

RAPPORT D'ÉVALUATION DE L'UNITÉ

PMMH - Physique et mécanique des milieux
hétérogènes

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

Université Paris Cité

Sorbonne Université

Centre national de la recherche scientifique -
CNRS

CAMPAGNE D'ÉVALUATION 2023-2024
VAGUE D

Rapport publié le 22/02/2024



Au nom du comité d'experts¹ :

Gilles Flamant, président du comité

Pour le Hcéres² :

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. Gilles Flamant, CNRS Odeillo

M. Patrick Berterretche, CNRS Poitiers (personnel d'appui à la recherche)
M. Laurent Joly, Université Claude Bernard Lyon 1 - UCBL (représentant du CNU)

Experts :

M. Pierre Nassoy, CNRS Talence
M. Olivier Pouliquen, CNRS Marseille
M. David Rodney, Université Claude Bernard Lyon 1 - UCBL
Mme Anne-Marie Van Hirtum, Université Grenoble Alpes - UGA (représentante du CoNRS)

REPRÉSENTANTE DU HCÉRES

Mme Françoise Bataille

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

M. Philippe Agard, Sorbonne Université
Mme Émilie Boutin, Université Paris Cité
M. Costantino Creton, ESPCI Paris-PSL
M. Vincent Croquette, ESPCI Paris-PSL
Mme Nathalie Eisenbaum, Université Paris Cité
M. Fabien Godeferd, CNRS
M. Arnaud Tourin, Université PSL

CARACTÉRISATION DE L'UNITÉ

- Nom : Physique et Mécanique des Milieux Hétérogènes
- Acronyme : PMMH
- Label et numéro : UMR 7636
- Nombre d'équipes : 3 équipes
- Composition de l'équipe de direction : M. Damien Vandembroucq (directeur) / M. Philippe Petitjeans (directeur adjoint) / Mme Frédérique Auger (administratrice)

PANELS SCIENTIFIQUES DE L'UNITÉ

ST Sciences et technologies
ST5 Sciences pour l'ingénieur

THÉMATIQUES DE L'UNITÉ

Les trois thématiques principales de l'unité sont : hydrodynamique et interfaces, matière molle, mécanique physique. Ces thématiques sont complétées par deux autres, transversales : physique du vivant, et systèmes géo-inspirés et physique de l'environnement.

HISTORIQUE ET LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DE L'UNITÉ

L'unité Physique et Mécanique des Milieux Hétérogènes (PMMH) est une UMR depuis 1989. Néanmoins, son origine date de 1977 avec la création par Pierre-Gilles de Gennes de la chaire d'hydrodynamique à l'ESPCI proposée à Pierre Bergé. Reprise par Étienne Guyon, celui-ci installe les premières expériences et fonde le laboratoire d'Hydrodynamique et de Mécanique Physique (HMP). Après différentes évolutions, les années 2000 constituent une période charnière avec l'arrivée de chercheurs et d'ITA de l'université Pierre et Marie Curie (UPMC – P6) et de l'université Paris Diderot (UPD – P7), du Collège de France et du CEA. PMMH est associé aux universités parisiennes Paris 6 UPMC et Paris 7 Diderot en 2005. Une autre date clé est 2018, année durant laquelle le laboratoire a dû déménager en raison des importants travaux de démolition et de reconstruction de l'ESPCI. À partir de cette date, la majorité de l'unité s'est installée à Sorbonne Université (SU) sur le campus Pierre et Marie Curie, barre Cassan (front de Seine), sur environ 880 m². Une autre partie du laboratoire a déménagé à l'Institut Langevin, dans les locaux de l'IPGP, sur 222 m². Enfin, l'Institut Pierre-Gilles de Gennes, en face de l'ESPCI, a mis à disposition 80 m². En 2023, l'essentiel du laboratoire est localisé sur le site Cassan. Il ne reste à l'Institut Langevin que cinq bureaux et une salle d'expérience occupant environ 120 m².

ENVIRONNEMENT DE RECHERCHE DE L'UNITÉ

L'unité PMMH est une unité mixte de recherche avec un rattachement multi-tutelle : le CNRS (rattachement principal à l'INSIS et rattachement secondaire à l'INP), l'ESPCI Paris-PSL (tutelle hébergeante, établissement-composante de l'Université PSL), Sorbonne Université (UFR de physique) et l'université Paris Cité (UFR de Physique). Son environnement de recherche est particulièrement dense et riche : il y a dans le 5^e arrondissement de Paris plus de 2000 chercheurs du CNRS. L'unité PMMH est partie prenante de l'Institut Pierre Gilles de Gennes pour la microfluidique de l'Université PSL (labex IPGG), elle a ainsi accès à ses nombreuses ressources tant techniques (salle blanche, microfabrication) que scientifiques.

L'unité fait partie de plusieurs GDR : le GDR Mécanique Physique (MePhy), fondé et animé par des membres de l'unité ; Approches Quantitatives pour le Vivant (AQV) ; Contrôle et Décollement (CD) ; Navier Stokes 2.0 (NS2.0) ; Polymères et Océans ; et Interactions Désordre, Élasticité (IDE) créé en 2022.

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

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	5
Maitres de conférences et assimilés	6
Directeurs de recherche et assimilés	10
Chargés de recherche et assimilés	6
Personnels d'appui à la recherche	7
Sous-total personnels permanents en activité	34

Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	6
Personnels d'appui non permanents	0
Post-doctorants	0
Doctorants	44
Sous-total personnels non permanents en activité	50
Total personnels	84

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
CNRS	0	16	5
Sorbonne Université	4	0	2
ESPCI Paris-PSL	4	0	0
Université Paris Cité	3	0	0
Total personnels	11	16	7

AVIS GLOBAL

L'unité Physique et Mécanique des Milieux Hétérogènes (PMMH) conjugue excellence scientifique et cohésion. Son activité s'exerce dans trois thèmes disciplinaires, hydrodynamique et interfaces, matière molle, mécanique physique et deux thèmes transversaux applicatifs, physique du vivant, et systèmes géo-inspirés et physique de l'environnement. Le foisonnement des recherches révèle la créativité remarquable du PMMH qui a su éviter la dispersion en maintenant une ligne directrice, développer un point de vue physique sur la mécanique en particulier en développant des expérimentations modèles. Le caractère exceptionnel de ces expérimentations gagnerait à être renforcé par un effort de modélisation afin de conforter la capacité de l'unité à aborder la complexité des systèmes réels. Le succès de l'unité aux appels à projets compétitifs nationaux montre la pertinence des recherches et des méthodologies développées. La curiosité et l'initiative sont encouragées par un mode de fonctionnement original très souple où les chercheurs sont associés à différents thèmes plutôt que répartis dans différentes équipes. Cette organisation combinée à une qualité de dialogue accomplie a montré sa capacité à créer un fort sentiment d'appartenance et une excellente attractivité du PMMH. Cette attractivité va de pair avec un environnement scientifique exceptionnel qui lui permet d'établir des collaborations disciplinaires et interdisciplinaires très fructueuses, en particulier dans les domaines de la biologie et de la géophysique. Le rayonnement scientifique de l'unité est de classe internationale. Il se concrétise par l'attribution à ses membres de prix de haut niveau, l'implication des chercheurs de l'unité dans les comités éditoriaux des meilleures revues internationales correspondant aux domaines d'excellence du PMMH et par la qualité des publications. Les interactions de l'unité avec les acteurs non-académiques sont très bonnes par l'étendue des secteurs concernés et la variabilité de la taille des partenaires, des grands groupes aux start-up. Le partage des connaissances scientifiques avec le plus grand nombre est un point fort du PMMH qui met un point d'honneur à satisfaire la totalité des demandes de visite des élèves et étudiants. Il s'organise autour d'expérimentations très visuelles illustrant des phénomènes observables au quotidien. Au plan scientifique, la trajectoire de l'unité s'appuie sur le socle solide de l'alliance entre physique et mécanique inspirée par la physique statistique. Elle affirme la construction d'un collectif de recherche basé sur la liberté d'initiative, le dialogue et l'attention aux personnels.

