

RAPPORT D'ÉVALUATION DE L'UNITÉ

POEMS — Propagation des ondes : étude
mathématique et simulation

SOUS TUTELLE DES ÉTABLISSEMENTS ET ORGANISMES :

École nationale supérieure de techniques
avancées

Centre national de la recherche scientifique

Institut national de recherche en sciences et
technologies du numérique

CAMPAGNE D'ÉVALUATION 2024-2025
VAGUE E



Au nom du comité d'experts :

Jean-Michel Roquejoffre, président du comité

Pour le Hcéres :

Coralie Chevallier, présidente

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 la présidente 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. Jean-Michel Roquejoffre, Université Toulouse 3 - Paul Sabatier, Toulouse
	M. Pierre Cardaliaguet, Université Paris-Dauphine, Paris
Experts :	Mme Paola Cinnella, Sorbonne Université (vice-présidente du comité), Paris
	M. Jérôme Vasseur, Université de Lille, Lille, représentant CoNRS

REPRÉSENTANTS DU HCÉRES

Mme Françoise Bataille
M. Philippe Elbaz-Vincent

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

Mme Élisabeth Crépon, directrice générale de l'ENSTA
Mme Anne-Christine Hladky, directrice adjointe scientifique de CNRS Ingénierie
M. Bertrand Thirion, délégué scientifique du centre Inria de Saclay

CARACTÉRISATION DE L'UNITÉ

- Nom : Propagation des Ondes, Étude Mathématique et Simulation
- Acronyme : POEMS
- Label et numéro : UMR 7231
- Composition de l'équipe de direction : Mme Anne-Sophie Bonnet-Ben Dhia

PANELS SCIENTIFIQUES DE L'UNITÉ

ST Sciences et technologies
ST1 Mathématiques
ST5 Sciences pour l'ingénieur

THÉMATIQUES DE L'UNITÉ

L'unité POEMS est à la fois une équipe projet Inria et une UMR CNRS (Sections 8 et 9 de CNRS Ingénierie), faisant partie (en tant qu'équipe) de l'Unité de Mathématiques Appliquées (UMA) de l'ENSTA. Ses thématiques ont pour objet le développement d'études mathématiques et numériques concernant la propagation des ondes linéaires dans tous les domaines de la mécanique et de la physique, qu'il s'agisse d'ondes électromagnétiques, acoustiques, élastiques, sismiques ou d'ondes à la surface de l'eau. Les travaux réalisés concernent la modélisation de problèmes complexes, l'analyse mathématique des modèles obtenus (généralement gouvernés par des équations aux dérivées partielles), le développement de méthodes d'approximation et la réalisation de codes de calcul.

HISTORIQUE ET LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DE L'UNITÉ

L'unité a été créée en janvier 2005, en réunissant une URA (Unité de Recherches Associée) du CNRS et de l'ENSTA, dont le nom était SMP (pour Simulation et Modélisation des phénomènes de Propagation), et une équipe Inria, qui s'appelait Projet Ondes. En 2005, l'unité était répartie dans des locaux de deux sites, Paris et Rocquencourt. Le déménagement de l'ENSTA Paris sur le campus de l'école Polytechnique en 2012 a été l'occasion de regrouper toute l'unité sur un même site, dans les locaux de l'ENSTA.

ENVIRONNEMENT DE RECHERCHE DE L'UNITÉ

L'unité a trois tutelles : le CNRS (CNRS Ingénierie), Inria, et l'ENSTA. L'équipe IDEFIX, une équipe projet d'Inria, attachée à l'UMA en 2022, a commencé à interagir avec l'unité. Le reste de l'environnement de recherche est constitué par l'écosystème du plateau de Saclay, qui représente une des plus importantes concentrations de France en laboratoires de recherche.

Sur le plan des collaborations scientifiques, l'unité bénéficie de l'environnement Inria Saclay, et de relations étroites avec la nouvelle équipe IDEFIX de l'UMA. Par ailleurs, elle développe de nombreuses collaborations avec le CEA, et avec plusieurs partenaires industriels (notamment Naval Group) vers qui elle transfère les modèles numériques et logiciels qui sont ensuite appliqués à des problèmes concrets.

Au travers de l'UMA, l'unité est rattachée à deux écoles doctorales, notamment l'École Doctorale de Mathématiques Hadamard (EDMH, ED 574) en rattachement principal, et l'École Doctorale de l'Institut Polytechnique de Paris (ED IP Paris, ED 626) en rattachement secondaire. En ce qui concerne le suivi des doctorants, les procédures de l'EDMH sont différentes des pratiques habituelles : la composition des comités de suivi fait intervenir le représentant de l'ED dans l'établissement, et un autre membre en général local à l'UMA.

