Évaluation de la recherche

RAPPORT D'ÉVALUATION DE L'UNITÉ

LPICM — Laboratoire de physique des interfaces et des couches minces

SOUS TUTELLE DES ÉTABLISSEMENTS ET ORGANISMES :
CNRS
ÉCOLE POLYTECHNIQUE

CAMPAGNE D'ÉVALUATION 2024-2025
VAGUE E

Rapport publié le 10/04/2025

Haut Conseil de l'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur

Au nom du comité d'experts :

Gilles Flamant, président du comité

Pour le Hcéres :

Stéphane Le Bouler, président par intérim

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

Pour faciliter la lecture du document, les noms employés dans ce rapport pour désigner des fonctions, des métiers ou des responsabilités (expert, chercheur, enseignant-chercheur, professeur, maitre 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, Directeur de recherche émérite, CNRS.
Experts :	Mme Katia Grenier, Centre national de la recherche scientifique, Toulouse M. Cédric Noël, Centre national de la recherche scientifique, Nancy M. Carlo Rizzo, Université Toulouse, Toulouse Mme Anne-Lise Thomann, Centre national de la recherche scientifique, Orléans

REPRÉSENTANT DU HCÉRES

M. Philippe Petitjeans

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

Mme Maria-Pilar Bernal Artajona, DAS CNRS Ingénierie

M. Kees ven der Beek, Directeur de la Recherche de l'École Polytechnique

CARACTÉRISATION DE L'UNITÉ

- Nom : Laboratoire de physique des interfaces et des couches minces
- Acronyme : LPICM
- Label et numéro : UMR7647
- Nombre d'équipes : trois
- Composition de l'équipe de direction :
  Directeur : Yvan BONNASSIEUX (Professeur École polytechnique).
  Directeurs adjoints : Erik JOHNSON (DR CNRS) en charge de la politique scientifique ; Jean Charles VANEL (IR CNRS), responsable des technologies.

PANELS SCIENTIFIQUES DE L'UNITÉ

ST Sciences et technologies
ST5 : Science de l'ingénieur
ST2 : Physique
ST4 : Chimie

THÉMATIQUES DE L'UNITÉ

L'unité développe une approche intégrée de l'élaboration de matériaux de faible dimension, en particulier les semi-conducteurs, et des méthodes optiques originales de caractérisation *in situ*. La recherche est organisée en trois pôles intitulés : Procédés et Matériaux (PROM), Techniques de Caractérisation et de Modélisation (CHARM), et Systèmes, Instruments et Dispositifs (SID). Les recherches concernent quatre grands défis sociétaux : observer l'échelle nanométrique, la physique *in situ* ; sauver des vies grâce à l'optique biomédicale ; rendre notre environnement plus sûr, plus propre et plus connecté ; et inventer la technologie des semi-conducteurs de demain. Plus précisément, les recherches menées par les pôles sont les suivantes :

PROM : Procédés humides et secs pour l'élaboration de couches minces et de dispositifs. Le Pôle est structuré en quatre activités principales : Semi-conducteurs organiques ; Procédés plasma pour les matériaux et dispositifs en couches minces à base de silicium ; Procédés plasma pour le dépôt de matériaux III-V ; Matériaux 2D.

CHARM : Techniques de caractérisation et de modèles IA, physiques ou modèles comportementaux pour essayer de comprendre la formation de couches minces, structures 1D et 2D, interfaces et composants, systèmes développés respectivement par les pôles PROM et SID. Le pôle est structuré en cinq activités principales : Modélisation et caractérisation de la polarimétrie de Mueller et polarimétrie de Mueller pour les applications biomédicales ; Modélisation de plasmas contenant des nanocristaux utilisés pour le dépôt de couches minces par la technique PECVD ; Initiative NanoMade-3E ; Modélisation DFT de matériaux 1D, 2D et 3D et Modélisation du comportement et des dispositifs IA.

SID : Développement de nouveaux dispositifs ou de nouveaux instruments orientés vers l'innovation technologique. Le Pôle est structuré en cinq activités principales : Dispositifs organiques et hybrides (pour l'énergie) ; Production et stockage de l'énergie solaire ; Spectroscopie Raman à l'échelle nanométrique ; plasma *in situ* intégré au microscope électronique à transmission NanoMAX et Imagerie polarimétrique pour la biomédecine.

HISTORIQUE ET LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DE L'UNITÉ

L'unité « Laboratoire de Physique des Interfaces et des Couches Minces » (LPICM), hébergée par l'École polytechnique, a été fondée en 1986 et est devenue l'UMR 7647 en 1997. Au fil des années, le LPICM a été successivement affilié à différents instituts du CNRS (SPI, STIC et ST2I). Aujourd'hui, il fait partie de l'INSIS (Institut des Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes, devenu CNRS Ingénierie) en tant qu'institut principal tout en ayant des partenariats avec les Instituts de Physique (INP) et de Chimie (INC.).

Au fur et à mesure du développement des thèmes de recherche, l'espace de l'unité s'est agrandi pour répondre à l'augmentation de l'activité, et ce dans un délai relativement court. En conséquence, le LPICM est aujourd'hui dispersé dans six bâtiments du centre de recherche de l'École polytechnique (2005 m^2 au total). Cette dispersion a entravé les interactions entre les membres de l'unité, mais a favorisé les interactions avec les chercheurs des laboratoires voisins (projets communs avec 7 autres unités de l'École polytechnique).

Grâce au soutien de l'École polytechnique, un projet de création d'un nouveau bâtiment de recherche a été lancé en 2023. Il devrait permettre la relocalisation et le regroupement d'une grande partie des unités situées juste au nord du centre de recherche d'ici fin 2027 (lancement des travaux fin 2025).

ENVIRONNEMENT DE RECHERCHE DE L'UNITÉ

Le LPICM est fortement impliqué dans son environnement de recherche local : École polytechnique (X) et Institut Polytechnique de Paris (IP Paris). En tant que membre de l'École polytechnique, l'unité a établi de nombreuses collaborations avec les autres unités du centre de recherche de l'X (LPP, LLR, LSI, PMC, LMD, LCM). Le LPCIM participe également à quatre centres interdisciplinaires de l'IP Paris : E4C, « Énergie pour le Climat » ; E4H « Ingénierie pour la Santé » ; M4S, « Matériaux pour la Société » ; CIEDS, « Centre Interdisciplinaire d'Étude pour la Défense et la Sécurité ». L'unité collabore avec l'Université Gustave Eiffel et le CEA. Des collaborations ont également été établies avec des centres de recherche privés sur les questions relatives à la sécurité et à l'environnement (EDF, TOTAL, THALES, IPVF).

L'unité est membre de la fédération de recherche FEDPV du CNRS et de l'EUR Plasma Science. Elle est également membre des GDR EMILI (Études des milieux Ionisés : plasmas froids créés par décharge ou laser), HPERO (Halide Perovskites) et OREA (Organic Electronic for new ERA).

Au plan de la valorisation, l'unité collabore avec des structures de transfert telles que la SATT Paris-Saclay (2 prématurations et 1 maturation), le CNRS Innovation (1 prématuration) et IP Paris Prématuration. Elle collabore également avec un certain nombre de start-up ou spin-offs de l'incubateur de l'École Polytechnique « Drahi-X Novation Center ». Par exemple, peuvent être cités OMINI sur les capteurs de marqueurs du cancer dans le sang avec des transistors électrochimiques organiques, OECT (porté par une ancienne doctorante du LPICM) et SENSOME sur la mesure par Spectroscopie d'impédance des caillots dans le cerveau en réponse à un AVC. Enfin, depuis sa création, l'unité est fortement impliquée dans les projets de recherche de l'ITE IPVF « Institut Photovoltaïque d'Île-de-France ».

En ce qui concerne les applications biomédicales (polarimétrie de Mueller), le LPICM a établi des relations avec l'Hôpital du Kremlin-Bicêtre pour la détection des naissances prématurées, l'Institut Mutualiste Montsouris sur le dépistage des cancers internes, et l'INSELSPITAL Universitätsspital de Berne, Suisse, sur l'imagerie en neurochirurgie.

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

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	4
Maitres de conférences et assimilés	0
Directeurs de recherche et assimilés	4
Chargés de recherche et assimilés	5
Personnels d'appui à la recherche	17
Sous-total personnels permanents en activité	**30**
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	3
Personnels d'appui non permanents	0
Postdoctorants	9
Doctorants	17
Sous-total personnels non permanents en activité	**29**
Total personnels	**59**

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	8	6
EC POLYTECHNIQUE	4	0	10
Autres	0	1	1
Total personnels	**4**	**9**	**17**

AVIS GLOBAL

L'unité « Laboratoire de Physique des Interfaces et des Couches Minces » (LPICM) développe une approche intégrée, des processus élémentaires aux composants, de l'élaboration de matériaux de faible dimension, en particulier les semi-conducteurs, et des méthodes optiques originales de caractérisation *in situ*. Dans ce dernier domaine, elle est à l'origine du développement d'instruments opérationnels.