ÉVALUATION DÉTAILLÉE DE L'UNITÉ

A - PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Analyser le potentiel d'interaction avec l'industrie : durant la période 2017-2022, les collaborations industrielles et les activités de valorisation ont augmenté avec huit financements de thèses avec des dispositifs Cifre (2 pendant la période précédente) et quatorze brevets (12 précédemment). Les partenaires industriels sont, par exemple, Saint-Gobain, Hutchinson, Décathlon, Thales, Sanofi, Plastic Omnium.

Garantir la cohésion et la créativité : à l'interface avec d'autres disciplines, les sujets en lien avec la physique de l'environnement ont été source de créativité et de projets structurants. Par exemple, le projet de grand programme de l'Université PSL « Les nuages, une thématique au carrefour des disciplines » et le projet « Physique des ondes et fracture de la banquise ».

Diversifier les ressources propres, en particulier vers l'industrie, et vers les ressources européennes de l'ERC : le partenariat industriel a été dynamisé et stabilisé avec des collaborations pérennes. Un projet « consolidator » a été soumis pour financement à l'ERC (non retenu) et un autre est en cours.

Risque concernant l'atelier mécanique suite au déménagement : l'atelier est localisé sur le site Cassan et tous les personnels de l'atelier sont sur ce même site. Il permet la fabrication de la plupart des pièces nécessaires aux recherches.

B - DOMAINES D'ÉVALUATION

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

Appréciation sur les objectifs scientifiques de l'unité

Une ligne directrice forte se dégage dans le foisonnement des recherches du PMMH : la caractérisation mécanique des objets d'étude, des fluides aux solides en passant par la matière molle, inerte, active ou vivante. Cette stratégie basée sur des questionnements portant sur l'origine des comportements observés, lui donne une position très originale et reconnue dans le paysage de la recherche nationale aussi bien par les objets d'étude que par les méthodes mises en œuvre. À l'interface entre les deux disciplines, l'unité excelle dans le développement d'un point de vue physique sur la mécanique à partir d'expériences modèles.

Appréciation sur les ressources de l'unité

Les ressources de l'unité sont dominées par les financements sur projets mais le financement récurrent est significatif (environ 20 % du total), ce qui témoigne du soutien fort des tutelles. Les contributions importantes des financements issus de l'ANR et de la commission européenne (ERC principalement) montrent le dynamisme des chercheurs de l'unité. Les collaborations industrielles représentent en moyenne 15 % du budget annuel hors salaire des permanents, ce taux est très satisfaisant.

Appréciation sur le fonctionnement de l'unité

Le fonctionnement de l'unité se caractérise par une grande souplesse et par une capacité remarquable à s'approprier des sujets de recherche nouveaux. L'excellente animation scientifique du PMMH favorise la créativité et l'initiative. C'est un fonctionnement par projets qui sont menés par des regroupements d'un à quatre permanents, et les doctorants et post-doctorants associés. Ce fonctionnement pourrait entraîner une dispersion qui est évitée par une politique scientifique élaborée collectivement lors des réunions hebdomadaires (réunion-café) et des conseils d'unité. La formalisation par le conseil d'unité, qui se réunit régulièrement, des propositions élaborées au cours de réunions informelles est un gage de très bon fonctionnement de l'unité.

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

Points forts et possibilités liées au contexte

Le développement des thématiques transversales, le nombre de projets financés par des appels compétitifs et le dynamisme des recrutements sont des indicateurs, parmi d'autres, de la pertinence des objectifs scientifiques de l'unité. Ils sont fécondés par une ouverture à l'interdisciplinarité remarquable avec la biologie cellulaire et des plantes, les neurosciences, la géophysique et la climatologie. Les échelles abordées vont du micromètre (bactérie, par exemple) à plusieurs dizaines de mètres (dune, banquise). Dans le contexte de la complexité des problèmes posés par l'évolution du climat, la méthodologie développée par le PMMH constitue un outil d'interprétation de premier plan. L'animation scientifique de l'unité est remarquable. Elle permet un partage des concepts qui assure la cohérence des recherches tout en laissant un large espace de liberté et de création aux membres du PMMH.

Points faibles et risques liés au contexte

L'excellence des recherches menées au PMMH peut conduire à la multiplication des sollicitations externes nuisibles à la cohésion du laboratoire et source de dispersion. Néanmoins, l'unité a montré qu'elle a su résister à cette dérive par le passé. Il n'y a aucune raison de penser qu'il n'en sera pas de même à l'avenir.

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

Les ressources propres constituent en moyenne 80 % du budget annuel de l'unité, ce taux élevé témoigne du dynamisme de l'unité. Néanmoins, le financement récurrent est significatif (environ 20 % du total), ce qui témoigne du soutien fort des tutelles. Le budget hors salaire des permanents s'établit à 1 825 k€/an en moyenne avec une contribution annuelle de 360 k€ des tutelles (contribution majoritaire de l'ESPCI Paris-PSL et du CNRS), de 560 k€ de l'ANR (19 projets durant la période), de 275 k€ de contrats avec l'industrie (en comptant le salaire des doctorants Cifre), de 445 k€ d'origine européenne et 185 k€ d'autres financements publics (PIA, ville de Paris, région, etc.). Le mode de répartition des moyens (avec un prélèvement de 7 % sur les contrats) assure un financement minimum à chaque chercheur. L'achat d'équipements communs est discuté lors des réunions-café et validé par le CdU. Comme l'unité n'a pas la charge de grosses infrastructures de recherche, les ressources dont elle dispose sont parfaitement adaptées à son activité expérimentale dominée par des expérimentations de taille modeste.

Points faibles et risques liés au contexte

La baisse des crédits alloués aux unités de recherche par l'ESPCI suite à la réduction des subventions de la ville de Paris à l'établissement (baisse de 25 % des crédits d'équipements et de 80 % des crédits de fonctionnements hors salaires en 2023) constitue la menace la plus importante dans le futur.

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

La prévention des risques est bien prise en compte par la direction, tous les nouveaux arrivants suivent une formation organisée régulièrement par les agents de prévention. Un plan de continuité d'activité et une politique de prévention ont été mis en place durant la pandémie Covid-19. L'unité déploie une politique de prévention des risques psycho-sociaux et des violences sexistes et sexuelles complète avec des affichages, la distribution de flyers et la mise en place d'une cellule d'écoute diversifiée. La direction accompagne les candidats (PAR, MCF, CR) à des promotions. Le réseau de l'unité est géré par le service informatique de l'ESPCI qui fait signer une chartre à chaque utilisateur. L'unité a mis en place un correspondant informatique. Au plan environnemental, un petit groupe a commencé le travail d'estimation de l'empreinte carbone du PMMH en lien avec le projet « labos 1.5 ».

L'hygiène, la sécurité et les conditions de travail sont bien prises en compte par l'unité.

DOMAINE 2 : ATTRACTIVITÉ

Appréciation sur l'attractivité de l'unité

L'attractivité et le rayonnement de l'unité sont exceptionnels tant au plan national qu'international. Ils se concrétisent par la reconnaissance de ses membres, récipiendaires de nombreux prix et distinctions, et très actifs dans les comités éditoriaux des meilleures revues. Le succès du PMMH aux appels à projets compétitifs est remarquable. L'excellence de la formation par la recherche de l'unité permet à ses doctorants et post-doctorants une insertion dans le monde académique et industriel au plus haut niveau. La qualité de ses personnels d'accompagnement de la recherche permet au PMMH de développer des expérimentations originales de grande qualité.