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

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	4
Maitres de conférences et assimilés	1
Directeurs de recherche et assimilés	5
Chargés de recherche et assimilés	6
Personnels d'appui à la recherche	4
Sous-total personnels permanents en activité	20
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	0
Personnels d'appui non permanents	1
Postdoctorants	2
Doctorants	18
Sous-total personnels non permanents en activité	21
Total personnels	41

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

Nom de l'employeur	EC	C	PAR
CNRS	0	6	2
ENSTA PARIS	5	0	1
Inria	0	5	1
Autres	0	0	0
Total personnels	5	11	4

AVIS GLOBAL

POEMS est une UMR CNRS et ENSTA intégrée au sein de l'UMA (une unité de recherche de l'ENSTA), avec un statut d'équipe projet Inria. Elle dispose d'une expertise originale, acquise de longue date, dans l'analyse et la simulation de la propagation des ondes linéaires en acoustique et électromagnétisme. Ses recherches visent le développement et l'analyse de modèles numériques efficaces pour la simulation de ces phénomènes. L'une des thématiques phares de POEMS est le traitement des domaines de grande taille vis-à-vis des longueurs d'onde en jeu, les méthodes classiques pouvant se révéler limitées par le coût de calcul. Ceci permet d'apporter un éclairage sur les phénomènes physiques sous-jacents et, en particulier au travers de l'interaction avec d'autres équipes de l'UMA, de guider la conception de dispositifs avancés en ingénierie.

Parmi les domaines où l'unité se distingue, on relève notamment l'étude mathématique des équations intégrales, débouchant sur la simulation de phénomènes en domaines infinis, les méthodes d'éléments finis de frontière pour ces équations, et les méthodes de décomposition de domaine. Ces études ont débouché sur la conception de logiciels utilisés par la communauté et valorisés auprès de partenaires industriels, et dont la maintenance fait l'objet d'une réflexion collective. On relève aussi des interactions industrielles au long cours, par exemple une collaboration avec Naval Group sur la modélisation numérique de l'interaction d'une onde sous-marine avec un solide, ayant donné lieu à plusieurs dispositifs Cifre. On note aussi durant la période une ouverture vers l'étude des ondes en milieu aléatoire au moyen des méthodes les plus récentes d'homogénéisation stochastique : ces récents, et très beaux travaux, sont porteurs d'intéressantes perspectives, à la fois théoriques et applicatives, par exemple en imagerie médicale.

L'unité est bien soutenue par ses trois tutelles en matière de postes de chercheurs et d'enseignants-chercheurs. Les recrutements récents contribuent à l'ancrer dans sa position au carrefour de l'analyse mathématique, du calcul scientifique et des sciences de l'ingénieur.

Un des faits marquants de la période a été l'arrivée à l'UMA, en 2022, de l'équipe projet Inria IDEFIX. Son domaine d'expertise en optimisation, «machine learning», analyse et calcul scientifique, représente une intéressante interface avec POEMS, de même que sa compétence en matière de modélisation en électromagnétisme et dans le domaine des métamatériaux. On relève déjà des collaborations donnant lieu à des publications et des directions de thèses communes aux deux équipes. Leurs expertises très complémentaires ont enclenché une dynamique très prometteuse pour le prochain contrat.

On relève deux points de vigilance. Le premier est que plusieurs chercheurs très actifs spécialistes de théorie spectrale vont partir à la retraite dans les prochaines années. Il s'agit pour l'unité d'un véritable tournant scientifique qu'elle devra négocier en lien étroit avec les tutelles. Le second est que, concernant le suivi des doctorants, les comités de suivi individuels gagneraient à avoir recours, beaucoup plus qu'ils ne le font à l'heure actuelle, à des membres extérieurs à l'unité.

L'unité affiche de belles réalisations scientifiques et de prometteuses ouvertures qui devraient se développer durant la prochaine période d'évaluation. Son positionnement scientifique original lui procure des perspectives de contributions significatives dans les secteurs des sciences de l'ingénieur et de la santé.

ÉVALUATION DÉTAILLÉE DE L'UNITÉ

A - PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Le rapport soulignait le faible nombre de dispositifs Cifre et la rareté des collaborations avec les PME/PMI. En réponse, le nombre de dispositifs Cifre a augmenté grâce à la collaboration avec Naval Group, et un financement important auprès de la PME IMACS a été obtenu dans le cadre du projet RAPID HyBox.

Le rapport soulevait la difficulté à recruter de bons candidats en doctorat. On constate le maintien d'une attractivité satisfaisante grâce à l'implication des membres de l'unité dans l'enseignement à l'ENSTA et dans le parcours M2 AMS et grâce aux sources de financement locales, comme le CIEDS.

Les moyens de calcul (cluster de l'UMA) faisaient également l'occasion d'une recommandation. Alors qu'ils étaient utilisés jusqu'à maintenant essentiellement pour l'enseignement, le comité recommandait de les employer pour la recherche, notamment avec l'essor de simulations numériques. Le rapport recommandait aussi, au sujet des aspects de calcul haute performance, de veiller à l'équilibre entre le temps d'implémentation et les possibles valorisations. Un des enjeux sera de bien sélectionner les technologies (matérielle et logicielle) sur lesquelles investir. Les besoins actuels sont couverts par les stations locales et le mésocentre ICDS de l'École Polytechnique. Les méthodes numériques développées ne nécessitent pas de calculs massifs. Des accès aux centres nationaux pourront être envisagés si les besoins croissent.