L'unité se distingue par des avancées scientifiques de niveau international dans plusieurs domaines. Dans le domaine de l'instrumentation haute performance, le LPICM a transféré deux équipements de pointe au synchrotron SOLEIL, un microscope polarimétrique présentant une résolution spatiale de 10 µm et un polarimètre spectroscopique à large spectre et à forte résolution spectrale (2 cm^{-1}). L'unité excelle dans le développement de la polarimétrie de Mueller aussi bien au plan de la modélisation théorique qu'au plan applicatif comme dans le cadre du projet HORAO, financé par la « *Swiss National Science Foundation* », en collaboration avec l'Hôpital Universitaire de Bern. Ce projet porte sur la visualisation et la discrimination des tissus sains des tissus cancéreux dans le cerveau. Cette dernière avancée est de niveau mondial. Dans le domaine des matériaux, l'unité est reconnue internationalement pour ses travaux sur l'élaboration de cellules photovoltaïques par plasma (cellules tandem silicium, matériaux III-V, germanium) et les matériaux 2D pour la fabrication de capteurs de gaz présentant une gamme de détection inégalée de neuf décades. Enfin, la fabrication de minimodules à base de cellules solaires à nanofils de silicium en collaboration avec l'entreprise SOLEMS est une première mondiale.

La production scientifique de l'unité est excellente aux plans qualitatif et quantitatif. Les chercheurs du LPICM ont publié 334 articles dans les meilleurs journaux de leurs disciplines.

Les ressources de l'unité sont très bonnes avec un budget annuel moyen de 1,5 M€/an. Les ressources propres sont constituées principalement de financements par des projets nationaux (ANR, PIA). La diminution significative du budget global de l'unité pendant les deux dernières années risque de menacer sa capacité à faire face aux dépenses incompressibles telles que la maintenance des appareils.

Le fonctionnement collectif du LPICM est favorisé par la mise en place des services mutualisés et de plusieurs conseils et comités consultatifs, CDU, CS, comité technique et comité des ressources humaines. Le fonctionnement harmonieux de cet ensemble est perfectible afin de clarifier les processus de concertation et de prise de décision.

Le rayonnement scientifique du LPICM est excellent, il se concrétise en particulier par la prise de responsabilités aux plans national et européen et le succès de l'unité aux appels à projets compétitifs. Grâce aux compétences de ses membres, l'unité a développé des moyens expérimentaux originaux à l'état de l'art dans le domaine de l'élaboration des matériaux et de la caractérisation *in situ*. Le LPICM attire de nombreux chercheurs étrangers, ils constituent environ la moitié de son personnel.

Le LPICM développe de nombreuses collaborations avec les grandes entreprises, en particulier à travers l'IPVF, et des start-up. Son implication dans le partage de ses connaissances avec le grand public est modeste.

Le positionnement des recherches aux plans national et international est peu lisible. La constitution des pôles est une évolution louable de l'organisation de l'unité, mais leur structure actuelle et leur dénomination trop générale ne permettent pas d'afficher des objectifs scientifiques clairs et distincts suivant les pôles. Le comité note une forte redondance des thématiques scientifiques entre les pôles. Le risque encouru est une perte d'identité et de visibilité pour le LPICM.

ÉVALUATION DÉTAILLÉE DE L'UNITÉ

A — PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Les recommandations du précédent rapport ont été prises en compte par le changement de structuration de l'unité en trois pôles dans le but d'améliorer les interactions entre les acteurs de la recherche. Pour les points positifs, ce changement a permis d'améliorer les échanges entre chercheurs et étudiants sur des thèmes généraux communs et d'induire des discussions sur les résultats obtenus par des chercheurs en dehors des équipes projet. En ce qui concerne les points négatifs, la création des pôles a réduit les échanges en profondeur sur les objets de recherche, biais accentué par le fait que les chercheurs contribuent souvent à plusieurs pôles, car les pôles ne sont pas basés sur des projets.

La création du comité des ressources humaines répond également à une recommandation du précédent rapport.

En revanche, il n'y a pas eu d'actions concernant la prise en compte des recommandations relatives à la politique de publication et de mutualisation, les taux d'encadrement excessifs, la formalisation de la gouvernance, l'organisation de la vie de l'unité et de la prise de décision, le renouvellement du règlement intérieur et le déséquilibre femme/homme.

B — DOMAINES D'ÉVALUATION

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

Appréciation sur les objectifs scientifiques de l'unité

Le LPICM développe une approche intégrée de l'élaboration de matériaux de faible dimension, en particulier, les semi-conducteurs, et des méthodes optiques originales de caractérisation *in situ*. L'unité apporte des réponses et solutions pertinentes sur les mécanismes de croissance des nanomatériaux, leur mise en forme en vue de la réalisation de dispositifs fonctionnels et le développement d'instruments originaux. La cohérence de l'ensemble, à l'échelle de l'unité, est peu lisible et perfectible.

Appréciation sur les ressources de l'unité

Les ressources de l'unité sont excellentes en moyenne pendant la période. Les ressources propres sont constituées principalement de financements par des projets nationaux (ANR, PIA). La diminution significative du budget global de l'unité depuis 2022 risque de menacer sa capacité à faire face aux dépenses incompressibles telles que la maintenance des appareils.

Appréciation sur le fonctionnement de l'unité

Le fonctionnement collectif du LPICM est favorisé par la mise en place des services mutualisés et de plusieurs conseils et comités consultatifs, CDU, CS, comité technique et comité des ressources humaines. Un suivi des doctorants (complémentaire à ce qui est fait par l'ED) et des postdoctorants au niveau de l'unité manque à cette organisation. Bien que ces structures soient des éléments positifs pour un fonctionnement collectif, il y a peu d'espaces d'échanges et de concertation entre tous les membres de l'unité et la direction afin de permettre des discussions collectives sur les sujets importants et favoriser la co-construction de projets fédérateurs. La circulation de l'information n'est pas optimale, ce qui rend parfois obscure la prise de décision.

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

Points forts et possibilités liées au contexte

La force et l'originalité des recherches menées au LPICM résident dans l'approche intégrée et pluridisciplinaire des questions scientifiques. L'approche conjugue élaboration, caractérisation *in situ* et à l'échelle nanométrique, et modélisation. Les sujets sont abordés dans leur complexité physique, chimique et instrumentale tout en développant les applications en matière de composants et de procédés de fabrication associés. Les objets d'étude visés sont : les nano- et microstructures, les nanoobjets, les couches minces et les interfaces, jusqu'au développement d'instrumentations innovantes (imagerie en particulier) et d'expérimentations en conditions réelles. L'énergie, les composants électroniques et la santé sont les principaux défis sociétaux concernés par les recherches du LPICM.

Les recherches sont menées en partenariat avec les acteurs clés présents sur le site de l'École polytechnique : Laboratoire de Physique des Plasmas (LPP), Laboratoire Leprince-Ringuet (LLR), Laboratoire des Solides Irradiés (LSI), laboratoire de Physique de la Matière Condensée (PMC), Laboratoire de Météorologie Dynamique (LMD), Laboratoire de Chimie Moléculaire (LCM) et Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies (C2N) du plateau de Saclay.

Les faits scientifiques marquants de l'unité de niveau mondial sont, en particulier, les recherches sur la polarimétrie de Mueller qui intègrent les aspects théoriques et applicatifs ; l'application développée concerne la détection de tumeurs du cerveau lors d'interventions neurochirurgicales (projet Sinergia HORAO, financé par le « Fonds national Suisse ») ; la spectroscopie Raman des liquides exaltée par une pointe (projet soutenu par l'ERC *starting grant*) et l'observation de la croissance *in situ* de cristaux par microscopie électronique en transmission à haute résolution (projet NanoMAX avec le C2N).

Les recherches sur les matériaux semi-conducteurs 1D et 2D sont de niveau international. Elles concernent les matériaux tels que le silicium (epi-Si, c-Si, Si-H pour cellules solaires à hétérojonctions), les pérovskites, les composés du groupe III-V (GaAs et GaN par exemple) et les semi-conducteurs organiques (OTFT, Organic Thin Film transistors), pour les capteurs par exemple. Les techniques d'élaboration mises en œuvre sont, en particulier, le dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma (PE-CVD) et le dépôt physique (*sputtering*). Les travaux intègrent une dimension de modélisation par DFT (théorie de la fonctionnelle de la densité) et assistée par IA.

