

RAPPORT D'ÉVALUATION DE L'UNITÉ

PhysMed - Physique pour la médecine

SOUS TUTELLE DES ÉTABLISSEMENTS ET ORGANISMES :

École supérieure de physique et de chimie
industrielles de la ville de Paris – université Paris
Sciences & Lettres - ESPCI Paris-PSL

Institut national de la santé et de la recherche
Médicale - INSERM

Centre national de la recherche scientifique -
CNRS

CAMPAGNE D'ÉVALUATION 2023-2024
VAGUE D

Rapport publié le 06/03/2024



Au nom du comité d'experts :

David Melo de Lima, Président

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

Président : M. David Melo de Lima, Inserm

Expert(e)s : M. Gilles Bonvento, Inserm
M. Sylvain Gigan, Sorbonne U
Mme Nathalie Lassau, Gustave Roussy
M. Franck Lavenne, Inserm

REPRÉSENTANTE DU HCÉRES

Mme Marlène Wiat

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

Mme Marie-Josèphe Leroy-Zamia, Inserm
Mme Camille Chaudonneret, Inserm
M. Vincent Croquette, ESPCI Paris-PSL
Mme Marjolaine Robillard, CNRS

CARACTÉRISATION DE L'UNITÉ

- Nom : Physique pour la médecine
- Acronyme : PhysMed
- Label et numéro : Inserm U1273, CNRS UMR 8063
- Composition de l'équipe de direction : Mickael TANTER (directeur), Mathieu PERNOT (directeur-adjoint)

PANELS SCIENTIFIQUES DE L'UNITÉ

Domaine scientifique principal : SVE : Sciences de la vie de la santé et de l'environnement

Panel 1

SVE7 : Prévention, diagnostic et traitement des maladies humaines

Panel 2

ST5 : Sciences pour l'ingénieur

Panel 3

ST2 : Physique

THÉMATIQUES DE L'UNITÉ

L'Institut Physique pour la Médecine est mono-équipe, et ses activités sont organisées autour de trois thématiques de recherche :

- Quantification et biomarqueurs ultrasonores – responsable scientifique : Mathieu Pernot (directeur de recherche Inserm)

Imagerie fonctionnelle ultrasonore – responsable scientifique : Thomas Deffieux (chargé de recherche Inserm)

- Thérapie par ultrasons – responsable scientifique : Jean-François Aubry (directeur de recherche CNRS)

Ainsi, les thématiques scientifiques de l'équipe sont :

- Quantification et biomarqueurs ultrasonores
- Imagerie fonctionnelle ultrasonore
- Thérapie ultrasonore

HISTORIQUE ET LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DE L'UNITÉ

L'Institut Physique pour la Médecine Paris est une unité mixte de recherche (Inserm U1273, ESPCI Paris-PSL, CNRS UMR 8063) mono-équipe. L'équipe a été labellisée comme unité Inserm U979 en 2007 au sein de l'Institut Langevin Ondes et Images (ESPCI Paris-PSL, CNRS UMR 7587). En raison de son développement, l'équipe a ensuite quitté l'Institut Langevin pour devenir une unité mixte de recherche Inserm U1273, ESPCI Paris-PSL, CNRS FRE 2031 puis CNRS UMR 8063 en janvier 2019. L'Institut Physique pour la Médecine a tout d'abord été localisé sur le site de l'ESPCI à Paris 5ème jusqu'en 2016, puis dans des locaux à Paris 12ème (jusqu'en fin 2022), pour être hébergée à Paris 15ème au sein de ParisSanté Campus depuis janvier 2023. L'Institut est aujourd'hui l'un des cinq Instituts de recherche de ce campus créé pour regrouper sur un même site une concentration d'acteurs français de la recherche en santé numérique.

ENVIRONNEMENT DE RECHERCHE DE L'UNITÉ

L'Institut Physique pour la Médecine est affilié à l'Inserm, à l'ESPCI Paris (établissement-composante de l'Université PSL) et au CNRS. La recherche qui est menée au sein de l'Institut se situe à l'interface entre physique, biologie et médecine en menant des travaux depuis le concept physique jusqu'à la validation préclinique et à la preuve de concept clinique avec une très forte activité de valorisation via le dépôt de brevets, le développement de logiciels et de nombreux partenariats industriels. Pour mener à bien ces travaux, l'Institut s'appuie donc sur un réseau académique, industriel et hospitalier à la fois fort en termes d'interactions et étendu du fait de la diversité des partenaires académiques, hospitaliers et industriels (Institut de la Vision, Institut du Cerveau et de la Moelle Epinière, Institut Curie, Institut Pasteur, Institut Henri Mondor, Pitié Salpêtrière, Cochin, GHU Ste-Anne, Port Royal, Hôpital Européen Georges Pompidou, Necker, CHU du Kremlin-Bicêtre, Beaujon, Bichat, Robert Debré, APHP, cardiawave, Iconeus ...). L'Institut a également de nombreuses collaborations internationales avec des universités et hôpitaux nord-américains (CalTech, UC Riverside, Sick Kids Hospital of Toronto) et européens (Leiden University Medical Center, Université de Fribourg, Hôpitaux Universitaires de Genève, consortium européen PREMSTEM, consortium européen MICROVASC).