Le comité recommandait enfin la vigilance à propos des départs à la retraite. On note les arrivées d'une CR CNRS et de deux CR Inria ainsi que la réussite au concours DR d'une CR de l'unité ; toutefois, d'importants départs en retraite vont concerner l'unité au prochain contrat. La recommandation sera donc maintenue.

B - DOMAINES D'ÉVALUATION

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

Appréciation sur les objectifs scientifiques de l'unité

La stratégie scientifique et de formation affichée par l'unité pendant la période évaluée réaffirme un positionnement en modélisation, simulation, optimisation et propagation des ondes, avec une ouverture aux sciences des données. Certains travaux se font en collaboration avec des partenariats industriels ou avec des EPIC, voire visent un impact sociétal. Les réalisations scientifiques de la période attestent de la pertinence de ces objectifs. Les interactions avec l'équipe IDEFIX au sein de l'UMA et les interactions interdisciplinaires en physique et mécanique sont des éléments positifs.

Appréciation sur les ressources de l'unité

L'unité est globalement bien soutenue par les tutelles en matière de moyens financiers et de postes de chercheurs et d'EC. La petite taille de l'équipe de gestion financière et la complexification des procédures administratives et de l'environnement institutionnel représentent toutefois une menace pour l'activité de recherche dans son ensemble.

Appréciation sur le fonctionnement de l'unité

Les pratiques de l'unité en matière de RH sont conformes aux directives des établissements de tutelle. Sa cohésion est très bonne, une grande vigilance est accordée à la parité Femme/Homme, et l'unité mène une politique environnementale active. La composition des comités de suivi de thèse est en revanche un point d'attention.

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

Points forts et possibilités liées au contexte

L'orientation de POEMS vers des problématiques de modélisation, simulation, propagation des ondes est bien ancrée dans les mathématiques appliquées et soutenue par une stratégie affirmée durant la période 2018–2024. L'arrivée de l'équipe IDEFIX au sein de l'UMA et les interactions interdisciplinaires en physique et mécanique renforcent la cohérence et la pertinence de ce positionnement. Ces objectifs scientifiques sont donc à la fois pertinents et compatibles avec son positionnement au sein d'une grande école d'ingénieurs. On relève que l'ENSTA fait des mathématiques une composante essentielle de sa formation, ce qui assure à l'UMA un soutien effectif en matière de postes d'EC, et donc, en particulier, à POEMS.

L'unité bénéficie d'un écosystème scientifique très riche (IP Paris, FMJH, centres interdisciplinaires, partenariats industriels), qui offre de nombreuses possibilités de financement et de collaboration. L'unité est très active dans les AAP locaux et nationaux, et sa politique de recrutement et d'encadrement, notamment de doctorants, est dynamique. La structure à taille humaine favorise par ailleurs la cohésion et l'agilité de l'unité.

Points faibles et risques liés au contexte

Les collaborations avec l'équipe Optimisation Contrôle (OC) de l'UMA sont peu développées.

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 récurrentes de POEMS s'élèvent à environ (sauf en 2021, qui a connu une baisse probablement due à l'épidémie de covid) à 75 k€ annuels, ce qui représente un peu plus de 4 000 euros par an et par permanent. Cette dotation permet un fonctionnement très satisfaisant de l'unité. Les ressources propres sont, comme il est normal, fluctuantes, mais on peut les estimer à environ 600 k€, avec un maximum de plus de 1,5 M€. On note toutefois que les salaires des non permanents sont inclus dans le décompte. Ces crédits proviennent majoritairement de projets collaboratifs de type ANR et financements de thèses (dont les dispositifs Cifre). L'unité privilégie l'investissement en ressources humaines, adaptées à ses besoins. Les financements locaux (FMJH, IP Paris) sont fortement mobilisés, favorisant les projets collectifs. La gestion souple des ressources permet une mutualisation implicite sans qu'il y ait un prélèvement centralisé.

Au vu des thématiques qui y sont développées, on pourrait penser que l'unité a un nombre restreint de partenaires industriels. C'est en effet le cas, l'unité travaillant, et ce de longue date, avec des entités de taille importante comme le CEA ou Naval Group. Ces partenariats sur la durée, et la solidité des groupes en question assurent à l'unité une collaboration et des financements au long cours, et lui permettent de consacrer un temps maximal au travail de recherche. On sait en effet que mettre en place un partenariat industriel allant au-delà de la prestation, et susceptible de produire des avancées, est un long processus.

De fait, l'unité adapte sa politique de financement à sa capacité d'encadrement, en privilégiant les projets à fort contenu scientifique plutôt que les prestations, et en favorisant les thèses et les postdoctorants. Cette stratégie garantit une cohérence entre les ressources mobilisées et les moyens humains réellement disponibles.