Les mesures *in situ* dans les réacteurs d'élaboration des matériaux sont un point fort du LPICM. Par exemple, la croissance de GaN par plasma a été suivie par différentes techniques spectroscopiques (*OES: Optical Emission Spectroscopy, TALIF: Two-Photon Laser Induced Fluorescence, MWI: Microwave Interferometry*).

En ce qui concerne les composants, les travaux sur les capteurs de gaz (NO_x et CO) utilisant des matériaux 2D de type graphène fonctionnalisé, MXene (type Ti3C2Tx) et MoS2 sont originaux.

Points faibles et risques liés au contexte

Le positionnement des recherches aux plans national et international est peu lisible.

La constitution des pôles répond à une recommandation du précédent rapport Hcéres, mais leur structure actuelle et leur dénomination trop générale ne permettent pas d'afficher des objectifs scientifiques pertinents pour l'unité. Le risque encouru est une perte d'identité et de visibilité pour le LPICM.

Le comité note une redondance très forte des thématiques scientifiques entre les pôles, par exemple sur la polarimétrie de Mueller. Ceci confère un manque de visibilité et de compréhension de l'organisation structurelle de l'unité.

Certaines activités du pôle sont parfois portées par une seule personne et il y a donc un risque de les voir disparaitre.

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 financières du LPICM ont été en moyenne pendant la période de 190 k€/an de financement des tutelles (CNRS et X) et de 1,5 M€/an de ressources propres (RP), ce qui est excellent. Les ressources propres sont constituées principalement de financements par des projets nationaux (56 % environ). Les projets européens et internationaux, et les projets industriels représentent chacun 21 % des RP, les 2 % restants sont les projets locaux et régionaux.

L'unité a bénéficié de deux projets soutenus par l'ERC, une « Starting Grant », AQUARAMAN, et un « Horizon Proof of Concept », G-PROBE. En parallèle, Le LPICM a participé à sept autres projets européens dans le cadre des appels H2020 et Horizon.

Points faibles et risques liés au contexte

Le comité note une diminution importante des ressources propres entre la période 2018-2021 et la période 2022-2023, avec une moyenne des RP de 1,7 M€ et de 1,03 M€ respectivement, soit une baisse de 40 %. Cette diminution pourrait déstabiliser l'unité et sa capacité à faire face aux dépenses incompressibles telles que la maintenance des appareils.

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

En complément aux pôles de recherche et au service administratif, l'unité a mis en place deux services mutualisés, « Bureau d'Étude et d'Équipement de Recherche » (BEER) et le « groupe Instrumentation & Informatique » (G2I), ce qui est pertinent au vu des besoins de coordinations techniques et informatiques. Le BEER comprend quatre personnes. Il a des missions élargies concernant la conception et la fabrication des réacteurs de dépôt sous vide, la simulation numérique des réacteurs de dépôt, la fabrication de pièces mécaniques, la maintenance et la gestion des plateformes et la formation des utilisateurs. Quatre personnes également travaillent au G2I. Elles ont pour mission la gestion informatique et la maintenance de l'instrumentation optique et des dispositifs de mesure. Le LPICM a trois assistants de prévention, un responsable formation, deux responsables de la sécurité informatique, un correspondant valorisation et un contact sécurité radioprotection.

La concertation interne est assurée par un Conseil d'unité de quinze membres (2 à 3 réunions par an). L'action du CdU est complétée par un conseil scientifique qui se réunit mensuellement. Le LPICM a également mis en place un comité technique qui se prononce sur les développements technologiques et un comité des ressources humaines qui donne son avis sur les promotions des PAR et les aides dans la rédaction de leurs dossiers de promotion. Ceci parait particulièrement judicieux étant donné les difficultés rencontrées par les personnels d'appui à obtenir des promotions.

L'unité a mis en place récemment un comité pour le développement durable.

Points faibles et risques liés au contexte

Le Conseil d'unité ne se réunit que deux à trois fois par an, ce qui est insuffisant pour mettre en place une concertation suivie. D'une façon générale, les comités discutent en interne et font part de leur avis à la direction qui décide.

Les espaces d'échanges et de concertation entre tous les membres de l'unité et la direction ne semblent pas exister. Pourtant cela pourrait être mis en place facilement dans une unité de la taille du LPICM. Les comptes rendus des réunions des comités, de même que les décisions prises par la direction, ne sont pas systématiquement diffusés à l'ensemble de l'unité.

Les structures de consultations de l'unité sont complexes et leur hiérarchisation peu lisible. La circulation de l'information au sein de l'unité est perfectible.

La pyramide des âges est déséquilibrée et la parité améliorable.

Les actions concernant les économies d'énergie et des ressources, et de réduction de l'empreinte carbone sont absentes.

DOMAINE 2 : ATTRACTIVITÉ

Appréciation sur l'attractivité de l'unité

Le rayonnement scientifique du LPICM est excellent, il se concrétise par l'organisation de congrès et de workshops, la prise de responsabilités aux plans national et européen et le succès de l'unité aux appels à projets compétitifs. L'unité a développé des moyens expérimentaux originaux à l'état de l'art dans le domaine de l'élaboration des matériaux et de la caractérisation *in situ*. Le LPICM accueille de nombreux chercheurs étrangers. La pérennité et l'attractivité des dispositifs expérimentaux peuvent être menacées par la diminution des moyens.

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 LPICM est très bien inséré dans les communautés scientifiques qui sont au cœur de son activité. Durant la période, l'unité a organisé six congrès et workshops tels que les 2e et 3e « International Workshop on Biophotonics and Optical Angular Momentum » en 2018 et 2023, la conférence « International Conference on Amorphous and Nanocrystalline Semiconductors » en 2019 et le « Schottky barrier MOSFET workshop » en 2023.

Plusieurs membres de l'unité ont reçu des distinctions, par exemple, le « SPIE G.G. Stokes Award in Optical Polarization », le « John Jeyes Award (Horizon Prize) by the Royal Society of Chemistry (Environment, Sustainability and Energy Division) », et le « IP Paris Best Thesis Award ». Le LPICM a pris des responsabilités au plan local : direction scientifique de l'Institut Photovoltaïque de l'Ile de France (IPVF), et européen : représentation française au « Internatlonal Working Group (IWG) » du « Strategic Energy Technology Plan (SET Plan) » relatif au photovoltaïque. Des membres de l'unité sont éditeurs thématiques ou membres du comité d'édition de revues telles que « Optics Letters » et « IOP journal Nano Futures ».

L'unité est attractive pour les chercheurs étrangers, environ 50 % des membres viennent de pays autres que la France. Les nouveaux arrivants sont invités à suivre un parcours de présentation des services et des règles de sécurité de l'unité comprenant, en particulier, le service informatique et les AP concernés par les travaux qui seront engagés. Les doctorants sont accompagnés selon les règles des ED. Le LPICM présente régulièrement des candidats au concours du CNRS (1 à 2 par an). Grâce au financement spécifique de l'École polytechnique, il a reçu des chercheurs invités d'Allemagne, du Royaume-Uni et des États-Unis d'Amérique (Columbia University USA, Dresden University Germany, Stuttgart University Germany, Florida International University USA, Aston University UK).

Le succès du LPICM aux appels à projets compétitifs est excellent. Dans le cadre des PIA, il a bénéficié de financements des labex CHARMMAT et NANOSACLAY et des équipex ADVENCITY et TEMPOS, et a intégré les PEPR HYDROGÈNE et TASE. L'unité contribue à 27 projets financés par l'ANR dont une chaire avec TotalEnergies, « PISTOL » sur la fabrication de semi-conducteurs par plasma à bas cout. Au plan européen, Le LPICM a été sélectionné dans deux projets financés par l'ERC : Starting Grant « AQUARAMAN » et « Horizon Proof of Concept G-PROBE ». Il émerge également à six projets européens H2020 et un Horizon Europe (Bayflex, HORIZON-EIC-2022-PATHFINDEROPEN-01).