L'Institut est l'un des cinq Instituts de recherche de ParisSanté Campus réunissant partenaires académiques (laboratoires Inserm, Université PSL ou Inria), un incubateur d'entreprises, le département de valorisation de l'Inserm (Inserm Transfert) et des opérateurs d'utilisation des données de santé (Health Data Hub et Agence du Numérique en Santé) et des institutions telles que l'Agence de l'innovation en santé.

L'Institut dispose également d'un Accélérateur de Recherche Technologique (ART) de l'Inserm dédié aux ultrasons biomédicaux. Cette structure permet à l'Institut d'étendre sa capacité à disséminer ses innovations, en fabriquant des prototypes de recherche à destination d'autres chercheurs et cliniciens.

L'Institut participe aux dispositifs PIA en étant l'un des 140 laboratoires de recherche de l'Université PSL (domaine Sciences du Vivant) dont l>IDEX a été définitivement confirmé en 2020. L'Institut a également bénéficié du Labex WIFI (Waves and Imaging from Fundamentals to Innovation) de 2017 à 2019, et de l'Equipex ULTRABRAIN (thérapie du cerveau par ultrasons) de 2017 à 2022.

EFFECTIFS DE L'UNITÉ : en personnes physiques au 31/12/2022

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	0
Maîtres de conférences et assimilés	2
Directeurs de recherche et assimilés	3
Chargés de recherche et assimilés	5
Personnels d'appui à la recherche	14
Sous-total personnels permanents en activité	24
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	0
Personnels d'appui non permanents	0
Post-doctorants	5
Doctorants	23
Sous-total personnels non permanents en activité	28
Total personnels	52

RÉPARTITION DES PERMANENTS DE L'UNITÉ PAR EMPLOYEUR : en personnes physiques au 31/12/2022. Les employeurs non tutelles sont regroupés sous l'intitulé « autres ».

Nom de l'employeur	EC	C	PAR
INSERM	0	7	12
ESPCI Paris-PSL	2	0	2
CNRS	0	1	0
Total personnels	2	8	14

AVIS GLOBAL

Le projet porté par l'Institut Physique pour la Médecine est mature. Il se fonde sur une démarche scientifique bien pensée, cohérente et ambitieuse à l'interface de la physique des ondes et de la santé. Il fédère des compétences scientifiques et techniques à la pointe de l'état de l'art et s'articule autour d'un ensemble unique, à l'échelle internationale, de plateformes d'expérimentation et de prototypage. Il bénéficie d'un soutien institutionnel fort de l'Inserm via le déploiement de son premier accélérateur de recherche technologique (ART) qui permet le déploiement des innovations du laboratoire dans des prototypes opérationnels et utilisables par les biologistes et les cliniciens. Créée fin 2016, l'ART est à présent une structure pleinement fonctionnelle sur le plan matériel, humain (recrutement d'1 chercheur, 7 ingénieurs, 1 chef de projet) et de transfert technologique puisque 20 prototypes de recherche ont pu être disséminés dans des hôpitaux avec la réalisation de 6 essais cliniques dans les domaines de la cardiologie, de la radiologie et de la neurologie. Les concepts développés et les résultats cliniques valent aujourd'hui une reconnaissance mondiale à l'équipe, désormais identifiée comme l'une de celles qui orientent les recherches de toute la communauté dans une thématique à forte compétition internationale.

La production scientifique et technologique est excellente et, à plusieurs égards, exceptionnelle. Les approches originales conduisent à des sauts technologiques et à des ruptures conceptuelles en imagerie ultrasonore et ses applications biomédicales. Grâce à ces avancées majeures dans le domaine, entre autres, de l'activité hémodynamique et fonctionnelle, de l'imagerie microscopique de la vascularisation ou encore du connectome fonctionnel cérébral, l'Institut a pu publier dans les toutes meilleures revues mondiales (telles que *Nature Methods*, *Nature Communications*, *Nature Biomedical Engineering*, *Nature Nanotechnology*, *Science Translational Medicine*) ce qui est à souligner dans le domaine des ultrasons.

Les nombreuses réussites aux appels d'offres internationaux les plus compétitifs sont exceptionnelles. En plus des 6 financements ERC en cours durant la période, deux nouveaux ERC (Starting et Consolidator grant) ont été obtenus, à cela s'ajoute un financement exceptionnel de 42 M€ dans le cadre de France 2030 pour porter le projet Ze[US], deux contrats NIH, 20 financements ANR et l'obtention de subventions importantes provenant du mécénat (Fondation Bettencourt-Schueller, Chaire AXA, Fonds AXA pour la Recherche).

Les interactions avec le secteur économique sont excellentes avec notamment la création de deux nouvelles start-ups durant la période (eMyoSound et Iconeus) dont les levées de fonds et la création d'emplois sont à souligner. Notons l'impact clinique des recherches menées lors de ces collaborations industrielles avec la première preuve clinique d'une thérapie non invasive des valves cardiaques avec la société Cardiawave issue du laboratoire.

Le groupe formé par les chercheurs de cette équipe est solidaire, avec un travail collaboratif et attractif pour les chercheurs confirmés et les doctorants. Le renouvellement des idées est activement encouragé, de même que les initiatives et prises de risques scientifiques soutenues. De plus, l'Institut a une politique d'accompagnement forte auprès de ses personnels de tous niveaux, que ce soit pour leur intégration dans le laboratoire, leur formation, notamment pour les doctorants et les personnels techniques, mais également pour leur promotion. Le comité note un point de vigilance sur le manque de moyens en termes de recrutement de gestionnaires pour un laboratoire de cette taille et du besoin fort exprimé par la direction.