Sur le plan de la dotation en chercheurs et EC, il est clair qu'un dialogue de qualité s'est instauré entre l'équipe POEMS et ses tutelles, en s'appuyant sur l'UMA en ce qui concerne l'ENSTA, qui compense systématiquement les départs en retraite, voire même les anticipe. Le comité note également l'arrivée, au cours de la période, d'une CR CNRS et d'une promotion DR CNRS, ainsi que de deux CR Inria.

Points faibles et risques liés au contexte

Le sous-dimensionnement de l'équipe de support à la recherche au niveau de l'UMA est un important point de fragilité. Le soutien partiel d'une assistante Inria est précieux, mais insuffisant pour alléger durablement cette pression. La complexification des procédures administratives et la fusion avec l'ENSTA de Bretagne peuvent à court terme représenter une surcharge de travail que l'équipe de gestion de l'UMA, malgré sa bonne volonté et sa compétence, ne pourra absorber. Il en résulte un risque important à moyen, voire à court terme, sur l'activité de l'UMA, qui ne pourra que se répercuter sur POEMS.

Le nombre restreint de partenaires industriels peut représenter un risque. Si la solidité de ceux-ci est, comme on l'a vu plus haut, un point fort, leur faible nombre rend l'unité vulnérable à un brusque changement stratégique

chez l'un d'eux, surtout qu'elle a une importante proportion de financements affectés à du personnel non permanent (doctorants, postdoctorants, ingénieurs CDD).

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

Points forts et possibilités liées au contexte

L'unité se conforme à la politique de l'UMA, qui applique de manière rigoureuse les règles et procédures de gestion des ressources humaines définies par ses tutelles (ENSTA, CNRS, Inria). Les procédures d'accueil et de suivi des personnels sont bien établies, et une attention particulière est portée à la qualité de l'environnement de travail, y compris pour les doctorants et les postdoctorants.

Le comité, lors des entretiens, a été frappé par la grande cohésion de l'unité et la qualité des interactions entre ses membres.

L'unité affiche un attachement fort aux questions de parité. De fait, le ratio F/H est de 1/3, c.-à-d. supérieur à la moyenne nationale en mathématiques. La direction actuelle et future de l'équipe POEMS est assurée par des femmes, ce qui est un bon indicateur du fait que celles-ci sont effectivement impliquées dans la définition des orientations stratégiques de l'unité. Une vigilance est également affirmée quant à la représentation F/H dans les comités, recrutements et événements scientifiques.

Points faibles et risques liés au contexte

Les comités de suivi des doctorants n'incluent pas, pour la plupart, de membre extérieur à l'unité. Bien que respectueux des règles établies par les Écoles doctorales de rattachement, ce type de composition n'est pas sans risque. La proximité entre les membres de l'unité, qui résulte naturellement de sa petite taille, peut, en cas de conflit impliquant un doctorant, priver le comité de suivi du recul et de la neutralité nécessaire pour apprécier la situation, empêcher que celle-ci soit réglée de la meilleure manière pour tous.

DOMAINE 2 : ATTRACTIVITÉ

Appréciation sur l'attractivité de l'unité

L'unité bénéficie d'une très bonne reconnaissance nationale et internationale, appuyée par l'implication de ses membres dans les comités scientifiques (pilotages et expertises scientifiques), éditoriaux et l'organisation d'événements scientifiques notables. L'unité est aussi très attractive pour les doctorants et les postdoctorants. Néanmoins, les départs à la retraite de plusieurs piliers de l'unité à court ou moyen terme représenteront un défi à relever pour l'unité.

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

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

L'activité de l'unité lui permet d'avoir une très bonne reconnaissance nationale et internationale en ce qui concerne les méthodes pour la modélisation et la simulation en acoustique et en électromagnétisme. L'unité a su développer des collaborations nationales et internationales, et a su renforcer son rayonnement scientifique en menant un certain nombre d'actions. On peut citer l'organisation d'événements scientifiques de portée internationale telle que la conférence WAVES 2022 ainsi que de workshops et d'écoles d'été, l'accueil de chercheurs internationaux réputés, la réalisation par des chercheurs de l'équipe de missions longues à l'étranger. Certains membres de l'équipe sont ou ont été impliqués dans des instances nationales de pilotage de la recherche ou d'expertise scientifique (COMEVAL, CoNRS, etc.) et assument d'importantes responsabilités éditoriales. L'unité finance ses activités de recherche essentiellement en répondant aux appels à projets nationaux (type ANR) et en bénéficiant de supports financiers locaux (ENSTA, Saclay, etc.).

L'unité compte à l'heure actuelle dix-huit doctorants, soit un nombre plus élevé que le nombre de permanents. Plusieurs sont issus de l'ENSTA, ce qui correspond d'une part à la stratégie de formation de la tutelle, et d'autre part à un signal d'attractivité : les candidats au doctorat ont en effet un choix d'une richesse exceptionnelle sur le plateau de Saclay. Les devenir des postdoctorants sont très bons : tous ayant obtenu des postes permanents dans l'enseignement supérieur et la recherche (France ou étranger) ou dans l'industrie.