L'unité dispose de très nombreux équipements originaux d'élaboration et de caractérisation. Trois salles sont consacrées à l'élaboration de matériaux du groupe 4, des éléments III-V et base silicium et deux salles sont

consacrées à la chimie de synthèse. Trois plateformes de caractérisation conduisent à des recherches de haut niveau par spectroscopie Raman (ERC Aquaraman), microscopie en transmission (NanoMAX), polarimétrie et ellipsométrie. Une plateforme est destinée au développement de capteurs (Platine). Enfin, la plateforme Phenix est consacrée à la croissance de matériaux 2D à base de carbone essentiellement. Bien que la plupart de ces équipements soient consacrés à des recherches internes, plusieurs sont partagés. Par exemple, le microscope NanoMAX modifié par le LPICM et le C2N fait partie du groupement national METSA (Microscopie électronique en transmission et sonde atomique) et est ainsi utilisé par plusieurs laboratoires nationaux ; les réacteurs d'élaboration de matériaux III-V ont été développés en collaboration avec l'entreprise Riber et le réacteur de PECVD « Octopus » appartient à l'IPVF et donc ouvert aux utilisateurs de cet institut. L'ensemble des équipements est géré par le service BEER.

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

De nombreux projets sont terminés (équipex) ou se terminent prochainement (labex, ERC) sans que les moyens de financement relais soient clairement identifiés, ce qui constitue un risque pour la pérennité des recherches et des équipements associés.

Les initiatives visant à favoriser et accompagner les promotions des PAR et des chercheurs et des EC ou guider les doctorants et postdoctorants vers la poursuite de leur carrière dans le monde académique sont améliorables, car ils sont peu informés sur les voies offertes à eux après leur séjour au LPICM et sur le réseau de collaboration de l'unité

Le LPICM ne dispose pas de livret d'accueil qui pourrait favoriser l'intégration des nouveaux doctorants et postdoctorants.

DOMAINE 3 : PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Appréciation sur la production scientifique de l'unité

La production scientifique du LPICM est excellente aux plans qualitatif et quantitatif. L'unité a publié 334 RICL durant la période dans les meilleurs journaux des disciplines et domaines applicatifs concernés. La production scientifique est proportionnelle au nombre de membres des pôles. Les articles sont disponibles dans le répertoire HAL.

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

Le LPICM a publié 334 RICL durant la période dans les meilleurs journaux des disciplines et domaines applicatifs concernés. Par exemple, dans les domaines de la physique et de la chimie-physique : *Chemical Physics Letters, Physical Review B, Journal of Physics D, Applied Physics, Journal of Physical Chemistry C* ; de l'optique et de la photonique : *Photonics, Optics Letters, Sensors, Applied optics, Nature Photonics* ; des plasmas : *Physics of Plasmas, Plasma Sources Science and Technology ;* et des matériaux : *Nano Research, Carbon, Thin Solid Films, Applied Surface Science, Physical Review Materials, Materials.* L'unité publie également dans des revues d'audience plus large comme *Scientific Reports* et dans le domaine du solaire photovoltaïque, *Solar Energy, Solar Energy Materials and Solar Cells et Progress in Photovoltaics.*

La répartition des publications par pôle est la suivante : PROM, 134 ; CHARM, 219 ; SID, 90 et 109 articles réunissant les contributions de deux ou trois pôles. En prenant en compte les ingénieurs de recherche impliqués dans les pôles le nombre d'ETPR est de seize et le taux de publications est excellent, 3,5 RICL/an/ETPR.

Les publications sont déposées dans HAL et les contributions techniques sont reconnues par l'association des contributeurs aux publications comme co-auteurs.

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

Le taux moyen de publication, bien qu'excellent, cache des disparités concernant le taux moyen individuel.

DOMAINE 4 : INSCRIPTION DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE DANS LA SOCIÉTÉ

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

Le LPICM a de nombreuses collaborations avec les grandes entreprises comme TotalEnergie et Thales. Dans le domaine du photovoltaïque, le partenaire privilégié est l'institut de la transition énergétique (ITE) IPVF. L'unité partage judicieusement ses compétences avec des start-up qui développent des applications biomédicales. Le potentiel instrumental et l'expertise de l'unité sont peu utilisés pour la réalisation d'outils de médiation scientifique.

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

Le LPICM développe de nombreuses collaborations avec les grandes entreprises telles que Thales sur les nanotubes de carbone, TotalEnergies sur les cellules photovoltaïques à travers l'ITE IPVF et une chaire industrielle, PSA/Stellantis concernant les capteurs et batteries pour véhicules du futur et HORIBA Jobin Yvon sur l'ellipsométrie et le Raman en champ proche.

L'unité intervient dans le développement de start-up comme OMINI sur les capteurs de marqueurs du cancer dans le sang avec des transistors électrochimiques organiques, OECT et SENSOME sur la mesure par Spectroscopie d'impédance des caillots dans le cerveau en réponse à un AVC.

L'unité participe aux fêtes de la science chaque année, aux « jeudis de la recherche » de l'X et accueille des collégiens pour leur semaine de découverte. Un membre du LPICM a publié un livre à destination du grand public, « L'énergie solaire photovoltaïque ».

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

Le nombre de partenaires industriels avec lesquels collabore le LPICM est limité. Cette situation entraine un risque d'arrêt brutal de certaines actions.

La contribution de l'unité au partage de ses connaissances avec le grand public et au débat de société sont améliorables car elle dispose des éléments pour le faire. Le potentiel instrumental et l'expertise de l'unité pourraient être plus utilisés pour la réalisation d'outils de médiation scientifique.

ANALYSE DE LA TRAJECTOIRE DE L'UNITÉ

Depuis la dernière évaluation, le LPICM a évolué en 2019 de quatre équipes de recherche à trois pôles pluridisciplinaires. Les quatre équipes étaient les suivantes : NANOSIL — Photovoltaïque, Électronique, Procédés Plasma ; OLAE — Électronique organique et grands substrats ; NANOMADE — Nanomatériaux et dispositifs ; AOP— Optique appliquée et polarimétrie. La structuration par pôles a permis de générer des échanges entre les personnels sur des sujets généraux au détriment de l'approfondissement scientifique. Elle est donc améliorable. Les pistes d'évolution évoquées concernent la modification des contours des pôles et de leurs membres et des échanges plus fréquents à travers les doctorants par exemple. Le décloisonnement scientifique apporté par les pôles est en effet un apport positif de leur création.

La réflexion sur les sujets prioritaires tels que les matériaux III/V, les matériaux 1D/2D, la caractérisation *in situ* (PL, Plasma, TEM, polarimétrie, etc.), les relations entre IA et science expérimentale, les applications biomédicales, les capteurs (électrochimiques, Raman) et l'électronique neuromorphique, est positive et doit être encouragée. La démarche engagée vise également les dispositifs expérimentaux indispensables aux recherches et ceux qui ne le sont plus.

En ce qui concerne les gros équipements tels que TEM, MEB, NMR, DRX, la création d'une UAR entre le CNRS et l'École Polytechnique est en cours de discussion.

A la fin du prochain mandat, le LPICM doit déménager dans des locaux mieux adaptés à son activité. La surface totale actuellement concernée par le déménagement est de 1480 m^2 et la surface allouée au LPICM dans les nouveaux locaux sera de 1770 m^2. Cette évolution devrait favoriser le regroupement des membres de l'unité et faciliter les échanges. Seule une salle d'expérimentation impliquant des équipements lourds sera délocalisée. Il conviendra d'être vigilant quant à son isolement et sa facilité d'accès.

La direction de l'unité devra œuvrer de concert avec les tutelles afin de mettre en place une solution financière adaptée pour faire face au cout du déménagement dans les nouveaux locaux et orchestrer harmonieusement avec tous les membres de l'unité les différentes actions afférentes.

Le futur départ en retraite d'un personnel administratif constitue également un point de vigilance à considérer en amont avec les tutelles afin de maintenir une charge de travail acceptable pour chaque membre de ce service.

RECOMMANDATIONS À L'UNITÉ

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

Le comité recommande au LPICM de mieux positionner ses recherches aux plans national et international.

Il conviendrait d'accroitre les ressources propres issues des projets industriels et européens.

Les structures de consultation de l'unité sont complexes et leur hiérarchisation peu lisible. Le comité recommande d'améliorer les processus de concertation interne afin d'élaborer une méthode de co-construction de projets collectifs.

La circulation de l'information devrait être améliorée.

Le comité recommande de mieux définir le rôle des animateurs de pôle en mettant en cohérence leur fonction d'animation scientifique et leur représentation dans les conseils, en particulier le conseil scientifique. Plus largement, Le comité recommande de réfléchir à une possible réorganisation des pôles afin de faciliter les échanges internes et de renforcer la visibilité des thématiques phares.

La commission des ressources humaines est une excellente initiative dont les missions mériteraient d'être étendue aux doctorants et post-doctorants.

Le comité recommande de mener des actions pour favoriser les promotions des PAR et des C et EC.

Le comité recommande d'impliquer la totalité des membres de l'unité dans la préparation et l'organisation du transfert dans les nouveaux locaux.