- 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

Le rayonnement scientifique de l'unité est de classe internationale. Il se concrétise, par l'attribution à ses membres de prix de haut niveau, par exemple, médaille d'argent du CNRS en 2021, médaille de bronze du CNRS en 2023, prix Fluid Dynamics de l'American Physical Society en 2021 et prix Holweck de la Société Française de Physique et de l'IOP 2023. Treize autres prix et distinctions s'ajoutent à cette liste. Les chercheurs de l'unité sont membres des comités éditoriaux des meilleures revues internationales dans les domaines d'excellence du PMMH, telles que Physical Review Letters, Physical Review Fluids, Soft Matter, Advances in Colloid and Interface Science, Philosophical Transactions of the Royal Society, European Physical Journal E, Physica A et D. Les membres du PMMH présentent de nombreuses conférences invitées dans les congrès nationaux et internationaux (plus de 150 dans des conférences et workshops). L'unité est leader dans la mise en place de collaborations internationales de long terme telles que le laboratoire international associé (LIA) « Physique et Mécanique des Fluides (PMF) » et son successeur l'IRP (International Research Project) « Ingénierie Verte par la Mécanique des Fluides (IVMF) » avec l'université de Buenos Aires. Les collaborations internationales sont stimulées par les chaires Joliot et Paris-Sciences accordées par l'ESPCI (environ une dizaine par an pour l'unité) qui permettent d'inviter des chercheurs étrangers durant un mois.

Au plan européen, l'unité a obtenu un projet soutenu par l'ERC consolidator et quatre projets collaboratifs pour le financement de doctorants (ETN, ITN, Marie Curie action Inwas).

Le devenir des doctorants est illustratif de l'attractivité exceptionnelle de l'unité. Durant la période 2017-2022, sept anciens doctorants et un ancien post-doc ont obtenu un poste de chargé de recherche (CR) au CNRS et une ancienne post-doc un poste de chargé de recherche à l'Inserm. Huit anciens doctorants et six anciens post-doctorants ont obtenu un poste d'enseignant-chercheur en France (3) ou à l'étranger (11).

Les nouveaux arrivants bénéficient d'un package d'accueil leur permettant de démarrer leurs activités (quelques dizaines de k€, modulés en fonction des besoins). Les membres de l'unité reçoivent une dotation annuelle de 5 k€ par permanent et 3,5 k€ par non-permanent. Les candidats à des promotions sont accompagnés en particulier par une relecture systématique des dossiers de candidature et la répétition des auditions.

Le succès de l'unité aux appels à projet de l'ANR est remarquable avec dix-neuf projets soutenus par l'ANR sélectionnés au cours de la période sur des sujets couvrant l'ensemble des thématiques du PMMH. Au plan

européen, on note un projet soutenu par l'ERC et plusieurs autres de type ETN (European Training Network) et ITN (International Training Network). Le PMMH a eu moins de succès dans la cadre du PIA4.

Le PMMH développe une activité expérimentale très riche sur des objets d'étude généralement de petite taille. Le développement des expérimentations est favorisé par un support technique de grande qualité qui bénéficie d'un atelier de mécanique. Cinq personnes sont dédiées à cette activité en comptant l'instrumentation. Elles ont accès à l'atelier commun de l'ESPCI pour la réalisation des pièces les plus complexes. L'unité dispose d'imprimantes 3D de haute performance. Les développements instrumentaux permettent des mesures de l'échelle millimétrique à l'échelle métrique, ils sont souvent basés sur la mise en œuvre de caméras rapides.

En conclusion, grâce à son positionnement scientifique, la qualité de ses résultats, son mode de fonctionnement, sa créativité et les qualités de ses membres, le PMMH est une unité dont l'attractivité est exceptionnelle.

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

Peu de points faibles peuvent être signalés. L'implication de l'unité dans les projets du PIA4 est très réduite. Au plan européen, le PMMH est absent des projets collaboratifs de type RIA (Research and Innovation Action) du programme Horizon Europe.

DOMAINE 3 : PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Appréciation sur la production scientifique de l'unité

La qualité de la production scientifique du PMMH est exceptionnelle et répond aux critères les plus exigeants des disciplines cœur et transversales de l'unité. Au plan quantitatif, chaque chercheur et enseignant-chercheur publie plusieurs articles par an dans des journaux renommés, ce qui est remarquable.

- 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 répond aux plus hauts standards internationaux. Plusieurs publications ont fait l'objet de couvertures de journaux. Le PMMH publie dans les meilleures revues des domaines scientifiques cœur de l'unité et également des thématiques transversales. Pour les revues générales de physique et de mécanique, on note : 36 articles dans Physical Review Letters, vingt dans Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), huit dans Europhysics Letters, six dans Applied Physics Letters et trois dans Nature. Pour les revues plus disciplinaires, les plus représentées sont : Physical Review Fluids (38 articles), Physical Review E (28 articles), Journal of Fluid Mechanics (26 articles), Soft Matter (16 articles), Journal of the Physics and the Mechanics of Solids (6 articles). Enfin, en ce qui concerne les revues les plus prestigieuses, l'unité a publié cinq articles dans Nature communications, quatre dans Nature Physics, deux dans Nature Materials, un dans Nature Geoscience et trois articles dans Annual Review of Fluid Mechanics.

Par ailleurs, six livres ont été publiés par des membres de l'unité.

Le PMMH a publié 414 articles durant l'ensemble de la période, ce qui représente environ 2,4 articles par an et par chercheur ou enseignant-chercheur. Cette moyenne est excellente.

L'unité dispose d'un référent à l'intégrité scientifique (qui assure cette fonction pour l'ESPCI). Des séminaires de formation sur l'intégrité scientifique sont organisés. Les personnels disposent de cahiers de laboratoire et ont recours, en cas de besoin, aux logiciels antiplagiats. La déstabilisation engendrée par l'émergence de nouvelles revues prédatrices avec un modèle basé sur la facturation des publications (APC) est prise en compte et discutée. Un très grand nombre de publications, de résultats scientifiques sont accessibles sur le site web du

laboratoire et les pages personnelles des chercheurs mais elles ne sont pas déposées systématiquement dans HAL.

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

Comme reconnu dans le DAE, il reste à l'unité des marges de progrès sur la mise en ligne systématique des contributions scientifiques sur la plateforme HAL et plus encore sans doute sur l'archivage des données et l'open data.

DOMAINE 4 : INSCRIPTION DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE DANS LA SOCIÉTÉ

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

Les interactions de l'unité avec le monde non-académique sont remarquables par l'étendue des secteurs concernés et la variabilité de la taille des partenaires, des grands groupes aux start-up. Elles se concrétisent par de nombreuses thèses sous dispositifs Cifre et des projets à long terme. Les actions de partage des connaissances scientifiques avec le plus grand nombre sont excellentes et constituent un point fort du PMMH. L'activité inventive de l'unité est de très bon niveau et associe toutes les personnes impliquées.

- 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 développe des collaborations avec les grands groupes, une PME et des start-up. Elles se concrétisent par de nombreuses thèses financées par un dispositif Cifre, un total de onze, dont cinq avec Saint-Gobain, une avec TotalEnergies et une avec EDF. Deux sont en partenariat avec Photonlines (PME) et une avec la start-up Aenitis fondée par l'unité. La dernière a été établie avec le LNE. Par ailleurs, une thèse est financée par Sanofi et un post-doc par la start-up Bluerium. Des accords de confidentialité ont été signés avec Décathlon, Plastic Omnium et Thales. Des actions de prématuration sont en cours avec la SATT Lutec et avec l'Université PSL. Les collaborations avec L'Oréal se développent grâce au mécénat et partenariat ESPCI- L'Oréal. Les questions de transmission aéroportée du virus SARS-COV2 et de politique de prévention ont permis à l'unité d'établir des ponts avec les professionnels de santé.