En conclusion, les recherches sont d'un niveau excellent à exceptionnel au regard de la compétition nationale et internationale. Elles contribuent puissamment au renouveau industriel national dans le domaine des technologies pour la santé. Le comité d'experts a un avis extrêmement positif sur le projet de l'Institut porté par une équipe qui fait partie des leaders mondiaux dans le domaine des ultrasons biomédicaux.

ÉVALUATION DÉTAILLÉE DE L'UNITÉ

A - PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Les recommandations faites lors de la dernière évaluation encourageaient l'Institut Physique pour la Médecine à poursuivre sa dynamique d'excellence. Au cours des 5 dernières années, l'équipe a, de manière remarquable, continué et amplifié l'excellence de ses travaux de recherche en termes de productions scientifiques et techniques. Le nombre de publications reste sur les mêmes standards avec 190 publications dans des revues à comité de lecture, mais surtout avec des publications dans les tous meilleurs journaux internationaux tels que Nature Methods, Nature Communications, Nature Biomedical Engineering, Nature Nanotechnology, Science Translational Medicine.

De manière remarquable, l'Institut a également pu maintenir les cohésions internes entre l'ensemble du personnel dans un contexte de recrutement important entre le personnel relié à l'ART et l'arrivée de nouveaux chercheurs et enseignants-chercheurs. De plus, malgré les difficultés liées au Covid, l'accompagnement des nouveaux arrivants a été très bien assuré avec la mise à disposition de moyens financiers et humains pour mener à bien les recherches. De manière corolaire, l'institut a très bien su gérer l'ambition de ses travaux en trouvant un bon équilibre d'allocation des ressources entre les projets et d'accompagnement dans les demandes de financement. L'ensemble se traduisant par des résultats et des productions scientifiques et de valorisation en tout point excellentes.

B - DOMAINES D'ÉVALUATION

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

Appréciation sur les objectifs scientifiques de l'unité

Le projet est excellent et en cohérence avec les actions déjà réalisées et les résultats engrangés sur ces dernières années tout en étant extrêmement innovant et pionnier avec une capacité démontrée à réaliser l'ensemble des étapes du continuum entre démonstrations de nouveaux concepts de physique fondamentale, développements de prototypes de rupture technologique en instrumentation biomédicale et enfin translation préclinique, clinique et industrielle favorisés par l'ART. Les recherches sont orientées vers trois grands domaines : le cancer, les maladies cardiovasculaires et les neurosciences.

Appréciation sur les ressources de l'unité

L'Institut dispose de ressources en croissance (1.2 M€ en 2017 et 3.4 M€ en 2022) provenant d'appels d'offres extrêmement compétitifs et internationaux (6 projets soutenus par l'ERC, 1 equipex, 1 RHU, 2 projets financés par le NIH, 18 projets financés par l'ANR ...), mais aussi de collaborations industrielles (CardiaWave, Iconeus ...). La pérennité des financements est assurée pour le prochain quinquennat. Le laboratoire dispose d'un parc de 30 systèmes de recherche ultrasonore et surtout d'un ART permettant de transférer leurs recherches vers la clinique et la recherche fondamentale.

Appréciation sur le fonctionnement de l'unité

Le fonctionnement en mono-équipe est justifié par la très forte interaction et complémentarité entre les chercheurs dans les différents projets, conduisant à un institut de tout premier plan international dans son domaine. L'Institut s'appuie sur un réseau de collaboration très vaste entre équipes académiques, hospitalières et industrielles et, depuis 2023, sur son implantation au sein de ParisSanté Campus. Enfin, les plateformes ART, et parc d'équipements ultrasonores assurent le fonctionnement, le transfert et une excellente valorisation des produits de recherche.

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

Points forts et possibilités liées au contexte

L'Institut porte un projet scientifique extrêmement ambitieux, mais totalement en adéquation avec sa trajectoire exceptionnelle et l'excellence des recherches menées depuis sa création. Le point particulièrement fort de l'Institut est sa maturité avec aujourd'hui une parfaite intégration des activités de l'ART Ultrasons biomédicaux qui a permis de pérenniser les fonctions de support à la recherche au sein de l'équipe et surtout l'application clinique des recherches (5 démonstrations cliniques lors du dernier quinquennat, 6 essais à venir). L'Institut s'appuie ainsi sur une expertise unique en imagerie et thérapie ultrasonore en proposant de nouveaux concepts originaux et en les portant de la préclinique à la clinique avec des collaborations nationales et internationales importantes.

Les objectifs pour le prochain quinquennat, assurés par des financements importants (plus de 8 M€ déjà acquis) sont, en particulier, l'exploration de l'imagerie organe entier de super-résolution vasculaire, les applications cliniques de l'imagerie fonctionnelle pour le cerveau et le cœur, et le développement de nouvelles approches d'imagerie et de thérapie ultrasonores telles que la sonogénétique et la neuromodulation ultrasonore.