Recommandations concernant le domaine 2 : Attractivité

Le comité recommande de mener des actions visant à renforcer l'attractivité de l'unité afin de limiter les conséquences d'une pyramide des âges déséquilibrée et de renforcer la parité.

Recommandations concernant le domaine 3 : Production scientifique

Le comité encourage l'unité à maintenir l'excellente qualité de sa production scientifique en veillant à ce que tous les membres y contribuent.

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

Le comité encourage l'unité à accroitre sa contribution au partage des connaissances avec le grand public et au débat de société.

ÉVALUATION PAR PÔLE

Pole 1 : Characterization techniques and Modelling (CHARM)

Nom de la responsable : Tatiana NOVIKOVA

THÉMATIQUES DU PÔLE

Le pôle CHARM présente une grande diversité thématique. Il est subdivisé en cinq thèmes de recherche, dont deux portant sur la polarimétrie de Mueller avec pour l'un des applications dans le secteur du biomédical, tandis que le second comprend une approche théorique complétée par la caractérisation de minéraux ou de plantes. La modélisation de plasma lors de dépôt PECVD de couches minces constitue un troisième thème. Un quatrième est consacré au développement de nouveaux nanomatériaux depuis leur synthèse jusqu'à leur caractérisation et intégration dans des nano-composants pour divers champs applicatifs. Enfin, le dernier concerne la modélisation DFT de matériaux, que ce soit pour de la croissance par épitaxie, des « nanoclusters » silicium, ou encore pour établir des modèles comportementaux de composants organiques et étendu depuis peu aux composants électroniques.

Ces thèmes visent le développement de techniques de caractérisation et de modélisation physique, comportementale ou encore par approche d'intelligence artificielle, afin de comprendre la structuration de films, d'interfaces, de composants, et ce jusqu'à l'élaboration de systèmes d'imagerie.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Ce pôle n'existait pas lors du précédent rapport et ses membres sont issus de différentes équipes. Le but affiché par sa création était de rassembler les forces de l'unité en modélisation et caractérisation. Les contours de ce pôle au moment de l'évaluation n'étaient pas encore clairement définis.

Il était recommandé au pôle de travailler la mise en place d'actions transverses afin de construire du lien en interne et d'établir une identité scientifique cohérente. Enfin, les thématiques internes au pôle apparaissent indépendantes les unes des autres. Le lien entre chacune n'est pas clair. En revanche, des liens avec les deux autres pôles existent avec des projets communs. Des redondances thématiques existent également entre pôles, ce qui limite l'identité scientifique du pôle au sein de l'unité.

EFFECTIFS DU PÔLE : en personnes physiques au 31/12/2023

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	2
Maitres de conférences et assimilés	0
Directeurs de recherche et assimilés	1
Chargés de recherche et assimilés	1
Personnels d'appui à la recherche	4
Sous-total personnels permanents en activité	**8**
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	1
Personnels d'appui non permanents	0
Postdoctorants	3
Doctorants	8
Sous-total personnels non permanents en activité	**12**
Total personnels	**20**

ÉVALUATION

Appréciation générale sur le pôle

Le pôle CHARM présente des thématiques de recherche variées qui bénéficient d'un excellent rayonnement international pour une grande majorité de ses activités. Les ressources financières sont globalement stables pendant la période et d'origine diverse. La participation à des projets européens d'envergure reste cependant limitée. La production scientifique est remarquable tant en quantité qu'en qualité. Le comité apprécie le renforcement de la représentation féminine parmi les membres du pôle avec l'intégration d'un nouveau membre féminin durant la période. L'animation du pôle est excellente.

Points forts et possibilités liées au contexte

Le pôle affiche de nombreuses avancées scientifiques majeures. L'une porte sur le développement de la polarimétrie de Mueller mené aussi bien au niveau modélisation théorique que d'un point de vue applicatif comme dans le cadre du projet d'envergure, HORAO, financé par la *Swiss National Science Foundation* en collaboration avec l'Hôpital Universitaire de Bern. La qualité de ses travaux a été récompensée par de nombreux prix (SPIE G.G. Stokes en 2020, prix de la *European Optical Society* en 2023). Grâce au système développé, une aide pour visualiser et discriminer les tissus sains de ceux cancéreux dans le cerveau est apportée aux neurochirurgiens en salle d'opération.

Un second fait marquant correspond au transfert de deux équipements de pointe au synchrotron SOLEIL, un microscope polarimétrique présentant une résolution spatiale de 10 µm et, en complément, un polarimètre spectroscopique à large spectre et à forte résolution spectrale (2 cm^{-1}). Ce transfert est accompagné d'un accord pour définir les règles d'ouverture de ces instruments de pointe aux utilisateurs académiques et industriels du synchrotron. De telles techniques sont également mises à profit pour l'analyse de matériaux organiques et inorganiques tels que des minerais martiens, en collaboration avec des laboratoires associés au domaine spatial.

Les travaux sur la synthèse de nouveaux nanomatériaux offrent de nouvelles applications comme par exemple l'élaboration de capteur de gaz présentant une gamme de détection inégalée de neuf décades (de qq ppb à qq ppm pour le gaz NO_2), à la limite de la détection ultime, ou encore des batteries associant forte énergie et forte densité de puissance avec des électrodes nanostructurées. Ces travaux, du fondamental à l'applicatif, ont fait l'objet de projets nationaux de type ANR, des chaires « André Citroen » et « Energies Durables » de l'École Polytechnique et de deux programmes de pré-maturation de la SATT Paris Saclay et IP Paris.

Le pôle bénéficie d'un excellent rayonnement international pour une grande majorité de ses activités. Il se traduit par l'obtention de nombreuses distinctions (Prix Jean-Louis Gerondeau-Safran en 2020, Fellowships en 2021 de OPTICA et SPIE en 2023, prix du meilleur papier à JEOS de la *European Optical Society* en 2022). Certains chercheurs du pôle participent également à l'organisation de conférences ou congrès internationaux (BIOAM 2018 et 2023, Schottky barrier MOSFET workshop 2023).

La production scientifique du pôle est remarquable tant par sa qualité que sa quantité, avec un taux de publication de 4,6 revues/ETP/an dans les journaux de référence des différents domaines applicatifs (*Nanotechnology, Optics express, Nanomaterials, Carbon, Journal of Biomedical Optics, Adv. Opt. Technol., Biomedical optics express, JOSA A* par exemple). Cette production inclut également la publication de livres de référence sur la lumière polarisée.

Les ressources financières sont globalement stables dans la période avec en moyenne 40 k€/ETP/an pour les huit chercheurs du pôle. Elles sont également variées, avec des financements provenant aussi bien de contrats européens (1 RIA, 1 MSCA, 1 EURAMET et la coordination du projet EU-pathfinder BAYFLEX) que de projets nationaux et locaux (14 projets soutenus par l'ANR et autres dont 7 en tant que porteur, soit un pourcentage de 50 %).

L'animation du pôle est excellente avec des actions fortes visant à augmenter les échanges d'informations entre chercheurs et étudiants. Des réunions sont pour cela organisées régulièrement, avec une ouverture aux membres des autres pôles. Aussi bien chercheurs qu'étudiants présentent leurs travaux, mais aussi ceux des autres dans un but de vulgarisation.

La parité est perfectible, mais le comité note qu'une femme est responsable du pôle et qu'un recrutement récent (2023) a renforcé ce point.

Points faibles et risques liés au contexte

La structuration du pôle en thématiques très variées, intégrant de la modélisation moléculaire, de la synthèse de nanomatériaux, leur intégration dans des composants, jusqu'au système d'imagerie, rend la lecture de la politique scientifique et des enjeux visés difficile. Une meilleure définition des verrous scientifiques abordés et un positionnement des travaux aux niveaux national et internationaux sont requis.

Les relations du pôle avec le monde socio-économique sont très disparates suivant les thématiques. Pourtant le pôle présente des avancées scientifiques majeures avec un vivier industriel local remarquable. Le nombre des dispositifs CIFRE pendant la période est limité et en très forte diminution (6 en tout, démarrées avant 2020).

La participation à des projets européens d'envergure reste limitée, même si le pôle inclut la coordination d'un EU Pathfinder.

Les PAR de l'École Polytechnique réalisant une activité de recherche importante peuvent difficilement obtenir une promotion du fait des possibilités offertes par la politique de site qui les placent en concurrence avec les PAR de support (de type administratif ou logistique). Ceci crée un déséquilibre fort au niveau des possibilités de carrière entre permanents du pôle.

