ses activités.

RECOMMANDATIONS À L'ÉQUIPE

Pour renforcer l'équipe BioMov-E, assurer la pérennité de ses activités, et maintenir sa position dans le domaine de la biomécanique et de l'analyse du mouvement, le comité suggère à l'équipe de travailler à identifier les verrous scientifiques sous-tendant les recherches réalisées afin de construire une stratégie scientifique forte pour les prochaines années. Ce point est fondamental afin que BioMov-E puisse être identifié comme une référence dans ses domaines de recherche.

Le comité souligne la nécessité d'augmenter le nombre de personnels titulaires et techniques pour réduire la forte dépendance des travaux à quelques individus, assurer la continuité des projets et alléger la charge de travail des membres actuels.

Le comité encourage l'équipe à poursuivre la stratégie de publications dans des revues de haut niveau, soutenir les chercheurs dans la rédaction et la soumission de manuscrits de qualité et promouvoir les collaborations avec des chercheurs et institutions de renom.

Le comité recommande à l'équipe de continuer à diversifier les sources de financement pour réduire la dépendance à un nombre réduit de partenaires en explorant de nouvelles possibilités, notamment au moyen de partenariats publics-privés et industriels, et assurer ainsi la stabilité financière de l'équipe à long terme.

Le comité considère qu'il est important de poursuivre les efforts de valorisation des résultats de recherche avec davantage de dépôts de demande de brevets et de contrats de licence avec des partenaires industriels. L'objectif étant de transformer les innovations scientifiques en produits commercialisables et augmenter l'impact sociétal des recherches.

DÉROULEMENT DES ENTRETIENS

DATES

Début : 24 septembre 2024 à 8 h 30

Fin : 25 septembre 2024 à 16 h

Entretiens réalisés : en présentiel

PROGRAMME DES ENTRETIENS

24 septembre 2024 — Centre d'Innovation (Amphithéâtre)

- 8 h 30 - 8 h 45 Accueil — Présentation de l'HCÉRES (Ph. Petitjeans)
- 08 h 45 - 10 h Bilan du laboratoire (45' présentation + 30' discussion) (C. Legallais)
- 10 h - 10 h 30 Pause-café
- 10 h 30 - 11 h 20 Projet du laboratoire (25' présentation + 25' discussion) (A-V. Salsac)
- 11 h 20 - 12 h 5 Bilan — Projet Équipe C2MUST (25' présentation + 20' discussion)
- 12 h 5 - 13 h 15 Buffet Posters
- 13 h 15 - 13 h 30 Visite Chaire eBioMed
- 13 h 30 - 14 h 15 Visite PF TSS + Bilan CEBM + Projet BioMov-E (25' présentation + 20' discussion)
- 14 h 15 - 15 h Bilan – Projet Equipe CBB/BioFab (25' présentation + 20' discussion)
- 15 h - 15 h 45 Bilan – Projet Equipe IFSB (25' présentation + 20' discussion)
- 15 h 45 - 16 h 15 Pause-café
- 16 h 15 - 16 h 45 Entretien avec les personnels chercheurs et enseignants-chercheurs
- 16 h 45 - 17 h 15 Entretien avec les personnels d'appui à la Recherche
- 17 h 15 - 17 h 45 Entretien avec les doctorants et Post-Doctorants
- 17 h 45 - 18 h Entretien avec les responsables d'équipes
- 18 h - 18 h 45 Premier débriefing du comité à huis clos

25 septembre 2024 — Centre de recherche (salle réunion BMBI D344)

- 8 h 45 - 10 h 15 Visite des laboratoires/PF Centre de recherche
- 10 h 15 - 10 h 45 Pause-café
- 10 h 45 - 11 h 30 Entretien avec les tutelles
- 11 h 30 - 12 h Entretien avec le DU/porteur de projet
- 12 h - 15 h Débriefing du comité à huis clos (plateaux-repas)

OBSERVATIONS GÉNÉRALES DES TUTELLES

Evaluation HCERES de l'unité BMBI – Biomécanique et Bio-ingénierie

Réponse de l'université de technologie de Compiègne

Observations de portée générale

L'Université de Technologie de Compiègne (UTC) a pris connaissance avec attention du rapport d'évaluation de l'unité Biomécanique et Bioingénierie (BMBI) réalisé par le HCERES. Nous remercions le comité d'évaluation pour la qualité de son analyse, ainsi que pour la pertinence et la richesse de ses recommandations. Ce retour constructif constitue une base précieuse pour renforcer les actions de l'unité dans le cadre de la prochaine période contractuelle.