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

Le principal point d'attention concerne les départs à la retraite de cinq chercheurs prévus à court ou moyen terme, soit près d'un tiers de l'unité. C'est une proportion considérable ; l'impact de ces départs se fera d'autant plus sensible que certains de ces chercheurs ont une forte visibilité internationale. Le risque est donc la fragilisation de la dynamique de l'unité, une perte de compétences, rendant difficile la poursuite des fructueux partenariats de recherche noués sur la durée, et un coup d'arrêt à la formation doctorale dans des domaines importants. Un des problèmes auxquels pourront se heurter les recrutements futurs concerne la raréfaction des candidats de qualité dans des domaines peut-être moins en vogue que les mathématiques appliquées à l'IA. Une autre question importante pour l'avenir de l'unité sera de définir le bon positionnement thématique par rapport à la stratégie scientifique des sections CNRS de rattachement de l'unité.

La complexité de la structure des tutelles de l'unité (outre le CNRS et l'Inria, l'unité est sous la tutelle de l'ENSTA) est une source de problèmes administratifs importants.

Du point de vue des ressources humaines, des risques existent en cas d'absences prolongées ou de difficultés de recrutement de l'ingénieur système. De plus, bien que les équipements existants répondent aux besoins actuels, l'évolution rapide des technologies pourrait nécessiter des investissements importants pour maintenir la compétitivité de l'unité dans des projets à plus grande échelle. La gestion des équipements repose sur une équipe réduite, ce qui pourrait poser problème en cas de charges de travail accrues ou de besoins spécifiques.

DOMAINE 3 : PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Appréciation sur la production scientifique de l'unité

L'unité a une production abondante et, surtout, peut se targuer de réalisations de grande qualité au cours de la période. Le comité note que ses réalisations scientifiques, dont les plus saillantes relèvent de la modélisation mathématique, et les revues dans lesquelles elle publie, qui sont des revues d'analyse ou de calcul scientifique, ou d'interface avec la mécanique ou la physique, la situent plus comme un laboratoire de mathématiques appliquées. Des signaux récents d'évolution thématique, propres à renforcer la position de l'unité dans les sections d'ingénierie pour la période à venir, sont à confirmer et amplifier.

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

L'équipe POEMS occupe une position singulière et reconnue dans le domaine de la propagation des ondes, avec un positionnement original à l'interface des mathématiques appliquées et de la mécanique. Depuis sa création, elle s'est construite autour d'une thématique transversale – la modélisation et la simulation des phénomènes de propagation d'ondes – sans se restreindre à une nature physique particulière (acoustique, élastique, électromagnétique). Ce choix, rare au niveau national comme international, a favorisé la constitution d'un collectif fort, porté par une vision partagée et des interactions interdisciplinaires continues.

Pendant la période d'évaluation, la production scientifique de POEMS s'est révélée dense et de qualité, avec 111 articles publiés tous dans des revues internationales à comité de lecture. Les publications sont majoritairement dans des revues reconnues de mathématiques appliquées et d'analyse numérique (SIAM J. Appl. Math., SIAM J. Num. Anal., ESAIM M2AN, etc.) et, plus ponctuellement, dans des revues d'interface entre mathématiques appliquées et ingénierie ou de physique (JCP, JFM, JASA, Chaos, Combustion and Flame). Les publications de l'unité sont toutes déposées sur HAL et priorité est donnée pour la soumission des papiers dans des revues non prédatrices,

La production est bien proportionnée au potentiel de l'unité : la quasi-totalité des chercheurs et enseignants-chercheurs de POEMS contribue de manière régulière à cette activité. L'existence de projets structurants (développement de bibliothèques comme XLiFE++, COFFEE, htool-ddm) favorise également la production de résultats scientifiques solides, reproductibles et valorisables dans des contextes variés, répondant ainsi aux attentes en matière d'intégrité scientifique et de science ouverte. Le souci de reproductibilité est aussi soutenu par le développement et la mise à disposition de logiciels utilisés par la communauté.

Enfin, l'évolution vers des collaborations industrielles pour le code COFFEE ou l'intégration de bibliothèques à des outils comme FreeFem ouvre de nouvelles possibilités de valorisation scientifique et technologique, ainsi que de diffusion plus large des méthodes développées.

On note de belles réalisations au cours de la période d'évaluation. Le créneau sur lequel se situe l'unité est le développement d'outils de simulation des équations d'ondes, de l'électromagnétisme et de l'acoustique, dans des régimes (milieux complexes, petites longueurs d'onde) où les méthodes numériques classiques sont soit inopérantes, soit d'un coût de calcul prohibitif. Cela passe par l'analyse mathématique, parfois très sophistiquée, des formulations sous-jacentes, et l'étude théorique, qui peut poser de redoutables défis mathématiques, de la méthode d'approximation retenue. La mise en œuvre de ces méthodes sur des cas tests non académiques est un volet majeur de l'activité de l'unité, et débouche sur des collaborations industrielles au long cours, par exemple avec le CEA ou Naval Group. L'unité a accumulé une expertise considérable sur toutes ces questions, et continue de se situer au meilleur niveau international. Les réalisations saillantes de la période d'évaluation incluent ainsi de beaux travaux théoriques sur l'étude de singularités particulières des équations de Maxwell, l'étude de questions de propagation dans des guides d'ondes (une des thématiques phares de l'unité), ou encore l'étude des formulations intégrales et de leur approximation numérique.