Il existe un risque de perte de compétences du fait de la pyramide des âges du pôle. Les recherches sur les « superclusters » silicium, qui ont impliqué des actions de transfert notables (obtention de projets CNRS Innovation, IPP Prématuration, SATT Preuve de Concept en association à un brevet américain) et qui sont portées par un chercheur en éméritat, ne seront par exemple pas poursuivies.

La prise en charge de responsabilités collectives fortes et une surcharge en enseignement des enseignants-chercheurs présentent également un risque pour la pérennisation de certaines activités (modélisation comportementale de composants organiques par exemple).

Le nombre de doctorants par rapport au potentiel d'encadrement (0,375 doc/ETP/an) est perfectible.

Analyse de la trajectoire du pôle

La trajectoire du pôle est pertinente et cohérente. Les recherches envisagées sont en effet dans la continuité des activités actuelles et s'appuient sur les différentes expertises acquises au cours des précédentes périodes pour aboutir pour certaines à des TRL plus élevées et à de futurs transferts vers l'industrie. Une intensification de l'intégration d'approches d'intelligence artificielle est également envisagée et renforcée par l'intégration récente d'un nouveau chercheur dans le pôle.

Ainsi, dans le cadre de la polarimétrie de Mueller pour applications biomédicales, le verrou technique lié à imager rapidement un tissu pour permettre son utilisation à terme en condition réelle clinique sera abordé par l'association d'une caméra ultra rapide et sensible à la polarisation avec une matrice de Mueller partielle. Une preuve de concept a déjà été obtenue en collaboration avec l'Université Internationale de Floride (USA) et fera l'objet de validation *in vivo* en situation. Un transfert industriel auprès d'équipementiers optiques est examiné. Un outil miniaturisé est également envisagé. Du point de vue de la modélisation théorique de la polarimétrie Mueller, une meilleure prise en compte des effets inhérents à l'instrument de mesure vis-à-vis de l'échantillon à analyser sera étudiée afin de s'affranchir de tout effet parasite. Ces perspectives de recherche sont pertinentes, bien que limitées pour la partie modélisation théorique, et pourraient gagner en force et visibilité par un rapprochement des différents chercheurs des pôles CHARM et SID intéressés par cette même thématique pour les applications biomédicales.

Les activités liées à la synthèse de nouveaux matériaux et leur intégration jusqu'au composant se poursuivront avec une montée en TRL pour élaborer des dispositifs électroniques sous vide ou encore une nouvelle génération de batterie à base de sulfure de lithium dans le cadre d'applications aéronautiques et de défense. L'étude fondamentale sur la compréhension des propriétés des nanostructures suivant leurs conditions de croissance sera continuée pour élaborer des capteurs de gaz aux performances toujours plus poussées.

Enfin, des techniques d'intelligence artificielle seront évaluées pour étudier le vieillissement et la dégradation de cellules solaires pérovskites ou encore l'élaboration de systèmes électroniques neuromorphiques à base de transistors OECT.

Cette trajectoire est déjà consolidée avec l'obtention de financements aussi bien nationaux qu'internationaux, et des collaborations déjà établies ainsi que de nouvelles.

RECOMMANDATIONS AU PÔLE

Le comité recommande d'intensifier la participation du pôle à des projets internationaux dont européens.

Le comité recommande de mieux positionner les avancées scientifiques obtenues par rapport à l'état de l'art et aux niveaux national et international.

Le comité recommande d'intensifier les relations avec les industriels et d'augmenter le nombre de convention CIFRE afin de faire bénéficier le monde économique des avancées scientifiques majeures du pôle.

Le comité recommande de mener des actions de renforcement de l'attractivité du pôle afin de limiter les conséquences d'une pyramide des âges déséquilibrée et de renforcer la parité.

Pôle 2 : Processes and Materials (PROM)

Nom du responsable : Pere ROCA I CABARROCAS

THÉMATIQUES DU PÔLE

Les activités du pôle concernent l'étude et le développement de procédés d'élaboration de films minces ou de systèmes par voies sèches ou humides. Elles se situent en amont et ont pour objectif de comprendre les mécanismes élémentaires impliqués et de développer de futurs dispositifs. Ainsi sont étudiés des régimes originaux, souvent hors équilibre, des techniques telles que PECVD, pulvérisation, ALD, et évaporation. Des méthodes par voie humide comme l'exfoliation sont utilisées. Les matériaux concernés sont inorganiques (les semi-conducteurs, les matériaux III-V, 1D ou 2D, les mxènes, le graphène, etc.), ou organiques (polymères conjugués, petites molécules.).

Le pôle est structuré en quatre activités principales : 1/ semi-conducteurs organiques ; 2/ procédés plasma pour l'élaboration de films minces à base de silicium ; 3/ procédés plasmas pour le dépôt de matériaux III-V ; 4/ matériaux 2D.

Par l'utilisation de techniques de caractérisation poussées ou dans la démarche d'aller vers le dispositif, les activités du pôle PROM se situent à l'interface avec celles des pôles CHARM et SID respectivement.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Les recommandations du précédent rapport sur le projet, qui prévoyait la création des trois pôles actuels, de tailles très différentes, portaient principalement sur les actions à mettre en œuvre pour éviter un déséquilibre possible dans la production, l'octroi de ressources financières et humaines, en particulier. S'agissant de PROM, qui rassemble environ 50 % des effectifs de l'unité, les préoccupations étaient le grand nombre de projets et la possible dispersion thématique. L'animation scientifique mise en place dans le pôle a permis globalement d'éviter ces écueils et a favorisé les synergies autour des procédés d'élaboration et de l'étude de la croissance de films minces ou matériaux 2D.

EFFECTIFS DU PÔLE : en personnes physiques au 31/12/2023

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	0
Maitres de conférences et assimilés	0
Directeurs de recherche et assimilés	3
Chargés de recherche et assimilés	3
Personnels d'appui à la recherche	3
Sous-total personnels permanents en activité	**9**
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	2
Personnels d'appui non permanents	0
Postdoctorants	5
Doctorants	6
Sous-total personnels non permanents en activité	**13**
Total personnels	**22**

ÉVALUATION

Appréciation générale sur le pôle

Les activités développées dans le pôle PROM sont originales et clairement de niveau international. Elles se situent à la pointe dans les domaines scientifiques concernés. Elles reposent sur un parc instrumental fourni, en constante évolution qui participe à l'attractivité du pôle. La production est importante et de grande qualité. Si la dynamique de dépôt de projets est bonne, le comité constate une baisse très importante des ressources pendant le mandat qui pourrait affecter la maintenance des équipements. Même si des recrutements ont eu lieu, la continuité de certains sujets de recherche ne semble pas assurée. L'implication dans la recherche au niveau européen est faible.

Points forts et possibilités liées au contexte

Les activités du pôle sont très bien reconnues au niveau national et international. Elles contribuent à l'avancée des connaissances dans le domaine des procédés plasma, de la croissance de matériaux à base de dimensionnalité et au développement de procédés sobres et économes pour l'élaboration de dispositifs ou capteurs innovants. Depuis quelques années, un nouveau sujet a émergé sur les matériaux III-V et l'unité a pu recruter un CR sur cette thématique. L'arrivée d'un jeune IR CNRS en 2023, dans un contexte de baisse importante des personnels IT dans l'unité, est un point très positif pour le pôle.

La production scientifique au sein du pôle PROM est de très grande qualité et répartie dans des journaux scientifiques de haut niveau qui reflètent les différents domaines : l'élaboration de nanomatériaux et les mécanismes aux surfaces/interfaces (*ACS Applied Materials & Interfaces, Applied Surface Science, Journal of Physical Chemistry C, Materials, Nanomaterials, Nanotechnology, physica status solidi (a)*), les procédés de dépôt sous vide (*Journal of Vacuum Science & Technology, Plasma Sources Science and Technology, Thin Solid Films*), mais également les applications *(EPJ Photovoltaics, Optics Express, Sensors, Solar Energy Materials and Solar Cells)*.

Le pôle PROM représente 55 % des effectifs totaux et 40 % des publications y sont rattachées. Cela représente en moyenne entre 2 et 3 publications par permanent (C et IR) par an, chiffre au-dessus des standards de la communauté. Les co-publications avec un des autres pôles représentent environ 30 % du total. 27 conférences invitées ont été recensées pendant le mandat.