Avec un fonctionnement extrêmement mature, le projet porté est totalement crédible, important en termes de retombées médicales, sociétales et industrielles. Les objectifs sont en adéquation avec les missions des tutelles.

Points faibles et risques liés au contexte

Aucun risque n'est identifié ni dans la stratégie scientifique ni dans sa mise en œuvre.

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'Institut bénéficie de ressources financières importantes, variées et surtout pérennes pour la prochaine période. Le budget de l'Institut est de 3.4 M€/an en 2022 (dont 223 k€/an de dotation) obtenu sur des appels d'offres extrêmement compétitifs (ERC, NIH, ANR, PIA ...) et grâce aux collaborations industrielles. Près de 8M€ ont d'ores et déjà été sécurisés pour le prochain quinquennat et l'Institut reste très actif dans la recherche et l'obtention de financements.

La maturité de l'ART fait que l'Institut dispose à présent d'une structure pleinement fonctionnelle sur le plan matériel et humain (1 chercheur et 7 ingénieurs). Cette plateforme permet, par la conception de nouveaux équipements, l'intégration et le déploiement des innovations du laboratoire dans des prototypes opérationnels et utilisables par des biologistes et des cliniciens (5 démonstrations cliniques réalisées sur la période 2017-2022 et 6 essais cliniques en cours de préparation).

L'intégration de l'Institut au sein de ParisSanté Campus permet un rapprochement stratégique vers les domaines de la santé numérique, du big data et de l'intelligence artificielle. L'Institut continue par ailleurs d'entretenir un vaste réseau de collaborations nationales et internationales, avec des partenaires cliniques, académiques et industriels notamment à travers le projet Ze[US] qui vise à associer le savoir-faire industriel présent sur le territoire français avec les expertises scientifiques des différents acteurs du secteur.

Points faibles et risques liés au contexte

Pas de point faible identifié, le comité ne peut que recommander de veiller à maintenir cette organisation efficace du laboratoire dans le contexte de la forte croissance et l'ambition du projet à travers de très nombreuses interactions nationales et internationales.

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'Institut est très vigilant sur l'ensemble de ces aspects. En particulier, il accorde une grande importance à la gestion de son personnel et de son bien-être avec deux assistants de prévention hygiène et sécurité, l'organisation de journées de sensibilisation au harcèlement moral et sexuel ainsi qu'aux inégalités femme/homme. L'Institut est composé de 40% de personnel féminin avec une croissance du recrutement de chercheuses (3 en 2022 contre 0 en 2017).

L'institut a mis en place un nouveau serveur sécurisé permettant d'assurer le stockage de l'important volume de données générées par les acquisitions d'images ultrasonores à très haute cadence ainsi que des codes et des logiciels issus de ses recherches.

Les étudiants et les chercheurs sont impliqués pour maintenir un haut niveau d'intégrité scientifique via des formations, des séminaires ainsi que la mise en place de comptes rendus et d'archivage pour garantir la traçabilité et la reproductibilité des résultats.

L'institut veille aux bonnes pratiques éthiques et à l'application de la réglementation. Les recherches cliniques s'appuient sur les promoteurs partenaires pour se conformer à la réglementation et à l'éthique et sur l'ART pour le développement des dispositifs médicaux selon le contexte réglementaire.

Points faibles et risques liés au contexte

Pas de point faible identifié, être vigilant toutefois sur le stockage crucial des données qui, pour l'instant, est concentré sur un seul site.

DOMAINE 2 : ATTRACTIVITÉ

Appréciation sur l'attractivité de l'unité

La production scientifique témoigne d'un rayonnement scientifique international excellent. L'Institut a obtenu une réussite impressionnante dans l'obtention de financements nationaux (ANR) et internationaux (ERC, NIH) extrêmement compétitifs, une augmentation de son personnel, des publications dans les meilleurs journaux internationaux et un plateau technique en instrumentation ultrasonore exceptionnel.

Le comité note également un nombre important d'invitations à des conférences invitées (>150 présentations) et des distinctions nationales et internationales (Chaires Honorifiques dans des universités internationales ...). Un point de vigilance est remarqué concernant l'absence de nouveaux DR sur cette période. Le seul chercheur DR promu est parti.

- 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

1/ L'unité est attractive par son rayonnement scientifique et contribue à la construction de l'espace européen de la recherche.

L'Institut a réussi à publier des travaux en ultrasons biomédicaux dans les revues scientifiques les plus prestigieuses (Nature, Nature Methods, Nature Communications, Nature Biomedical Engineering, Nature Nanotechnology, ...). Ce niveau de publications en ultrasons est assez rare pour le souligner. Les membres du laboratoire ont été invités dans plus de 150 conférences et ont reçu des distinctions nationales et internationales telles que des Chaires Honorifiques dans des universités internationales prestigieuses (Chaire professorale Gordon Moore de l'université Caltech aux USA, Chaire professorale Boehrhaave de l'université médicale de Leiden aux Pays-Bas) ou des prix scientifiques internationaux (Grand prix de la European Society of Molecular Imaging, Carl Hellmuth Hertz Award de la société IEEE Ultrasonics. Le comité note également plus de 20 prix obtenus par les étudiants.

2/ L'unité est attractive par la qualité de sa politique d'accueil des personnels.