Cette dernière thématique est aussi un des domaines de compétences phares de l'unité. L'idée de base de ces méthodes, relativement ancienne, est qu'il peut être, en vue de la simulation numérique, fructueux de ramener une équation aux dérivées partielles (Helmholtz, Maxwell) dans un domaine infini à une équation intégrale posée sur la frontière du domaine, et de discrétiser la formulation ainsi obtenue. Suivant le modèle étudié, d'importantes difficultés théoriques ou numériques peuvent apparaître, dont la résolution est une des spécialités de l'unité. Ces développements méthodologiques ont débouché sur de très originales explorations numériques en collaboration avec Naval Group, cherchant à d'écrire l'effet d'une explosion sous-marine sur un sous-marin.

On note le démarrage d'intéressants travaux sur l'homogénéisation stochastique des équations de Helmholtz en milieu aléatoire, avec l'objectif d'estimées quantitatives. Outre que le créneau choisi est original (l'homogénéisation stochastique quantitative a connu des développements extrêmement sophistiqués, mais plutôt dans le domaine des équations elliptiques) les applications visées sont spécialement intéressantes, puisqu'elles concernent l'imagerie médicale, avec la caractérisation de la propagation d'une onde dans un tissu vivant. Il s'agit là d'une diversification porteuse des développements prometteurs.

L'arrivée en 2022 de l'équipe projet IDEFIX dans les locaux de l'ENSTA représente une véritable aubaine scientifique pour POEMS. Ses compétences sur l'imagerie et les problèmes inverses, avec toutes les méthodes d'optimisation que ces problématiques nécessitent de développer, sont complémentaires. Les compétences

d'IDEFIX en matière d'imagerie et de problèmes inverses, associées aux développements récents de POEMS sur la propagation des ondes en milieu aléatoire, laissent entrevoir des prolongements en matière d'imagerie médicale positionnant l'unité comme un acteur original dans le champ des outils numériques pour la santé. On note déjà sept articles en cosignature avec POEMS, ainsi qu'un séminaire commun. Il s'agit d'une dynamique très prometteuse.

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

Le positionnement thématique de l'unité POEMS, axé principalement sur l'analyse mathématique et numérique rigoureuse de la propagation des ondes linéaires, peut le rendre moins réactif aux évolutions rapides de certaines priorités scientifiques de l'ingénierie. Ceci concerne notamment la simulation haute performance, les méthodes orientées données, ou des thématiques interdisciplinaires émergentes. La grande majorité des publications se fait dans des revues de mathématiques appliquées, même si certaines sont orientées vers la mécanique, comme JCP ou JFM. Le comité ne note qu'une seule publication dans IEEE. Le risque est que cela conduise à terme à un certain enfermement disciplinaire.

Le faible nombre de publications dans des revues d'ingénierie ou de physique pourrait constituer un frein pour élargir encore le rayonnement du laboratoire aux sciences de l'ingénieur, alors que le savoir développé par l'unité dans le temps long aurait le potentiel de beaucoup apporter à ces champs disciplinaires. Dans ces dernières thématiques, le comité ne note que peu de contacts avec des laboratoires de physique du plateau de Saclay, alors que la proximité géographique existe. Ceci peut représenter une perte d'occasion de prendre connaissance des problématiques les plus récentes de ces domaines, et, inversement, de faire bénéficier ceux-ci d'un savoir-faire qui pourrait se révéler des plus utiles.

DOMAINE 4 : INSCRIPTION DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE DANS LA SOCIÉTÉ

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

L'unité a des relations de qualité avec le milieu socio-économique, même si les lourdeurs administratives et une réflexion sur la stratégie de valorisation encore en cours peuvent constituer un frein. Elle développe des actions de qualité envers le grand public.

- 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 a développé des partenariats importants avec le monde non académique. On peut citer notamment celui avec le CEA-LIST, portant sur les conditions aux limites transparentes dans les guides élastiques, en vue de la simulation du contrôle non destructif par ultrasons et celui avec la société Naval Group concernant la simulation avec la méthode BEM de l'effet d'une explosion externe sur un sous-marin et la modélisation du bruit engendré par les écoulements.

Des membres de l'unité mènent des actions importantes auprès du grand public et notamment auprès des jeunes filles dans le but de leur montrer la place importante qu'elles peuvent (qu'elles doivent) avoir dans le domaine des sciences et en particulier en mathématiques appliquées.