Durant la période, l'unité a accueilli deux évènements organisés par la communauté des plasmas froids : GdR EMILI et réseau thématique du CNRS dont un membre du pôle est devenu co-responsable (2021-2026). On peut noter le positionnement fort sur le photovoltaïque depuis de nombreuses années avec la direction scientifique de l'institut Photovoltaïque d'Île-de-France (IPVF, depuis 2019) par un DR de l'unité, ayant fortement contribué à sa création en 2014. Un membre du pôle est représentant français du SET Plan Photovoltaics IWG (depuis 2019) ainsi que membre élu de l'académie des sciences européenne. Les membres du pôle s'impliquent dans l'organisation de conférences internationales. Notamment, une CR travaillant sur les matériaux 2D pour la fabrication de capteurs de gaz flexibles participe de manière régulière à l'organisation de la conférence NANO-TN (au Maroc) et s'est impliquée dans celle de IWTIC'23.

La dynamique de dépôt de projets nationaux est très bonne. Pendant la période, trois projets soutenus par l'ANR ont été portés dont un JCJC, et le pôle a participé à six autres projets. Le pôle s'est saisi des nouveaux dispositifs de financement PEPR (PEPR hydrogène et TASE).

Le pôle dispose d'un parc instrumental très fourni, de pointe et comprenant des outils innovants développés par son personnel. C'est clairement une de ses forces. L'évolution de ce parc est régulière et permet au pôle d'aborder de nouvelles thématiques.

Les recherches menées au sein du pôle PROM sont menées en étroite collaboration avec le monde socio-économique. On peut citer les chaires industrielles PISTOL (TotalEnergies) et EDX3 (EDF), le contrat SATT de maturation MICADO, et les nombreuses expertises réalisées par les chercheurs et ingénieurs. L'implication remarquable du pôle dans l'IPVF participe à l'ouverture vers le monde économique.

Points faibles et risques liés au contexte

Le LPICM a intégré de nombreux chercheurs étrangers au cours des années. On aurait pu s'attendre, par ces contacts privilégiés, à ce qu'il accède facilement à des réseaux internationaux ou européens. Cela n'est pas

le cas dans le pôle PROM. L'insertion dans l'espace européen et la participation à l'animation de la recherche à ce niveau restent assez limitées.

La thématique relative aux semi-conducteurs organiques apparait portée seulement par deux permanents expérimentés et semble à la marge du pôle.

Comme souvent, la plupart des conférences invitées sont données par des membres expérimentés des unités. Dans ce pôle, une personne est principalement concernée, sa reconnaissance à l'international étant exceptionnelle, ce qui est positif, mais présente un risque pour l'avenir.

Alors que le pôle PROM rassemble environ la moitié des personnels de l'unité, un seul contrat européen a été obtenu pendant la période sur les neuf recensés.

Plusieurs projets d'envergure soutenus par l'ANR se sont achevés et le nombre de projets en cours actuellement est limité. Un seul est porté par un membre du pôle. Globalement, les sources de financement du pôle sur projets ont beaucoup baissé au cours du mandat, elles ont été divisées par deux. On peut citer le biais introduit par la création de l'IPVF qui, s'il augmente la visibilité sur la thématique et favorise les collaborations, capte les financements qui ne reviennent que partiellement à l'unité.

Le pôle PROM s'appuyait régulièrement sur des financements provenant des labex CHARMMAT et NANOSACLAY ainsi que sur un équipex qui sont maintenant terminés. Dans un contexte de diminution des ressources, la maintenance du parc pourrait être une difficulté.

Les chercheurs et ingénieurs du pôle participent à des actions conventionnelles vers le grand public (l'accueil de stagiaires, la fête de la science, les jeudis de la recherche de l'X, etc.). Le potentiel instrumental et l'expertise du pôle sont peu utilisés pour la réalisation d'outils de médiation scientifique.

Analyse de la trajectoire du pôle

Les perspectives décrites pour le pôle PROM apparaissent tout à fait pertinentes. Elles s'inscrivent dans la continuité des activités actuelles, s'appuyant sur l'expertise acquise depuis plusieurs années sur les procédés innovants, notamment à bas cout et basse température, et associant l'étude des mécanismes physico-chimiques à petite échelle et le développement d'architectures et de dispositifs originaux. On retrouve cette approche par exemple sur le sujet des semi-conducteurs organiques pour lequel l'exploration de nouvelles molécules est identifiée comme future direction ainsi que leur insertion dans des structures de plus en plus sophistiquées.

Il est proposé de continuer à coupler des configurations standards des procédés (PEVCD, gravure, implantation, etc.) à des géométries ou modes de fonctionnement originaux qui sont une des expertises reconnues du LPICM. Dans l'avenir, le pôle envisage d'exploiter les possibilités offertes par ces procédés innovants pour l'élaboration d'autres types de matériaux toujours pour une application dans le domaine solaire. Au-delà du photovoltaïque, sur lequel le pôle est reconnu comme un acteur incontournable depuis de nombreuses années, le défi scientifique résidera dans la mise en œuvre de solutions permettant la croissance épitaxiée à basse température et d'étendre la gamme de matériaux accessibles.

Sur le sujet des matériaux 2D, la proposition d'améliorer encore la sensibilité et la sélectivité des capteurs pour la détection des COV en introduisant une étape de fonctionnalisation de surface et visant un changement d'échelle du procédé est pertinente.

RECOMMANDATIONS AU PÔLE

Le comité encourage le pôle à poursuivre sa démarche de diversification de ses activités sur des sujets autres que le photovoltaïque. Comme pour les matériaux III-V, les activités prometteuses sur les matériaux 2D pour la détection de gaz sont à développer.

Une concertation interne au pôle, et au niveau de l'unité, doit être mise en place quant au maintien ou non de certains sujets ne reposant que sur des personnels proches de la retraite.

Le comité incite les chercheurs et ingénieurs du pôle à développer leurs activités de recherche et d'animation à l'international, notamment en s'appuyant sur les nombreux personnels étrangers présents dans l'unité. Ils devraient utiliser cette richesse pour s'insérer dans des réseaux et mettre en place des collaborations.

La création de l'IPVF, si elle représente un avantage pour la visibilité au niveau local et national, modifie la façon dont les ressources financières sont attribuées sur la thématique du photovoltaïque. Le pôle doit veiller à

ce que cette configuration n'affecte pas de façon négative les relations/contrats avec le monde socio-économique dans ce domaine ni le financement ou la maintenance des équipements concernés.

Pôle 3 : Systems, Instruments and Device (SID)

Nom du responsable : Denis TONDELIER

THÉMATIQUES DU PÔLE

Les thématiques de ce pôle sont, comme l'intitulé le suggère, très variées. Elles concernent le développement instrumental, la maintenance et la gestion de certaines instrumentations de l'unité comme le TEM NANOMax permettant le suivi de la croissance de nanomatériaux *in situ*, la spectroscopie Raman à l'échelle nanométrique en particulier dans les liquides, la mise en fonction d'appareils électroniques hybrides et organiques comme des diodes luminescentes, l'utilisation de techniques polarimétriques optiques pour la médecine testées en bloc opératoire et de nouvelles méthodes de production et de stockage de l'énergie solaire testées sur les sites de l'École Polytechnique.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Dans le précédent rapport, ce pôle n'a pas été évalué. Il a été créé avec le projet de réorganisation de l'unité. Le but annoncé était de « regrouper l'expertise de l'unité concernant la recherche en instrumentation et en fabrication de dispositifs fonctionnels ». C'était un objectif ambitieux et porteur de possibilités de « faire émerger des projets originaux issus des discussions entre chercheurs fonctionnant précédemment en équipes indépendantes ». Or, force est de constater que cela n'a été atteint que très partiellement, probablement compte tenu du fait que la recherche en instrumentation et la fabrication de dispositifs semblent être des activités communes à l'ensemble du LPICM et donc difficiles à regrouper au sein d'un unique pôle. En effet, les publications des membres du pôle SID sont très régulièrement cosignées avec des membres des autres pôles, mais les publications sont très rarement le résultat de collaboration entre membres du pôle. Les « projets originaux issus des discussions » attendus ne semblent pas être au rendez-vous. Notons d'ailleurs que, pour ce qui concerne l'imagerie optique, l'activité reste clairement séparée en deux pôles différents.

Le comité précédent a alerté aussi sur la faiblesse du nombre de permanents faisant partie de ce pôle en constitution à l'époque. Le nombre reste toujours faible.