Quatorze brevets ont été déposés par des membres du PMMH durant la période avec douze inventeurs parmi les membres permanents du laboratoire et onze doctorants ou post-doctorants. On note des actions remarquables dans le domaine « art et science » avec, par exemple, une participation au Salon « Révélation » de la biennale internationale des métiers d'art et de la création au Grand Palais en mai 2019 et une conférence interdisciplinaire grand public dans l'amphithéâtre d'honneur des Beaux-Arts, pour la chaire « beauté.s » de l'Université PSL en mars 2022.

Le partage des connaissances scientifiques avec le plus grand nombre est un point fort du PMMH car ses expérimentations, très visuelles, illustrent des phénomènes observables au quotidien. Ses actions se matérialisent par la production de vidéos et par des interventions comme « experts » au cours d'émissions de télévision tournées vers les sciences. Un effort particulier est fait vers les plus jeunes et dans le cadre scolaire. S'ajoutent les livres écrits sur la rosée ou le best-seller de vulgarisation de la mécanique physique.

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

L'intervention des chercheurs dans les débats de société peut poser des problèmes éthiques (en quels noms parlent les chercheurs).

ANALYSE DE LA TRAJECTOIRE DE L'UNITÉ

La trajectoire de l'unité se caractérise par sa fidélité à l'approche qui fait la singularité du PMMH, un regard de la physique sur la mécanique inspiré par la physique statistique, et aux orientations scientifiques analysées dans ce rapport. Au plan de l'organisation, il s'agit de conjuguer autonomie et liberté personnelle et construction d'un collectif de recherche s'appuyant sur des concepts communs et des décisions collégiales. L'unité a excellé jusqu'à présent dans cet exercice. Dans ce contexte, l'unité de lieu est un point critique qui doit être pris en compte dans les années futures lorsque la question du déménagement deviendra pertinente.

À côté des trois grands thèmes scientifiques disciplinaires « historiques », que sont « Hydrodynamique et Interfaces », « Matière Molle » et « Mécanique Physique », les deux thèmes transversaux « Physique du Vivant » et « Systèmes géo-inspirés et physique de l'environnement » sont amenés à se développer.

L'unité réaffirme son ouverture sur son environnement proche (accueil des étudiants, synergie avec les laboratoires voisins), au plan national (structuration de groupements de recherche, par exemple) et à l'échelle internationale (unité mixte internationale avec l'Argentine).

RECOMMANDATIONS À L'UNITÉ

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

Il est recommandé à l'unité de maintenir et enrichir son fonctionnement atypique basé sur des valeurs partagées de construction d'un collectif de recherche nourri par la liberté d'initiative.

Thématique phare de l'unité, le PMMH devrait maintenir ses recherches dans le domaine de la mécanique physique au plus niveau.

Le comité encourage le PMMH à renforcer les axes transversaux, en particulier celui consacré aux « systèmes géo-inspirés et physique de l'environnement » plus récent que « physique du vivant » qui a déjà démontré sa profondeur scientifique.

L'unité est invitée à amplifier ses actions dans le domaine de la modélisation et de la simulation numérique afin de lier les différentes échelles des systèmes étudiés et d'établir des ponts entre expériences modèles et réel complexe.

Recommandations concernant le domaine 2 : Attractivité

Compte tenu de l'excellence de l'unité dans ce domaine, le comité ne juge pas nécessaire d'émettre des recommandations.

Recommandations concernant le domaine 3 : Production scientifique

Le comité recommande de maintenir l'excellence de la production scientifique au plan qualitatif et au plan quantitatif.

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

L'ouverture remarquable du PMMH vers la société est un atout qui doit être préservé malgré le surcroît de travail qu'elle génère.

Le comité recommande à l'unité de discuter et de formaliser les modes d'intervention des chercheurs dans les débats de société. L'unité est encouragée à suivre l'avis émis par le comité d'éthique du CNRS (<https://comite-ethique.cnrs.fr/wp-content/uploads/2023/09/AVIS-2023-44.pdf>).

ÉVALUATION PAR THÈME

Thème 1 : Hydrodynamique et Interfaces

SOUS-THÈMES

Le thème « Hydrodynamique et Interfaces » regroupe un vaste éventail d'activités de recherche qui sont présentées autour de trois sous-thèmes : turbulence et instabilités hydrodynamiques, des mécanismes fondamentaux jusqu'aux stratégies de contrôle de ces phénomènes ; ondes et hydrodynamique aux interfaces, afin de prendre en compte l'influence des surfaces libres et des interfaces sur le comportement des fluides ; et interaction fluide structure, afin de comprendre et d'utiliser la physique des systèmes naturels et bio-inspirés.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Le thème « Hydrodynamique et Interfaces » regroupe les deux thèmes du même nom identifiés dans la campagne d'évaluation précédente.

Pour le premier thème « Hydrodynamique », la recommandation de diversifier les ressources propres et en particulier d'amplifier l'activité contractuelle avec l'industrie a été prise en compte, avec notamment des contrats avec Photonlines sur le développement de la PIV temps réel (financement de deux thèses successives) et le développement des collaborations avec Saint-Gobain.

Concernant le deuxième thème « Interfaces » et mis à part des collaborations externes (ex. EPFL, Univ. Bristol), l'embauche d'un professeur ESPCI, depuis 2019, ainsi que l'embauche d'un CR CNRS (section 10), depuis 2021, renforcent l'expertise théorique et numérique au sein du laboratoire et complètent l'approche expérimentale caractéristique au PMMH. Ceci est concrétisé par le co-encadrement de thèses.

Finalement, le déménagement a été et est maîtrisé au mieux de sorte que l'impact sur les études expérimentales, au cœur de ces deux thèmes, n'est pas notable. Par exemple, le déménagement des canaux hydrodynamiques et leur remise en fonction ont été gérés en quelques mois. Cette attention à la continuité des activités a sans doute aussi permis de gérer la crise sanitaire (Covid) au mieux.

EFFECTIFS DU THÈME : en personnes physiques au 31/12/2022

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	4
Maitres de conférences et assimilés	1
Directeurs de recherche et assimilés	8
Chargés de recherche et assimilés	4
Personnels d'appui à la recherche	non affectés par thèmes
Sous-total personnels permanents en activité	17
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	3 (1 PR émérite, 1 DR émérite, 1 bénévole)
Personnels d'appui non permanents	NC
Post-doctorants	NC
Doctorants	NC
Sous-total personnels non permanents en activité	3
Total personnels	20

ÉVALUATION

Appréciation générale sur le thème

Les chercheurs et enseignants-chercheurs visent des publications du meilleur niveau international dans des revues reconnues par la communauté de physique (Physical Review Letters, par exemple), mécanique des fluides (Journal of Fluid Mechanics, entre autres) et interdisciplinaire (Proceedings of the National Academy of Sciences, Nature group, etc.). Le niveau des publications, la variété des sujets de recherche et l'attractivité en termes de recrutement (notamment au concours de chargé de recherche du CNRS) montrent l'excellence, la viabilité et le fleurissement de ce thème au sein du PMMH.

Points forts et possibilités liées au contexte

Le thème « Hydrodynamique et Interface » (HI) rassemble une vingtaine de permanents, ce qui illustre l'importance historique de ce thème au PMMH. Les C et EC se consacrent de façon équilibrée aux trois sous-thèmes : « Turbulence et instabilités hydrodynamiques » (HI1), « Ondes et hydrodynamique aux interfaces » (HI2) et « Interaction fluide structure » (HI3). L'activité de recherche de presque tous ces C et EC (à 2 exceptions près) concerne également les deux autres thèmes disciplinaires « Matière Molle », « Mécanique physique » ainsi que les thèmes transverses « Physique du vivant » et « systèmes géo-inspirés et physique de l'environnement ». Cet engagement fort envers les autres thèmes de recherche est déjà un indicateur de la richesse des sujets de recherche, tant au plan fondamental qu'au plan des applications.