Nous nous réjouissons de la reconnaissance par le comité des nombreuses forces de l'unité BMBI. En effet, nous sommes heureux de noter que le rapport du HCERES met en lumière la position de l'unité BMBI comme un acteur clé dans le domaine de la biomécanique et de la bio-ingénierie. Les travaux de recherche menés au sein de l'unité se distinguent par leur qualité scientifique exceptionnelle. Le comité souligne la pertinence des thématiques abordées, notamment la biomécanique multi-échelles et bio-inspirée, et l'utilisation des plateformes technologiques avancées, qui offrent des capacités uniques pour des recherches interdisciplinaires et innovantes. Les collaborations internationales et industrielles sont également reconnues comme une force majeure. L'unité a su établir des partenariats solides, avec des projets européens compétitifs et des financements notables, tels qu'un Consolidator Grant de l'ERC et des projets PEPR et ANR. Ces réalisations témoignent de la pertinence stratégique des travaux menés, notamment dans des domaines à fort impact clinique et industriel.

Cependant, le rapport met également en évidence plusieurs points de vigilance et axes d'amélioration. L'unité souffre d'un manque de personnel technique et administratif dédié, ce qui limite la pleine exploitation de ses plateformes. Par ailleurs, bien que la production scientifique globale soit jugée de très haut niveau, des disparités inter-équipes et intra-équipes ont été identifiées. Ces écarts, qui peuvent refléter des différences dans les ressources allouées ou dans les priorités thématiques, devront être adressés pour garantir une cohésion et une excellence uniformes. Enfin, bien que des collaborations interdisciplinaires aient été établies, il existe encore des opportunités pour renforcer les synergies entre les équipes, notamment à travers des projets transversaux plus structurés.

Université de technologie
de Compiègne
Direction

Centre Pierre Guillaumat
CS 60319
Rue du docteur
Schweitzer
60203 Compiègne cedex

Tél. 03 44 23 44 23
www.utc.fr

Plusieurs points d'amélioration qui sont à traiter par l'établissement ont été identifiés, l'UTC souhaite aborder de manière proactive certains d'entre eux. En effet, L'UTC partage ces constats et s'engage à accompagner l'unité BMBI dans la mise en œuvre des mesures correctives nécessaires.

La vétusté des locaux du centre de recherche, datant de 1976, est un enjeu majeur. Une réhabilitation complète, déjà priorisée dans les plans de l'établissement, est essentielle pour répondre aux besoins des équipes et améliorer les conditions de travail. Nous avons affecté un budget en investissement conséquent pour les prochaines années à cet effort, en complément d'une demande de renforcement humain à la direction du patrimoine et de la logistique dans le cadre du contrat

d'objectifs, de moyens de performance. Cette rénovation inclura une réorganisation spatiale des locaux pour encourager les échanges interdisciplinaires ainsi qu'une optimisation énergétique du site.

Conscients de l'impact de la charge d'enseignement sur la productivité scientifique, nous avons prévu une réflexion en 2025 pour rationaliser la maquette pédagogique et mieux équilibrer les efforts entre enseignement et recherche. Par ailleurs, nous explorons des solutions numériques pour réduire la charge administrative des enseignants-chercheurs.

L'UTC s'engage à renforcer ses dispositifs d'accompagnement pour le dépôt de projets européens et internationaux. Dès 2025, la direction à la recherche sera consolidée pour soutenir l'unité BMBI et les autres laboratoires dans l'obtention de financements compétitifs, notamment européens. Des actions spécifiques seront également menées pour intensifier les échanges scientifiques avec des partenaires internationaux.