L'unité a mis en place une politique d'accueil pour les nouveaux arrivants avec un suivi hebdomadaire des doctorants, une mise à disposition de tous les matériels pour les membres du laboratoire et une retraite tous les 2 ans sur une période d'une semaine pour favoriser la cohésion.

3/ L'unité est attractive par la reconnaissance que lui confèrent ses succès à des appels à projets compétitifs.

La réussite de l'Institut dans ce domaine est exceptionnelle. Sur la période 2017-2022, plus de 20 financements de l'ANR ont été obtenus, au niveau européen, l'Institut a obtenu l'ERC Synergy HelmHoltz 2014-2020 en tant que partenaire, l'ERC Advanced Grant de Mickael Tanter 2014-2019, l'ERC Consolidator Grant d'Olivier Couture en 2017 (à noter que le chercheur a quitté le laboratoire), l'ERC Starting Grant de Clement Papadacci en 2022), des projets européens tels que H2020 Research and Innovation Actions (projet PREMSTEM, 9 M€, 2020) FLAG-ERA (projet FUSIMICE), un projet européen EIC Pathfinder (Projet MICROVASC, 4.9 M€, 2022, en tant que coordinateur).

Deux contrats NIH ont également été obtenus sur la période en collaboration avec l'université CalTech aux Etats-Unis et un contrat du Fonds National Suisse (FNS) pour une collaboration en neuroimagerie.

L'Institut bénéficie également d'un mécénat très important (soutien de la fondation Bettencourt-Schueller en 2018, Chaire AXA du Fonds AXA pour la Recherche en 2017) pour sa recherche fondamentale. Ce mécénat permet de financer des étudiants en doctorat ou des postdoctorants, des personnels non-permanents, des ingénieurs et personnels techniques ainsi que le fonctionnement de la plateforme d'imagerie. Le comité note peu de contrats doctoraux financés par les écoles doctorales.

L'Institut a également une activité de valorisation industrielle très impressionnante qui se concrétise par de nombreux contrats industriels, notamment avec les sociétés Biogen, Iconeus, CardiaWave, Moduleus, Cairdac, Insightec, Theraclion, Vitruvens.

L'Institut est également impliqué dans les programmes d'investissement nationaux à travers les instituts Convergence (PSL Q-Life), les RHU (RHU Quid Nash), les Equipex (Equipex Ultrabrain) et le PEPR Santé Numérique coordonnés par l'Inserm.

Le comité souligne également le financement exceptionnel récent à travers le projet Ze[US] doté de 42 M€ à partir de 2023 dans le cadre de France 2030. Le projet Ze[US] vise à la fois à créer un système d'imagerie capable de générer des données uniques au monde sur le fonctionnement du corps humain, mais aussi de relancer la filière industrielle française des ultrasons biomédicaux.

Le comité relève comme point de vigilance le fait que les financements internationaux sont majoritairement portés par M. Tanter.

4/ L'unité est attractive par la qualité de ses équipements et de ses compétences technologiques.

La plateforme d'équipements techniques en ultrasons médicaux est exceptionnelle. Cette plateforme est composée de plus de 25 échographes ultrarapides de recherche dont une partie est dédiée à l'expérimentation clinique, 4 systèmes d'échographie 3D ultrarapides capables d'atteindre des cadences d'imagerie de plusieurs milliers de volumes par seconde, 6 systèmes de neuroimagerie fonctionnelle, 2 systèmes de thérapie HIFU (High Intensity Focused Ultrasound) du cerveau par Ultrasons transcrâniens, 1 système clinique de thérapie HIFU du cerveau par guidage IRM (Insightec) obtenu dans le cadre de l'Equipex Ultrabrain, installé à l'hôpital Pitié Salpêtrière et co-géré par l'institut et 2 prototypes cliniques uniques au monde de neuromodulation ultrasonore transcrânienne avec neuronavigateur pour le traitement des maladies psychiatriques. Les contrats de maintenance sont financés pour partie sur les crédits récurrents du laboratoire, mais aussi sur les financements de recherche et notamment de financements de mécénat. Le plateau technique est de plus administré par les personnels de l'Accélérateur de Recherche Technologique (ART Inserm). Cet ART dispose de 8 ingénieurs permanents dédiés au développement d'outils technologiques de recherche et est en charge de la dissémination de ces systèmes technologiques dans d'autres laboratoires Inserm pour des recherches collaboratives. Ces laboratoires de recherche ne sont pas explicitement décrits avec précision.

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

Pas de points faibles identifiés.

DOMAINE 3 : PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Appréciation sur la production scientifique de l'unité

La production scientifique est répartie entre de la recherche méthodologique, fondamentale avec des finalités claires vers des applications thérapeutiques et diagnostiques. La quasi-totalité des publications est d'excellente qualité avec 86% des articles relevant des meilleures revues (Q1) généralistes (Nature Methods, Science Translational Medicine, PNAS, Science Advances...) et disciplinaires (IEEE TMI, Circulation, JACC...) du domaine. Le comité souligne le caractère remarquable de la production scientifique de l'Institut sur la période et sa très grande visibilité internationale.