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

Les difficultés dues aux complexités administratives (diversité des tutelles de l'unité notamment) en ce qui concerne la propriété intellectuelle constituent un frein important au développement des interactions avec le monde non académique.

ANALYSE DE LA TRAJECTOIRE DE L'UNITÉ

La trajectoire de l'équipe POEMS est marquée par une stabilité remarquable de ses thématiques fondamentales. Les recrutements récents ont permis d'ouvrir de nouveaux axes en intégrant des approches probabilistes, en renforçant l'expertise sur les méthodes d'équations intégrales, et en structurant un pôle de calcul haute performance, répondant aux défis des grandes simulations en milieux non bornés. La dynamique collective constitue un point fort majeur de POEMS. La forte cohésion interne se traduit par une animation scientifique structurée et un environnement favorable à l'intégration de nouveaux chercheurs. La parité exemplaire au sein de l'équipe, y compris dans les postes à responsabilité, participe à la visibilité et à l'attractivité du laboratoire. L'équipe a su anticiper les enjeux liés à la croissance de ses activités, en engageant par exemple des réflexions sur la pérennisation et l'harmonisation des codes de simulation.

Cependant, l'unité est aujourd'hui confrontée à plusieurs défis stratégiques. D'une part, le renouvellement générationnel s'annonce critique, avec de nombreux départs à la retraite programmés d'ici cinq ans parmi les figures fondatrices du laboratoire. Bien que certaines mesures aient été prises (création de postes, planification de nouveaux recrutements), il restera essentiel de continuer à attirer des profils capables de maintenir la dynamique et la visibilité de l'unité. Le principal défi consistera à trouver le bon équilibre entre maintien des compétences acquises au long cours et renouvellement thématique. Par son rattachement aux sections 8 et 9 du Comité National, l'unité devra s'efforcer de consolider sa position dans les thématiques électromagnétiques, et accentuer son ouverture vers les sciences physiques ou en ingénierie. En tout premier lieu, les capacités d'interaction avec les deux autres équipes de l'UMA seront déterminantes.

S'il n'est pas question de minimiser l'importance des défis auxquels POEMS va être confrontée au prochain contrat, plusieurs signaux sont de bon augure. La bonne dynamique initiale de collaboration avec IDEFIX, les ouvertures récentes sur les thématiques stochastiques, ainsi que les recrutements récents au CNRS, laissent présager que l'unité saura gérer le tournant générationnel et thématique qui s'annonce, en maintenant son expertise dans ses domaines d'excellence, en ouvrant de nouvelles thématiques et en confortant ainsi sa position originale dans les sciences de l'ingénieur.

RECOMMANDATIONS À L'UNITÉ

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

L'unité est invitée à anticiper le renouvellement générationnel, en lien avec ses tutelles, et en profiter pour renforcer la transversalité thématique, par exemple en s'ouvrant aux sciences des données. Le calcul haute performance, la modélisation mécanique en ce qui concerne l'ingénierie, la plasmonique ou la photonique en ce qui concerne la physique, sont des domaines où l'unité devrait chercher à se renforcer.

L'organisation des services administratifs au niveau de l'UMA reste très fragile. L'unité est encouragée à prendre sa part dans le dialogue de l'UMA et des tutelles dans la direction d'une solution robuste et si possible pérenne. Si de nouveaux recrutements ne sont pas possibles, l'embauche d'un personnel de gestion sur fonds propres devrait être envisagé. La fusion récente de l'ENSTA avec l'ENSTA Bretagne devrait faire l'objet d'un autre dialogue avec la tutelle afin d'éviter au maximum la complexification administrative, celle-ci étant très présente du fait de l'imbrication des tutelles à l'intérieur même de l'unité.

La composition des comités de suivi de thèse devrait être revue, en lien avec les ED, pour inclure au moins un membre extérieur à l'unité, voire à l'ED. Au vu de la richesse, en chercheurs et enseignants-chercheurs en mathématiques, de la place parisienne, une telle entreprise n'est certainement pas impossible.

L'unité est encouragée à poursuivre la pérennisation des outils numériques (comme XLIFE++) en formalisant les responsabilités, la documentation et l'accompagnement à la montée en compétence de nouveaux développeurs internes.

Recommandations concernant le domaine 2 : Attractivité

L'unité est encouragée à continuer à être proactive dans le recrutement de jeunes chercheurs, en ciblant particulièrement des profils émergents.

Recommandations concernant le domaine 3 : Production scientifique

POEMS est encouragée à maintenir le haut niveau de production scientifique tout en s'ouvrant à d'autres thématiques. L'interaction avec l'équipe IDEFIX avec un séminaire commun est un premier pas prometteur.

L'unité est encouragée à poursuivre l'ouverture vers la modélisation numérique et le calcul haute performance en mécanique ou acoustique, et renforcer les collaborations existantes avec des laboratoires de mécanique ou acoustique, par des invitations aux séminaires, ou des groupes de travail. Elle pourrait aussi engager des contacts avec des laboratoires de physique, par exemple en plasmonique, ou sur la thématique des métamatériaux.