Enfin, au nom de l'UTC et de l'ensemble des membres du laboratoire, la direction de l'UTC remercie chaleureusement le comité pour son évaluation rigoureuse et ses orientations stratégiques, qui guideront les efforts de l'unité BMBI dans les années à venir. Ces recommandations précieuses contribueront à pérenniser l'excellence de BMBI et à renforcer son rayonnement scientifique et socio-économique.

Compiègne, le 13/12/2024

La directrice de l'université de technologie de
Compiègne

Claire Rossi



Evaluation HCERES de l'unité BMBI – Biomécanique et Bio-ingénierie

Réponse du laboratoire

Observations de portée générale

Nous remercions le Comité pour ce rapport très détaillé sur nos activités, ainsi que pour les recommandations concernant la trajectoire du laboratoire. Il nous encourage à poursuivre nos recherches jugées de premier plan en biomécanique et bioingénierie, en nous appuyant sur les conseils formulés.

Nous souhaiterions apporter des précisions sur les points suivants :

A l'échelle du laboratoire, le Comité regrette « un plus faible investissement des nouveaux membres de l'unité et des doctorants » dans les activités grand public et la diffusion des activités de recherche. S'il est juste que certain(e)s collègues sont très actifs, il faut aussi noter la forte implication de nombreux doctorants et des jeunes recruté(e)s dans la préparation et la tenue des stands annuels lors de la fête de la science ou d'autres manifestations à l'extérieur de l'UTC. Nous ne les avons pas listés de façon nominative, car il s'agit d'actions collectives. Grâce à eux, BMBI détient chaque année le record du plus grand nombre de stands portés par un laboratoire à l'UTC.

L'équipe CBB souhaiterait quant à elle apporter une modulation sur l'analyse de la diminution du nombre de ses publications sur ce contrat. Comme le souligne le rapport, elle provient du départ de 3 chercheurs ou enseignants chercheurs senior, qui avaient une forte activité dans ce domaine. Néanmoins, l'équipe tient à rappeler son ratio de 2,7 publications/ETP/an, ce qui est légèrement supérieur à celui du laboratoire.

Par ailleurs, il est conseillé « d'accorder la priorité au recrutement de profils CNU section 60/33 pour renforcer l'expertise en biomatériaux ». L'équipe CBB a présenté un candidat à la section 9 du CNRS durant 4 ans : cet effort sera poursuivi, et l'axe BioFab sera renforcé avec l'accueil à 50% d'une MCF 60 de l'équipe IFSB. Par ailleurs, les projets nécessitant des compétences spécifiques en 60è section du CNU font l'objet de partenariats avec les équipes IFSB et C2MUST. Pour augmenter la visibilité de l'équipe au niveau international sur les modèles biofidèles et l'ingénierie tissulaire, les compétences et connaissances en 65è section restent capitales : en effet, les défis scientifiques identifiés concernent notamment la bioconstruction d'organes à partir de cellules souches et le développement de modèles immunocompétents. C'est la raison pour laquelle la direction à la recherche de l'UTC défendra une demande de CPJ dans ce domaine.

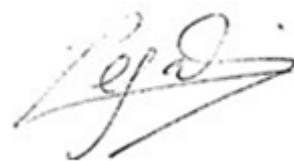
Université de technologie
de Compiègne
Direction

Centre Pierre Guillaumat
CS 60319
Rue du docteur
Schweitzer
60203 Compiègne cedex

Tél. 03 44 23 44 23
www.utc.fr

Compiègne, le 16/12/2024

Cécile Legallais, directrice de BMBI



Les rapports d'évaluation du Hcéres
sont consultables en ligne : www.hceres.fr

Évaluation des universités et des écoles
Évaluation des unités de recherche
Évaluation des formations
Évaluation des organismes nationaux de recherche
Évaluation et accréditation internationales



19 rue Poissonnière
75002 Paris, France
+33 1 89 97 44 00