- 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

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

La production scientifique du laboratoire est excellente, tant en termes de quantité (185 publications sur la période évaluée), qu'en termes de qualité, puisque 86% des publications relèvent du premier quartile et 10% du second. Il faut noter qu'une publication sur quatre a été réalisée dans des journaux à forts impacts. Ces publications soulignent la réussite de la stratégie du laboratoire dans son activité de R&D autour de l'innovation en instrumentation biomédicale, de la physique fondamentale vers les applications dans le domaine du cancer, des neurosciences et du champ cardiovasculaire. Plus de 60% de ces publications sont issues directement de projets portés par l'Institut (un des membres de PhysMed est PDC : premier, dernier ou auteur correspondant). À titre d'exemple, l'Institut, pionnier dans le développement et l'utilisation de l'imagerie fonctionnelle ultrasonore (fUS) pour les neurosciences depuis 2011, a continué l'exploration de cette méthodologie chez les primates et chez l'Homme, y compris le nouveau-né, avec de vraies avancées conceptuelles. En outre, l'Institut a récemment validé une nouvelle imagerie fonctionnelle super-résolue (fULM) permettant pour la première fois la cartographie de l'activité cérébrale locale à haute résolution spatiale. Cette nouvelle méthode ouvre de grandes perspectives pour l'étude de la régulation vasculaire et neurovasculaire cérébrale. Le comité souligne la capacité réelle de l'Institut à appliquer leurs approches innovantes en imagerie biomédicale vers la clinique de façon translationnelle.

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

L'Institut PhysMed joue pleinement son rôle dans la formation des jeunes chercheurs avec 58 étudiants en thèse sur la période, dont 22 encadrés par le directeur. Les doctorants participent largement aux publications du laboratoire puisqu'on les retrouve dans 110 publications sur les 185 publiées sur la période, y compris dans celles publiées dans les journaux à forts impacts. L'Institut étant organisé en mono-équipe et trois thématiques, composée actuellement de 10 chercheurs permanents, les publications illustrent les collaborations et interactions fortes entre les chercheurs et l'impact élevé issu de ce mode de fonctionnement. L'Institut reconnaît également l'engagement des personnels d'appui à la recherche à la participation effective aux travaux de recherche de l'Institut. Sur la période étudiée, les membres du personnel d'appui ont ainsi contribué à 27 publications. Autour du directeur, l'ensemble du personnel est impliqué dans la production scientifique de PhysMed.

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.

L'Institut attache une grande importance au respect des principes d'intégrité scientifique, d'éthique et de science ouverte. En ce qui concerne la clinique, la mise en place et le suivi des

protocoles est assuré par les partenaires hospitaliers ou l'INSERM. La politique de publication de l'institut fait preuve d'un bon équilibre entre la quantité de données mises à disposition en « open access » et celles valorisées en brevets ou autres publications scientifiques méthodologiques moins accessibles. Elle a ainsi déposé des données issues de plusieurs publications phares sur le site Zenodo, plateforme de dépôt d'archives ouvertes en libre accès. L'ouverture se fait en maintenant un équilibre entre les conditions des financeurs, la compétition internationale et la PI.

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

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

Sans objet

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

Il faudra veiller à promouvoir les jeunes chercheurs recrutés à passer rapidement leur HDR afin de pouvoir valoriser leur activité d'encadrement.

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.

Sans objet

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'institut, de par ses activités en fort lien avec les hôpitaux via l'ART, est en prise forte avec les grandes questions de société en termes de santé humaine : cancer, neurosciences et santé mentale. Grâce à ses liens industriels forts, et à l'activité de valorisation efficace et continue, elle est également en prise avec le tissu économique, auquel elle participe. Enfin, l'institut a une activité de communication exemplaire (site web, fête de la science ...) vers le grand public, renforcée par la présence d'un chargé 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

1 / l'institut se distingue par une forte activité de transfert via l'ART et de très nombreux programmes de translation pré-clinique avec les hôpitaux. Cette activité est un des points forts de l'institut, comme souligné à de nombreux endroits dans ce rapport, avec un impact sur la santé publique bien sûr amont, mais avec des retombées potentielles larges à moyen et long terme.

2/ L'institut a permis la création de plusieurs startups d'ultrasons médicaux, dont plusieurs très récemment. Certaines des plus anciennes sont déjà de grands succès économiques et sont des acteurs majeurs des ultrasons médicaux en France et dans le monde. L'impact économique est donc excellent, et le programme Ze[US] qui démarre promet une montée en puissance dans les prochaines années.

3/ L'institut a une approche très professionnelle de la communication sur tous les supports (réseaux sociaux, YouTube, site web, presse), grâce à des personnels dédiés. Des exemples de réalisations montrés dans le portfolio permettent de rendre compte de la variété et de la quantité d'actions, permettant de toucher un large public. L'institut a également participé à des expositions temporaires, comme celle de Bordeaux "Cell world" qui a attiré 500k visiteurs.

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

Pas de point faible identifié.