Le thème « Hydrodynamique et Interface » peut s'appuyer sur une longue tradition d'excellence au PMMH. L'environnement spécifique et stimulant des formations et des laboratoires parisiens ainsi qu'une ouverture vers des collaborations nationales et internationales ont contribué à perpétuer cette tradition « style de Gennes/PMMH », afin de proposer des études originales sur un large éventail de phénomènes et d'applications à différentes échelles. Pendant cette période d'évaluation, ce style essentiellement expérimental et théorique a été complété par des expériences numériques. Cette approche est commune à chacun des trois sous-thèmes et le PMMH continue à développer et à mettre en œuvre son savoir-faire. Au plan expérimental on note, par exemple, des tunnels hydrodynamiques et l'analyse PIV (vélocimétrie par images de particules) en temps réel.

Le sous-thème « turbulence et instabilités hydrodynamiques » (HI1) aborde des questions originales toujours ouvertes autour de la compréhension des mécanismes fondamentaux sous-jacents à la turbulence et à son contrôle pour des cas canoniques (ex. écoulement de sillage ou écoulement au voisinage d'une paroi) ainsi que des applications (e.g., optimisation du transfert de chaleur, mélange, réduction de la traînée).

Le sous-thème « ondes et hydrodynamique aux interfaces » (HI2) vise la compréhension du comportement des fluides en présence de surfaces libres et interfaces. Ce sous-thème revisite de façon élégante des questions traditionnelles autour de la dynamique des ondes de surface (e.g., instabilité de Faraday, effet Leidenfrost) ainsi que des questions d'actualité comme, par exemple, le couplage avec des structures flottantes (rigide ou élastique), des bathymétries artificielles ou l'impact des gouttes. Ces questions sont souvent liées à des innovations comme le développement des nouveaux métamatériaux ou la bonne utilisation des ressources environnementales (e.g., collection de rosée, énergie des vagues de surface).

Ces mêmes problématiques environnementales et plus largement des questions liées à la physique des systèmes naturels et biologiques (e.g., vol battu, nage ondulatoire) sont au centre du sous-thème « interaction fluide structure » (HI3). La compréhension de ces phénomènes est particulièrement d'actualité car elle nourrit la réflexion autour des applications innovantes dans le domaine des énergies renouvelables (e.g. éolienne, houlomotrice) ou celui de la bio-diversité et de la morphogénèse (e.g. rôle de l'hydrodynamique dans l'évolution des organismes individuel ou leur comportement collectif).

En bref, la force du thème HI au PMMH consiste en sa capacité à étudier l'hydrodynamique de systèmes très différents avec une approche physique bien maîtrisée afin de répondre à des questions très diverses. Cette approche aboutit à une recherche de haut niveau qui est communiquée dans les meilleures revues scientifiques du domaine, ainsi que par l'édition et l'écriture de livres, ou par des communications grand public (e.g., dans le contexte Covid). L'excellence de ce thème a été reconnue par l'obtention de plusieurs prix (Prix Fluid Dynamics de l'APS, Book Award of the Atmospheric Science Librarians International (ASLI) « Dew Water », etc.), la prise de responsabilités dans des sociétés savantes, la participation à l'organisation de congrès internationaux et le succès régulier des candidats présentés au concours CNRS.

Points faibles et risques liés au contexte

Le thème ne présente pas de point faible notable. On peut remarquer que le succès et la diversité du thème reposent sur de multiples équilibres : entre expérience, théorie et modélisation numérique ; entre questions hydrodynamiques/physiques et questions interdisciplinaires ; entre recherche fondamentale et recherche appliquée ; entre jeunes chercheurs et chercheurs expérimentés, qu'il conviendra de maintenir.

Analyse de la trajectoire du thème

La trajectoire du thème est en ligne avec celle de l'unité, c'est-à-dire « tenir le cap » afin de poursuivre une recherche de très haut niveau.

RECOMMANDATIONS

La recommandation au thème est de continuer dans cette voie tout en veillant aux équilibres mentionnés. Il semble important de conserver l'hydrodynamique au cœur des recherches afin de ne pas se disperser dans le monde fascinant des phénomènes naturels et biologiques qui sont évidemment de nature interdisciplinaire et actuellement à la mode.

Finalement, comme de multiples applications intéressantes sont proposées, il semble opportun de renforcer les partenariats avec des industriels.

SOUS-THÈMES

Le thème « Matière Molle » est organisé autour de trois sous-thèmes : la matière active, essentiellement à une échelle macroscopique ; la biophysique, de l'échelle de la cellule ou de la structure subcellulaire jusqu'au tissu ; les suspensions complexes, vues sous l'angle de la dynamique microscopique et des propriétés collectives émergentes.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

La recommandation de convertir le risque associé au déménagement en une opportunité pour dynamiser des collaborations existantes ou en créer des nouvelles avec les groupes de biologistes et de biophysiciens à proximité a été, dans les faits, suivie à la lettre. Outre l'extension de travaux collaboratifs déjà initiés avec l'Institut Curie ou avec l'Institut Pierre-Gilles de Gennes par exemple, le thème a profité de son nouvel emplacement pour établir des collaborations variées, par exemple avec l'Institut de Biologie Paris Seine qui se situe dans le même bâtiment.

Le précédent comité d'évaluation insistait aussi sur le besoin de renforcer les liens entre activités théoriques et expérimentales au sein de l'équipe. Cela a été réalisé par l'embauche d'un jeune théoricien, MCF ESPCI, et l'arrivée d'un MCF PSL et d'un DR CNRS à temps partiel dans le sous-thème Biophysique.

Ces recrutements et arrivées, bien que contre-balancés partiellement par le passage au statut de professeur et DR émérites de deux membres, permettent donc au thème de poursuivre sur la même voie, et d'avoir les effectifs pour mener un nombre important de projets très variés. Ce qui pouvait être considéré comme un risque a été transformé en une force, matérialisée par des travaux scientifiques de grande qualité et une activité inventive conduisant à de nombreux brevets et la création d'une start-up à partir de projets qui n'étaient qu'à un stade précoce lors de la précédente évaluation.

EFFECTIFS DU THÈME : en personnes physiques au 31/12/2022

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	5
Maitres de conférences et assimilés	4
Directeurs de recherche et assimilés	6
Chargés de recherche et assimilés	1
Personnels d'appui à la recherche	non affectés par thème
Sous-total personnels permanents en activité	16
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	1 PR émérite, 1 DR émérite
Personnels d'appui non permanents	0
Post-doctorants	4
Doctorants	15
Sous-total personnels non permanents en activité	21
Total personnels	37

ÉVALUATION

Appréciation générale sur le thème

L'originalité des études menées à différentes échelles et sur des systèmes très variés, l'attractivité des membres du thème, leur rayonnement et la qualité de leur production témoignent du niveau scientifique exceptionnel du thème « Matière Molle » dans son ensemble.

Points forts et possibilités liées au contexte

Le thème « Matière Molle » explore un vaste spectre de sujets originaux. De manière commune aux trois sous-thèmes, certains projets revisitent des phénomènes ou questions anciennes, comme l'effet Leidenfrost (18^e siècle), le mouvement de « run-tumble » de bactéries *E. Coli* (H. Berg, 1973) ou la mesure dynamique de l'épaisseur du cortex de cellules eucaryotes (observée pour la première fois en 1964). L'élégance des expériences réalisées et le gain dans la compréhension des phénomènes, loin d'être incrémental, font que ces travaux sont déjà ou seront sans aucun doute intégrés dans des livres de cours. Un second élément commun aux trois sous-thèmes réside dans le passage d'expériences modèles relativement simples à des systèmes plus complexes et pertinents dans la vie quotidienne, en biologie ou dans l'industrie : par exemple, de la déformation d'hélices microfabriquées sous écoulement à la nage de bactéries ; de la formation de chaînes de gouttes d'émulsions à la formation d'organoides par lévitation magnétique pour le traitement du cancer ; de la déformation d'un filament élastique à la croissance d'une racine de semence de maïs face à un obstacle.