Le positionnement de POEMS dans les sections 8 et 9 du Comité National devrait également être renforcé dans les recrutements à venir (jeunes chercheurs en thématiques adjacentes, ou ayant un profil interdisciplinaire) et pourrait aider l'unité dans son ouverture vers de nouveaux champs scientifiques.

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

L'unité est invitée à maintenir son excellente dynamique dans le domaine et à explorer d'autres partenariats du milieu socio-économique, par exemple dans le domaine de la santé.

DÉROULEMENT DES ENTRETIENS

DATE

Début : 11 février 2025 à 8 h 50

Fin : 11 février 2025 à 16 h 45

Entretiens réalisés : en présentiel

PROGRAMME DES ENTRETIENS

Lieu : ENSTA, 828 Boulevard des Maréchaux, 91762 Palaiseau

■ les entretiens ou présentations non labellisés « public » sont strictement réservés aux membres de l'unité concernés par ces entretiens/présentations.

■ les entretiens avec l'équipe administrative et les équipes scientifiques se dérouleront sans la présence des responsables des équipes ni des membres de l'équipe de direction.

■ Les entretiens avec les personnes assurant des responsabilités (par exemple les équipes, la direction et les commissions) concernent à la fois celles portant le bilan mentionné dans le DAE et celles ayant assuré leur succession depuis.

10 février 2025 – 19 h 30 - Dîner de travail à huis clos du comité

11 février 2025

8 h 50 - Accueil du comité d'experts **[public]**

9 h - Présentation des unités UMA et POEMS (bilan et trajectoire, y inclus périmètre de recherche et éléments venant du portfolio de l'unité), 45 mn + discussion avec le comité (15 mn) **[public]**

10 h - Présentation synthétique des équipes OC et IDEFIX par les responsables (20 mn exposés et 10 mn questions du comité) **[public]**

10 h 30 - Exposés scientifiques (essentiellement établis sur le portfolio) : deux pour l'équipe POEMS et un pour OC **[public]**

11 h 15 – pause-café (15 mn) [public]

***** Fin de la partie publique des entretiens *****

11 h 30 - Entretien avec les doctorants et postdoctorants, 30 mn

12 h - Entretien avec les responsables des formations doctorales et masters, 15 mn

12 h 15 – déjeuner du comité à huis clos (60 mn)

13 h 15 - Entretien avec le personnel en appui de la recherche (PAR et assimilés), 20 mn

13 h 40 - Entretien avec les membres des équipes OC et IDEFIX, 20 mn

14 h - Entretien avec les membres de POEMS, 20 mn

14 h 25 - Entretien avec les rangs B et assimilés, 20 mn

14 h 45 - Entretien avec les responsables d'équipes et l'équipe de direction UMA, 25 mn

15 h 10 - Entretien avec l'équipe de direction de POEMS, 20 mn

15 h 30 – *huis clos du comité/pause-café*, 15 mn

15 h 45 – Entretien tutelles UMA (ENSTA), 15 mn

16 h – Entretien tutelles POEMS (CNRS, ENSTA et Inria), 25 mn

16 h 25 – Entretien tutelles UMA étendu aux partenaires (CNRS, EDF R&D et Inria), 20 mn

16 h 45 – Fin des entretiens sur site

POINTS PARTICULIERS À MENTIONNER

Pour des questions de logistique, les entretiens des unités UMA et POEMS ont été mutualisés sur une seule journée (idem pour les comités).

OBSERVATIONS GÉNÉRALES DES TUTELLES



Palaiseau, le 10 juillet 2025

À l'attention du Comité d'Évaluation HCERES

Objet : Réponse aux observations du rapport d'évaluation de l'UMR POEMS

Madame, Monsieur,

Nous vous remercions de l'envoi du rapport sur l'UMR POEMS

Au-delà des erreurs factuelles indiquées dans le courrier joint, l'unité souhaite répondre aux questions soulevées par le Comité concernant l'apparente faiblesse de ses relations avec la communauté d'ingénierie. Ces dernières n'ont probablement pas été assez mises en valeur alors qu'elles sont pourtant nombreuses et riches. L'unité entretient des collaborations suivies, donnant lieu à des co-encadrements de thèse et des publications communes, avec les laboratoires suivants : l'IMSIA, l'Institut Langevin, le LMA, le LAUM et l'Institut Fresnel. Enfin, certains doctorants de POEMS sont rattachés au Domaine Ingénierie, Mécanique et Energétique de l'ED IPP.

Au-delà de ce point, nous n'avons pas de remarque générale sur le document.

Avec tous nos remerciements pour l'attention portée à ce dossier,

Bien cordialement,

Laurent El Kaim
Directeur de la Recherche et de l'Innovation
ENSTA

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

Évaluation des universités et des écoles

Évaluation des unités de recherche

Évaluation des formations

Évaluation des organismes nationaux de recherche

Évaluation et accréditation internationales



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