ANALYSE DE LA TRAJECTOIRE DE L'UNITÉ

L'Institut Physique pour la Médecine est une unité mixte de recherche (Inserm, ESPCI Paris-PSL, CNRS) mono-équipe. Labellisée en 2007 comme unité Inserm U979 au sein de l'Institut Langevin Ondes et Images, l'équipe s'est développée et a quitté l'Institut Langevin pour devenir une unité mixte de recherche en 2019. Ainsi, la période 2017-2022 a vu l'Institut atteindre un excellent niveau de maturité dans sa structuration et son développement. En particulier avec l'intégration en 2023 de ParisSanté Campus pour faire partie du regroupement, sur un même site, d'acteurs français de la recherche en santé numérique. En outre, l'Institut a terminé le déploiement de l'Accélérateur de Recherche Technologique, créée fin 2016, permettant le transfert des travaux de recherche vers la clinique. Pour le prochain mandat un changement de direction a été souhaité en raison de la volonté du directeur actuel de passer la main pour se consacrer entièrement à la recherche et à plusieurs gros projets scientifiques, dont le projet Ze[US]. Il s'agit d'un changement dans d'excellentes conditions pour le futur directeur qui bénéficiera toujours de l'expertise de M. Tanter tout en ayant sous sa responsabilité une unité dont l'effectif est maintenant stabilisé, sans problème de fonctionnement, avec une forte cohésion et interactions entre les membres de l'Institut.

L'ensemble des objectifs fixés lors de la précédente évaluation ont été atteints, voire dépassés. En premier lieu, le fonctionnement de l'ART est maintenant parfaitement structuré avec des recrutements (1 chercheur, 7 ingénieurs et 1 chef de projet) et un fonctionnement efficace assurant un transfert clinique des recherches tout à fait remarquable, tout comme la réalisation d'essais précliniques ou de mise à disposition de dispositifs ultrasonores auprès d'autres laboratoires.

L'Institut a mis en place une stratégie remarquable de valorisation de ses travaux avec des publications dans les revues internationales les plus prestigieuses, la création de start-ups et donc la création d'emplois, mais également de transfert clinique avec 6 essais sur la période. De plus, l'Institut a une véritable volonté de disséminer ses activités de recherche au-delà de la sphère scientifique avec de nombreuses actions de divulgation auprès du grand public.

L'évolution de l'Institut a ainsi permis d'excellentes avancées scientifiques avec la conception de nouveaux équipements pour l'imagerie 4D ultrarapide, la mise en place de nouveaux projets tels que la sonogénétiq ue, la mécanotransduction cellulaire activée ou encore l'étude du sommeil paradoxal par ultrasons. En recherche préclinique, le déploiement de l'imagerie neurofonctionnelle est très impressionnant par ses applications en recherches en neurosciences. Sur le plan clinique, cinq démonstrations ont été réalisées, trois essais sont en cours de préparation et trois financements ont été obtenus pour trois projets cliniques à venir.

L'ensemble des avancées scientifiques a été accompagné par le recrutement de 3 chercheurs en plus de ceux liés à l'ART. L'Institut s'est ainsi renforcé avec des expertises qui n'étaient jusqu'alors peu ou pas présentes tout en ayant su conserver une cohésion très forte entre les personnels, signe d'une organisation et d'un accompagnement efficace des nouveaux personnels.

Fort de ce bilan et de cette croissance, le projet de l'Institut est logiquement de poursuivre dans cette voie d'excellence lors des cinq prochaines années en continuant de proposer de nouveaux concepts innovants en imagerie et en thérapie ultrasonore et en renforçant la translation clinique des recherches grâce à l'ART. Ce travail sera articulé autour de trois grandes thématiques : la quantification et les biomarqueurs ultrasonores, l'imagerie fonctionnelle ultrasonore et la thérapie ultrasonore. En particulier, il convient de souligner le projet extrêmement ambitieux Ze[US] qui sera mis en œuvre avec comme objectif, grâce à un financement de 42 M€, de démontrer la faisabilité d'une imagerie ultrasonore multiparamétrique à l'échelle des organes entiers basée sur l'échographie 3D ultrarapide. Le projet sur l'ensemble des thématiques ciblées s'inscrit dans la continuité des travaux mis en place tout en soutenant l'émergence de nouvelles thématiques via les possibilités offertes par le nouvel environnement dont bénéficie l'Institut au sein de ParisSanté Campus, notamment dans le domaine de l'intelligence artificielle. L'Institut veille par ailleurs parfaitement à garder un équilibre entre les projets et les moyens pour ne pas risquer de se disperser.

L'Institut est fortement engagé dans de nombreux projets collaboratifs nationaux et internationaux soutenus par d'importants financements de l'ANR, de l'Europe et du NIH. L'Institut s'impliquera dans de nouveaux partenariats européens, mais s'appuiera aussi sur le rapprochement vers les domaines de la santé numérique grâce à son implantation, ce qui constitue un réel atout pour les projets de recherche.

L'Institut poursuivra son engagement fort de collaborations industrielles et de créations de start-ups pour la valorisation des résultats de recherche et leur transfert vers le monde socio-économique. Une nouvelle start-up est ainsi déjà en cours de création et le projet Ze[US] fédèrera les expertises des différents acteurs du secteur de l'imagerie médicale.

Enfin, pour ce nouveau quinquennat, l'Institut peut s'appuyer sur la forte croissance de ses effectifs et prévoit donc de consolider les acquis et le renforcement des thématiques de recherches en s'appuyant sur son excellente capacité à lever des fonds importants, soulignons que près de 8 M€ sont déjà sécurisés pour le prochain quinquennat.

Le comité ne peut que féliciter l'ensemble du personnel et recommander de continuer sur la dynamique actuelle pour poursuivre la recherche d'excellence, les innovations et les partenariats.