Chaque sous-thème possède également des points forts spécifiques. Pour le sous-thème « Matière active », le choix méticuleux des systèmes (e.g. gouttelettes actives aux poissons et aux bactéries), combiné à une expertise solide en milli/micro-fluidique, contribue à une forte reconnaissance internationale, comme le montre son attractivité vis-à-vis de leaders dans la communauté (Chaire Blaise Pascal à J. Brujic). Le sous-thème « Biophysique » se distingue en continuant à faire de la physique avec du matériel biologique. Ce fin positionnement du curseur entre physique et biologie est la marque de fabrique reconnue unanimement de ce groupe de chercheurs. Leurs collaborations avec des biologistes parisiens sur des questions plus pointues de biologie (comme le rôle de la signalisation de RhoA dans l'adhésion) leur permettent d'affirmer l'utilité des approches. Enfin, le sous-thème « Suspensions complexes » combine habilement un contrôle des structures formées et de l'écoulement dans des systèmes microfluidiques. Chaque nouveau travail, reposant toujours sur un visuel remarquable, donne parfois l'impression d'être un « coup » opportuniste. Pourtant, ces travaux se retrouvent autour du même genre de problématiques (i.e. effets collectifs multiéchelles), ce qui témoigne d'une ligne directrice forte.

Le dynamisme et la reconnaissance du thème se traduisent par l'obtention de nombreuses distinctions et par l'organisation fréquente de colloques internationaux. L'attractivité du thème pour les étudiants est également un point fort, avec, depuis 2017, plus de 31 doctorants encadrés par les membres du thème en propre, et vingt doctorants dans le cadre de codirections avec des laboratoires collaborateurs. La production scientifique est de grande qualité, publiée dans des journaux renommés tels que *Nature Physics*, *PNAS*, *PRL*, *PRE*, et *Science Advances*. La plupart des journaux sélectionnés sont en accès libre et les publications dans des revues prédatrices ou assimilées semblent être exclues systématiquement. Enfin, les projets futurs, tels que l'étude du rôle des algues dans la stabilisation des mousses et le partenariat avec L'Oréal sur la « sensorialité », illustrent la capacité du thème à se renouveler, et démontrent qu'une consolidation et un partage des expertises techniques couplés à une ligne directrice conceptuelle claire sont une voie efficace vers l'originalité et l'excellence scientifique.

Points faibles et risques liés au contexte

Le thème ne présente pas de point faible notable. L'orientation nettement expérimentale sur des thématiques pour lesquelles les besoins d'approches théoriques ou numériques sont évidents a été partiellement corrigée depuis la dernière évaluation par l'arrivée de trois théoriciens. Cette nouvelle situation, en régime transitoire, ne se traduit pas encore par des interactions fortes entre expérimentateurs et théoriciens au sein du thème, mais plutôt par la poursuite de collaborations existantes. On peut toutefois compter sur la cohésion et l'esprit développés au sein de l'unité pour que cette intégration et ces interactions s'affirment avec le temps.

Analyse de la trajectoire du thème

La trajectoire envisagée pour le thème « Matière Molle » est commune à celle de l'unité, à savoir maintenir la même ligne, le même esprit de collaboration au sein du thème et avec des équipes extérieures.

RECOMMANDATIONS AU THÈME

La principale recommandation adressée au thème « Matière Molle » est de continuer dans cette voie, en diversifiant ses activités dans la cohérence. L'originalité et la qualité des travaux menés sont une caractéristique indiscutable de ce thème arrivé à maturité. Les sujets traités se prêtent particulièrement bien à des opérations de dissémination, notamment vers le grand public, qui sont déjà significatives et pourront être poursuivies. Si les exemples de la création de la start-up Aenitis il y a une dizaine d'années et celle, à venir, d'une autre reposant sur la lévitation acoustique pour des applications médicales sont déjà remarquables, on peut s'interroger sur le potentiel de valorisation du thème. Pourquoi, étant donné la nature des problèmes abordés (en lien avec la société et le monde industriel), le vivier important de doctorants et la culture entrepreneuriale de l'ESPCI, il n'y a pas plus de cas de valorisation. Une action proactive des membres du thème, au travers d'actions de formation et de sensibilisation en direction des doctorants, pourrait être engagée. Enfin, alors qu'un des piliers de l'unité, qui se retrouve bien au niveau du thème, vise à l'horizontalité et le collectif, la participation des membres du thème à des instances scientifiques ou administratives et sociétés savantes pourrait être augmentée de façon à faire profiter la communauté d'un mode de fonctionnement de type « PMMH ».

SOUS-THÈMES

La thématique « Mécanique du solide et Physique statistique » se structure autour de trois domaines à différentes échelles : la mécanique macroscopique des méta-matériaux architecturés ; l'interaction sol/racine qui se situe à l'interface entre la mécanique granulaire et la biophysique ; et à une échelle plus fine, les mécanismes de réarrangement de la matière, qu'elle soit vivante (impliquant le cytosquelette, les moteurs moléculaires, les muscles) ou inerte (portant sur les mécanismes élémentaires de plasticité dans les matériaux cristallins ou amorphes). De plus, l'équipe est impliquée dans l'axe concernant la physique de l'environnement.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Dans le précédent rapport, des recommandations avaient été formulées, davantage sous forme de conseils que d'impératifs. Ces recommandations ont été largement suivies.

Un point d'attention essentiel portait sur les risques associés à la période de déménagement, notamment en ce qui concerne le possible ralentissement des expérimentations et la cohésion de la thématique qui s'est retrouvée dispersée sur plusieurs sites. Ces risques ont été surmontés avec la mise en place de nouvelles expériences, telles que la fracture de la banquise.

Une autre recommandation invitait la thématique à conserver son caractère original face à la concurrence internationale. Il est indéniable que cette recommandation a été suivie à la lettre. La mécanique des méta-matériaux programmables demeure exceptionnellement novatrice, et de nouvelles thématiques ont émergé, comme la fragmentation de la banquise qui se trouve à l'interface entre hydrodynamique et mécanique des solides. Aussi, le PMMH continue d'être un leader dans le domaine de la mécanique des verres, grâce à une méthode originale permettant de calculer les limites d'élasticité locales à l'échelle atomique au sein de verres modèles, ainsi qu'une approche très originale de la modélisation de la plasticité.

Enfin, le précédent rapport recommandait un renforcement des liens entre sous-thèmes. Des efforts ont été faits dans ce sens, avec de nouvelles collaborations concernant la plasticité ou la mécanique de chaînes granulaires.

EFFECTIFS DU THÈME : en personnes physiques au 31/12/2022

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	3
Maitres de conférences et assimilés	4
Directeurs de recherche et assimilés	5
Chargés de recherche et assimilés	6
Personnels d'appui à la recherche	NC
Sous-total personnels permanents en activité	18
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	2 (1 DR émérite, 1 bénévole)
Personnels d'appui non permanents	NC
Post-doctorants	NC
Doctorants	22
Sous-total personnels non permanents en activité	24
Total personnels	42

ÉVALUATION

Appréciation générale sur le thème

La mécanique physique est un pilier historique du PMMH, jouissant d'une reconnaissance à l'échelle nationale et internationale en raison de son approche physicienne réductionniste de problèmes mécaniques complexes. Cette approche couvre un large spectre d'échelles et de processus et rassemble des expertises de premier plan en expérimentation, théorie et simulations numériques à différentes échelles. Le rayonnement et la production de cette thématique reflètent aussi un niveau scientifique exceptionnel.

Points forts et possibilités liées au contexte

La mécanique physique est une approche originale qui cherche à établir des liens entre les propriétés mécaniques macroscopiques des matériaux ou des structures et les processus élémentaires sous-jacents. L'approche du PMMH se caractérise par son élégance, sans négliger la rigueur, à travers le développement d'expériences et de simulations modèles. Cette élégance méthodologique est associée à une démarche réductionniste, qui consiste à réaliser des expériences modèles contrôlées en laboratoire suivies de mesures sur le terrain pour se confronter pleinement à la complexité du problème étudié. De plus, les projets en développement, notamment liés à la fracture de la banquise, illustrent la capacité continue de l'équipe à relever de nouveaux défis. Bien que d'autres groupes en France et à l'étranger travaillent dans ce domaine, le PMMH se distingue en tant que pionnier et leader sur plusieurs sujets. Ainsi, les travaux sur les matériaux programmables sont particulièrement originaux et suscitent un intérêt à la fois fondamental et appliqué. De même, le PMMH est reconnu pour sa recherche sur la compréhension des mécanismes de déformation dans les milieux amorphes, avec une position de leader symbolisée par une publication sur une collaboration internationale, « Predicting plasticity in disordered solids from structural indicators ».

Un autre point fort du thème « mécanique physique » du PMMH est sa capacité à relier ses recherches à la société, notamment à travers le choix de thèmes de recherche, tels que l'environnement depuis récemment. Le thème a également une tradition d'activités tournées vers le grand public, notamment l'écriture de livres et la communication scientifique dans les médias, permettant ainsi de diffuser la science au grand public de manière significative.

La thématique s'est récemment renforcée par l'arrivée d'un jeune chargé de recherche et d'un directeur de recherche associé à temps partiel. Plusieurs membres de la thématique ont été honorés de prix et distinctions, notamment le prix Roberval du livre scientifique et la médaille de bronze du CNRS. Ils ont également eu des délégations à l'IUF. Les membres de la thématique organisent de nombreux colloques et conférences internationales, participent à des comités nationaux et internationaux, et sont actifs sur le plan éditorial. Ils ont également coordonné le GDR MePhy jusqu'à récemment. En outre, la recherche dans cette thématique bénéficie d'une diversité de financements, participation et coordination de projets soutenus par l'ANR, collaborations avec des entreprises telles que Saint-Gobain, l'IFP et L'Oréal.

L'attractivité de la thématique auprès des étudiants est un autre point fort, avec un nombre croissant de doctorants depuis 2017. Enfin, la production scientifique est de grande qualité, comme en témoignent les publications dans des revues de renom telles que PNAS et PRL.

Points faibles et risques liés au contexte

Il n'existe pas de points faibles majeurs au sein de la thématique. Un point d'attention concerne les liens entre numériciens et expérimentateurs et la possibilité de renforcer les collaborations entre les chercheurs travaillant sur des simulations numériques et ceux impliqués dans des expérimentations. Une collaboration plus étroite entre ces deux groupes pourrait permettre d'aborder de manière plus holistique les problèmes de recherche, en combinant les avantages des approches numériques et expérimentales pour obtenir des résultats plus complets et approfondis.

Analyse de la trajectoire du thème

La trajectoire du thème est en parfaite cohérence avec celle du PMMH puisqu'il constitue l'épine dorsale de l'unité.

RECOMMANDATIONS AU THÈME

La recommandation première au thème « Mécanique physique » est de poursuivre sur sa ligne, en continuant à diversifier ses activités avec un critère de cohérence et en s'assurant des capacités de financements, comme cela a été fait jusqu'à présent. Un effort particulier en faveur des collaborations en interne, notamment entre expérimentateurs et numériciens, permettrait d'exploiter davantage les compétences complémentaires des chercheurs. Le thème a globalement une activité plus expérimentale que numérique. Il serait opportun de renforcer l'attractivité du laboratoire pour les jeunes chercheurs ainsi que les chercheurs confirmés dans le domaine de la physique numérique. Un ou plusieurs recrutements dans ce domaine permettraient d'accroître l'assise du laboratoire dans le domaine de la physique et de la mécanique de la matière.

Thème transversal 1 : Physique du Vivant

ACTIVITÉS DU THÈME TRANSVERSAL

Les trois thèmes principaux sont représentés au sein du thème transversal « Physique du vivant » même si on note un recouvrement plus important avec le thème « Matière Molle ». De manière générale, il s'agit d'étendre des travaux fondamentaux en hydrodynamique, matière molle ou mécanique physique, développés initialement sur des systèmes modèles, à des systèmes vivants plus complexes. Cela permet d'adapter le même formalisme physique ou de l'étendre. Ces activités couvrent l'étude de la nage de poissons, de serpents aquatiques, de bactéries, la croissance des racines de plantes et des champignons, la forme des arbres, la mécanique des constituants d'une cellule minimale, d'une cellule mammifère ou les propriétés d'assemblage des organoïdes et les contractions musculaires.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Le thème transversal « Physique du vivant » n'existait pas explicitement à la dernière évaluation. Cet intérêt pour le vivant n'a fait que continuer à croître au sein de l'unité au cours des dernières années.

EFFECTIFS DU THÈME TRANSVERSAL : en personnes physiques au 31/12/2022

Le thème transversal « Physique du vivant » implique quatorze chercheurs et enseignants-chercheurs qui, par ailleurs, émergent sur un ou plusieurs des trois thèmes principaux du laboratoire.

ÉVALUATION

Appréciation générale sur le thème transversal

L'activité du thème transversal « Physique du vivant » est exceptionnelle, comme en témoignent l'encadrement de plus d'une vingtaine de thèses et la publication d'une cinquantaine d'articles de grande qualité sur la durée de la période l'évaluation. La variété des sujets, la diversité des échelles et systèmes étudiés sont les caractéristiques marquantes de l'activité de très haut niveau des membres de ce thème transversal.

Points forts et possibilités liées au contexte

Même s'il existe une forme de redondance entre les travaux du thème transversal « Physique du Vivant » et ceux des trois thèmes principaux, la variété des systèmes vivants étudiés et des motivations ainsi que l'élégance des expériences menées justifient par elles seules l'existence de ce thème transversal. La couverture d'autant de sujets, aussi divers, par des approches physiques, est unique en France, et sans doute en Europe. C'est la force de la structuration dans le temps de l'unité et l'aptitude des chercheurs qui la composent à s'ouvrir à des problématiques nouvelles, plus complexes et liées à la matière vivante qui permettent aux groupes de chercheurs et enseignants-chercheurs impliqués d'obtenir une reconnaissance internationale pour une telle originalité. La qualité de la production scientifique est remarquable, une dizaine de publications sont parues dans des journaux de biologie tandis que la grande majorité se retrouve dans des journaux soient généralistes (Nature Communications, Nature Physics, Science Advances) soient de physique (Phys. Rev. E, Phys. Rev. Letters, Journal of Fluid mechanics, etc.), confirmant un positionnement physique clair.

Points faibles et risques liés au contexte

L'organisation de conférences ou workshops thématiques est en retrait compte tenu du positionnement original et du rôle de leader des membres de l'unité dans le domaine de la physique du vivant en France. On peut se demander comment les extensions des approches physiques des systèmes modèles vers les systèmes vivants vont évoluer. Par exemple, face à des succès remarquables tels que la fabrication de tumoroïdes et organoïdes par lévitation acoustique, une dérive vers des questions purement biologiques ou biomédicales pourrait se produire. Le problème de l'équilibre entre une implication plus grande en biologie et le souhait de rester dans son champ d'expertise forte, à savoir la physique, se posera inévitablement.

Analyse de la trajectoire du thème

Réduite essentiellement à la seule activité minoritaire de biophysique cellulaire il y a une dizaine d'années dans l'unité, la thématique du vivant s'est diversifiée et a pris de plus en plus d'ampleur au point d'émerger comme une thématique phare affichée par l'unité. Les années à venir devraient voir une consolidation et une plus grande diversification encore tout en évitant la dispersion.

RECOMMANDATIONS AU THÈME TRANSVERSAL

La recommandation principale adressée au thème transversal « Physique du Vivant » est de continuer sur la même voie de l'originalité et de la diversité. Les applications au vivant des approches conduites dans un premier temps sur des systèmes modèles inertes sont très porteuses et de grande qualité.