RECOMMANDATIONS À L'UNITÉ

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

Le comité recommande de maintenir les cohésions internes et le sentiment d'appartenance à l'unité, l'accompagnement des personnels et poursuivre l'excellent travail d'encadrement des jeunes chercheuses et chercheurs.

Recommandations concernant le domaine 2 : Attractivité

Le comité recommande de poursuivre la dynamique du laboratoire en termes de collaborations et de valorisation permettant d'en faire un laboratoire très attractif sur le plan national et international comme en attestent les recrutements de haut niveau récents.

Recommandations concernant le domaine 3 : Production scientifique

Le comité recommande de poursuivre la dynamique d'excellence instaurée dans l'unité et maintenir le niveau des productions scientifiques et techniques au meilleur niveau des standards internationaux.

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

Le comité recommande de maintenir les actions qui sont menées par le laboratoire pour diffuser ses activités scientifiques et continuer le transfert des recherches vers le monde socio-économique à travers la création de sociétés et le maintien de liens forts avec les partenaires industriels existants.

DÉROULEMENT DES ENTRETIENS

DATE

Début : 16 novembre 2023 à 12h30

Fin : 16 novembre 2023 à 17h30

Entretiens réalisés : en distanciel

PROGRAMME DES ENTRETIENS

12h30-12h40

Accueil, présentation de la HCERES et du comité d'experts aux personnels du laboratoire

12h40-14h20

Bilan scientifique du laboratoire et échanges avec le comité

- Présentation générale du laboratoire
- Présentation du thème Quantification et biomarqueurs ultrasonores
- Présentation du thème Imagerie fonctionnelle ultrasonore
- Présentation du thème Thérapie ultrasonore
- Présentation projet

14h25-14h55

- Echanges entre le comité et représentants des tutelles

14h55-15h

- Pause

15h-15h30

Echanges entre le comité et chercheurs / enseignants-chercheurs

15h30-16h

Echanges entre le comité et ingénieurs / techniciens / administratifs

16h-16h30

Echanges entre le comité et doctorants

16h30-17h

Echanges entre le comité et direction

17h-17h30

Réunion à huis-clos du comité

17h30

Conclusions avec les personnels du laboratoire

OBSERVATIONS GÉNÉRALES DES TUTELLES

Arnaud TOURIN
Vice-président recherche, sciences et société

+33 1 80 48 59 13
arnaud.tourin@psl.eu

Paris, le 5 mars 2024

M. Eric SAINT-AMAN
Directeur
Département d'évaluation de la recherche
HCÉRES

Référence : DER-PUR250024151 - PhysMed - Physique pour la médecine

Monsieur le Directeur,

Les tutelles de l'unité *PhysMed* remercient chaleureusement l'ensemble des experts du Comité pour leur travail d'évaluation et la qualité de leur rapport.

Vous trouverez ci-joint une observation de portée générale formulée par l'ESPCI Paris-PSL

Je vous prie de recevoir, Monsieur le Directeur, mes plus cordiales salutations.



Arnaud Tourin

■ **Costantino Creton**

VP Recherche

ESPCI Paris-PSL

+33 1 40 79 44 02

costantino.creton@espci.psl.eu

Paris, le 04/03/2024

Observations de portée générale

Nous souhaitons remercier chaleureusement les membres du comité d'expert ainsi que son président et la représentante du HCERES pour le travail remarquable et le temps consacré à l'évaluation de l'institut Physique pour la Médecine Paris. Le rapport d'évaluation constitue une excellente analyse des activités et de l'organisation de l'institut. Nous remercions également le comité d'expert pour leurs recommandations.

Nous tenons à apporter quelques précisions sur un point de vigilance soulevé par le comité à la page 9 de leur rapport :

« Appréciation sur l'attractivité de l'unité : La production scientifique témoigne d'un rayonnement scientifique international excellent. L'Institut a obtenu une réussite impressionnante ... Un point de vigilance est remarqué concernant l'absence de nouveaux DR sur cette période. »

Concernant ce point de vigilance, nous souhaitons préciser que l'UMR compte actuellement 4 directeurs de recherche sur un total de 10 chercheurs et enseignants-chercheurs. Parmi les chargés de recherche, Thomas Deffieux a candidaté deux fois au concours DR INSERM avec un fort soutien de l'UMR. Vu son excellent dossier, nous n'avons aucun doute sur le fait qu'il obtiendra prochainement une promotion vers le grade DR. Sophie Pezet, maître de conférence à l'ESPCI Paris-PSL, a également présenté l'année dernière sa candidature au concours de professeur ESPCI avec un fort soutien de l'UMR et a été classée parmi les meilleurs candidats sans toutefois obtenir un poste ; mais nous sommes convaincus que la qualité de son dossier lui permettra d'être promue professeur dans les prochaines années. Les 4 autres chargés de recherche et maîtres de conférences (Béatrice Berthon, Justine Robin, Clément Papadacci et Charlie Deméné), plus jeunes, ont été recrutés plus récemment et seront amenés à présenter leurs dossiers de promotion dans les prochaines années.

Cordialement



Costantino Creton, VP Recherche de l'ESPCI Paris

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



2 rue Albert Einstein
75013 Paris, France
T.33 (0)1 55 55 60 10

hceres.fr

 [@Hceres_](https://twitter.com/Hceres_)

 [Hcéres](https://www.youtube.com/Hceres)