Le comité recommande au thème de maintenir le curseur du côté de la physique dans les recherches mettant en œuvre la physique et les sciences du vivant. En effet, les applications au vivant sont soit une finalité, une étape vers un engagement plus important vers les sciences du vivant, soit une étape permettant d'ouvrir de nouvelles questions fondamentales en physique.

Thème transversal 2 : Systèmes géoinspirés et physique de l'environnement

ACTIVITÉS DU THÈME TRANSVERSAL

On retrouve dans ce thème les trois thèmes principaux du laboratoire que sont l'hydrodynamique, la matière molle et la mécanique physique. Les projets abordés traitent de problèmes de changement de phase (problèmes de rosée et de sa récolte, physique des nuages et de la pluie, motif de dissolution et sublimation et de concrétions calcaires en géomorphologie), des questions liées au vivant (nage des poissons, stabilité et dynamique des mousses marines, interaction sol-racine, etc.), et des problèmes de couplage fluide structure (formation des dunes, fracture et dynamique de la banquise, énergie des vagues). Des rencontres régulières sont organisées au sein de l'unité pour échanger autour de ces sujets.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

La thématique transverse Physique de l'environnement n'était pas présente lors de la précédente évaluation.

EFFECTIFS DU THÈME TRANSVERSAL : en personnes physiques au 31/12/2022

Le thème physique de l'environnement regroupe douze membres permanents du laboratoire qui, par ailleurs, émergent sur un ou plusieurs des trois thèmes principaux du laboratoire.

ÉVALUATION

Appréciation générale sur le thème transversal

La qualité des sujets et de la production scientifique du thème ne fait aucun doute, avec des avancées majeures et des publications dans les meilleures revues de physique et de mécanique. À noter également des publications dans les journaux de géosciences, signe d'une implication interdisciplinaire réelle. Le positionnement du thème est judicieux, il s'agit d'appliquer une approche PMMH, ciblant des systèmes analogues, qui tente de mettre à jour les mécanismes physiques principaux.

Points forts et possibilités liées au contexte

Devant la croissance de sujets de recherche en lien avec l'environnement et la géophysique, l'unité a décidé lors de ce contrat d'afficher un nouveau thème transverse «Systèmes géo-inspirés et physique de l'environnement». L'approche revendiquée n'est pas de tenter de reproduire ou de comprendre les systèmes géophysiques ou environnementaux dans toute leur complexité mais d'appliquer une approche PMMH, ciblant des systèmes analogues, qui tente d'établir les mécanismes physiques principaux.

L'objectif est d'offrir une grille de lecture alternative des recherches du laboratoire et de présenter les projets en termes de domaines d'applications plutôt que par domaines scientifiques. L'affichage de cette thématique révèle également la volonté du laboratoire de s'interroger sur le positionnement de ses recherches par rapport aux problématiques du changement climatique et de la transition énergétique.

L'émergence de la thématique environnement est réelle et correspond à une volonté d'ouverture interdisciplinaire. Pour preuve les collaborations grandissantes avec des laboratoires de glaciologie, d'environnement, d'agronomie. Les études de terrains (dunes, banquises, etc.) menées en parallèle des expériences de laboratoire sont également un point fort. On ne peut que se réjouir qu'un laboratoire d'excellence comme le PMMH embrasse ces problématiques d'importance sociétale majeure. Accessoirement, cela peut également renforcer l'attractivité de l'unité auprès des étudiantes et étudiants de plus en plus sensibilisés aux questions environnementales.

Points faibles et risques liés au contexte

La difficulté inhérente à l'interdisciplinarité est de garder le bon équilibre entre un positionnement trop en retrait où les thématiques environnementales serviraient uniquement de sujets prétextes à de la belle mécanique physique, et un plongeon trop profond dans les autres disciplines au risque d'oublier son cœur de métier. Nul

doute que le laboratoire dans son souhait d'évolution vers les thématiques environnementales saura prendre le temps d'instaurer ce dialogue enrichissant avec les autres communautés en y apportant son approche spécifique de mécanique physique.

Analyse de la trajectoire du thème

Le thème physique de l'environnement s'inscrit parfaitement dans l'évolution du PMMH qui vise à étendre son approche originale de mécanique physique à des questions sociétales.

RECOMMANDATIONS AU THÈME TRANSVERSAL

Le comité encourage l'unité à poursuivre dans cette recherche de collaboration interdisciplinaire tout en gardant l'apport spécifique de la mécanique physique dans les sujets de recherche environnementaux.

DÉROULEMENT DES ENTRETIENS

DATES

Début : 15 novembre 2023 à 8h30

Fin : 16 novembre 2023 à 15h00

Entretiens réalisés en présentiel

PROGRAMME DES ENTRETIENS

15 novembre 2023

08h30-08h45	Réunion du comité à huis clos
08h45-09h00	Présentation du Hcéres
09h00-10h00	Bilan du laboratoire (60 min) (30' présentation + 30' discussion)
10h00-10h30	Pause-café
10h30-12h30	Bilan et perspectives des équipes, avec visites associées
12h30-14h00	Repas
14h00-16h00	Bilan et perspectives des équipes, avec visites associées
16h00-16h30	Pause-café
16h30-17h00	Entretien avec le personnel chercheur et enseignant-chercheur
17h00-17h30	Entretien avec le personnel d'appui à la recherche
17h30-18h00	Entretien avec les doctorants et post-doctorants
18h00-18h30	Premier débriefing du comité à huis clos

16 novembre 2023

09h00-10h30	Présentation du projet du laboratoire (90 min) (60' présentation + 30' discussion)
10h30-11h00	Pause-café
11h00-11h45	Entretien avec les tutelles
11h45-12h15	Entretien avec le DU / porteur de projet
12h15-15h00	Débriefing du comité à huis clos et repas (plateaux-repas)

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 février 2024

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

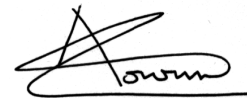
Référence : DER-PUR250024357 - PMMH - Physique et mécanique des milieux hétérogènes

Monsieur le Directeur,

Les tutelles de l'unité PMMH (Physique et mécanique des milieux hétérogènes) remercient l'ensemble des experts du Comité pour leur travail d'évaluation.

Vous trouverez ci-joint les observations formulées sur leur rapport 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 06/02/2024

Remarques d'ordre général

Page 8 au 1er paragraphe : dans la section « Points faibles et risques liés au contexte en matière d'hygiène, sécurité, et de conditions de travail », le rapport mentionne : *L'hygiène, la sécurité et les conditions de travail sont prises en compte par l'unité mais son organisation logistique n'apparaît pas clairement.*

Nous souhaiterions clarifier l'organisation sur ces points. De façon assez simple et classique, les deux assistants de prévention (Antonin Eddi et Benoît Semin) assistent le directeur d'unité pour la veille et le reporting. Benoît Semin prend en charge le maintien du stock et les commandes des équipements de sécurités qui sont en accès libre aux utilisateurs. Il s'agit notamment de :

- gants, 4 tailles, latex et nitrile
- masques chirurgical, FFP2, FFP3 (et nous avons déjà des masques en salle de chimie avant le covid, et pas périmés)
- blouses
- lunettes
- protections auditives à l'atelier
- bacs de rétention
- étiquettes de sécurité chimique
- rince-oeil
- savon liquide
- pansements, trousse de premiers secours
- tests covid et grippe (depuis 2021)

Par ailleurs, sous l'impulsion de Benoît Semin, la prévention COVID a fait l'objet d'un suivi particulier au laboratoire via la fabrication au laboratoire de détecteurs de CO2 instrumentés dès l'été 2020 et l'achat de purificateurs d'air qui sont utilisés de façon systématique dans les petites et grandes salles de réunion.



Costantino Creton, VP Recherche de l'ESPCI Paris-PSL

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)