EFFECTIFS DU PÔLE : en personnes physiques au 31/12/2023

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	2
Maitres de conférences et assimilés	0
Directeurs de recherche et assimilés	1
Chargés de recherche et assimilés	1
Personnels d'appui à la recherche	2
Sous-total personnels permanents en activité	**6**
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	0
Personnels d'appui non permanents	0
Postdoctorants	1
Doctorants	4
Sous-total personnels non permanents en activité	**5**
Total personnels	**10**

ÉVALUATION

Appréciation générale sur le pôle

Le Pôle SID a développé durant la période considérée des activités de niveau international comme en témoigne le taux de publications d'environ 2,5 publications par an par permanent dans des revues internationales. Cependant, ce taux masque une très forte disparité entre les membres du pôle.
Les financements obtenus témoignent également du niveau international, en particulier le soutien de l'ERC pour le projet AQUARAMAN sur la spectroscopie Raman dans les liquides, de l'ANR et de l'École Polytechnique pour l'imagerie médicale par analyse de la polarisation optique ou l'EquipEX TEMPOS pour la microscopie en transmission. Malgré les projets d'envergure mis en place, la baisse très importante des ressources financières en fin de période est un point d'attention.

Points forts et possibilités liées au contexte

Les travaux réalisés en SID sont globalement d'un niveau excellent.

D'une part, dans le cadre de projets ERC Starting Grant et Proof of Concept, un équipement de pointe de spectroscopie Raman fonctionnant en milieu liquide a été développé. En collaboration avec « Politecnico di Torino » et le Collège de France, un mini-module photoélectrochimique utilisant des cellules solaires à base de pérovskites représente une nouvelle référence pour les systèmes de récupération d'énergie et de traitement de gaz, avec une efficacité énergétique de 17,6 % et une efficacité de réduction de CO_2 de 2,3 %. Ces travaux ont été récompensés par le prix John Jeyes (Prix Horizon) de la « Royal Society of Chemistry ».

D'autre part, une première mondiale liée à la fabrication de minimodules à base de cellules solaires à nanofils de silicium a été réalisée en collaboration avec l'entreprise SOLEMS. Elle ouvre la voie à une industrialisation à large échelle de ce type de composants grâce à l'association d'une fabrication des fils par PECVD basse température et d'une découpe par laser.

Le pôle affiche également le développement d'un microscope électronique en transmission NanoMAX qui intègre un traitement plasma *in situ* (unique au monde) afin de permettre la croissance de matériaux à partir de catalyseurs variés, croissance impossible par CVD classique. Ces travaux ont abouti depuis 2021 à huit publications.

Enfin, les travaux sur l'imagerie polarimétrique appliqués à la biomédecine sont de tout premier plan mondial avec la démonstration *in vivo* du suivi non invasif du col de l'utérus durant la grossesse et une étude clinique en cours avec l'hôpital universitaire Kremlin-Bicêtre impliquant déjà 450 patientes (voir également le pôle CHARM). Ces travaux ont fait l'objet de trois brevets et d'un prix en 2022 pour la meilleure thèse de l'IP Paris.

Le taux de publications de 2,5 articles/ETP/an est de très bon niveau et les journaux dans lesquels les publications apparaissent sont du meilleur niveau international *(Physical Review Letters, Nanoscale, ACS Omega, Journal of Physics D : Applied Physics, Biomedical optics express, Journal of Physical Chemistry C, Scientific Reports, Nanotechnology)*.

Le pôle a u obtenu un niveau de financement remarquable avec 7 M€ durant la période considérée, ce qui correspond à 200 k€/ETP/an. Les ressources financières proviennent majoritairement des agences de financement aussi prestigieuses que l'ERC pour le projet AQUARAMAN ou d'une levée de fonds de la fondation de l'École Polytechnique pour le projet POLARIMA et de l'équipex TEMPOS. Ces financements ont permis de mettre en place des installations qui profitent à toute l'unité et qui sont une source de rayonnement à l'extérieur aux plans national et international. Le pôle est également en grande majorité porteur des projets réalisés, ce qui montre le rôle moteur du pôle sur les thématiques scientifiques abordées.

Le personnel du pôle a encadré dans la période d'intérêt dix-neuf doctorants et doctorantes ou post doctorants et postdoctorantes. Soit environ trois doctorants ou postdoctorants par permanent qui ont pu profiter des compétences et des structures de l'unité et se former en publiant amplement. Cet indicateur est un signe clair de l'importance scientifique des travaux menés dans le cadre de ce pôle et de leur attractivité.

Points faibles et risques liés au contexte

Les sources de financement sont en forte baisse à la fin de 2023 pour les thématiques autres que l'imagerie polarimétrique. La participation à des projets européens d'envergure collaboratifs est très limitée.

Les liens avec le monde socio-économique sont également réduits, même si le pôle affiche un nouveau dispositif CIFRE signé avec LVMH en fin de période.

Le recrutement de doctorants et de postdoctorants est en baisse en fin de période.

Bien que le taux moyen de publications soit de très bon niveau, il masque une très forte disparité entre les membres du pôle.

Le taux d'encadrement de thèse du pôle est perfectible avec 0,38 doctorant/permanent/an et affiche une baisse en fin de période.

Fin 2023, l'animateur du pôle a changé et un collègue DR émérite a pris la relève. L'animation d'un pôle mériterait d'être prise en charge par un collègue dont les perspectives sont forcément à plus long terme et contribuerait par cette prise de responsabilité à consolider une demande de promotion.

L'activité d'échange scientifique à l'intérieur du pôle est très faible, chacun travaillant en solo et collaborant plus à l'extérieur du pôle qu'à l'intérieur. Le rôle de l'animateur se fait autour de la vulgarisation et de la méthodologie plus qu'autour de la science. Les critères qui définissent l'appartenance ou non à ce pôle ne sont pas clairs.

Le pôle ne comporte plus de membre permanent féminin depuis un départ en 2022. La parité est donc inexistante.

Analyse de la trajectoire du pôle

La trajectoire du pôle est pertinente. Les recherches envisagées sont dans la continuité des activités réalisées jusqu'ici.

Au plan des composants pour la récupération d'énergie, la stabilité des cellules solaires constituera la thématique phare étudiée dans le cadre de différents projets, un projet financé par l'ANR et un projet dans le cadre du PEPR TASE. Des travaux cibleront l'implémentation de nouveaux matériaux à faibles et fortes largeurs de bande pour cellules solaires dans des composants à jonctions radiales tandem. Quant à ceux correspondant à la technologie à large échelle à base de nanofils de silicium cristallin, ils seront poursuivis pour repousser les limites de production de combustible solaire. Ces choix s'inscrivent dans les problématiques d'actualité du domaine.

Les travaux sur la spectroscopie Raman à l'échelle nanométrique seront menés de façon pertinente suivant plusieurs axes. Un premier vise la synthèse de nanomatériaux avec des structures organiques métalliques poreuses en partenariat avec la DGA pour le développement de capteurs de gaz portatifs basés sur l'utilisation de SERS, tandis que le second portera sur l'exploitation des instruments SPM du pôle. Les travaux sur l'imagerie Raman seront poursuivis avec le développement de nouvelles pointes afin d'augmenter la sensibilité de détection de l'équipement.

Le microscope NanoMAX servira de façon originale à mesurer l'activité d'atomes et de radicaux divers lors de la croissance de nanofils par réduction d'oxyde par plasma d'hydrogène.

Les recherches sur l'imagerie polarimétrique pour la biomédecine, expertise incontournable de l'unité, viseront le développement de nouveaux instruments d'analyse tissulaire *in vivo* et en temps réel, en association avec une meilleure compréhension de l'interaction onde lumineuse polarisée et tissus biologiques et sa modélisation. Le portfolio de brevets sera consolidé afin d'intéresser de grands équipementiers dans le domaine de l'optique. Une collaboration avec LVMH pour l'analyse de la peau constitue une première application envisagée.

Bien qu'individuellement les membres du pôle semblent avoir maintenu une activité scientifique en général très satisfaisante, le pôle SID ne semble pas avoir trouvé pleinement sa place dans la nouvelle structuration de l'unité et rempli les objectifs fixés lors de sa création. La trajectoire future ne semble pas s'écarter de cette tendance individualiste**.**

RECOMMANDATIONS AU PÔLE

Le comité recommande de discuter les contours du pôle pour améliorer la cohérence interne. Par exemple, l'unification des activités d'imagerie par polarimétrie optique pourrait être envisagée.

Le responsable du pôle actuel étant un chercheur émérite, le comité invite à ce qu'une réflexion soit menée afin de susciter des vocations au sein des membres du pôle pour prendre cette responsabilité à court terme et renforcer par là même l'aspect promotionnel des membres du pôle.

Le comité recommande de mener des actions d'attractivité afin de susciter et proposer des candidats et candidates aux concours CR CNRS et MCF.

Le comité encourage l'unité à renforcer le recrutement de doctorants et doctorantes.

Étant donné que la baisse des ressources financières en fin de période affecte une thématique du pôle en particulier, le comité recommande à ce que toutes les activités puissent néanmoins être maintenues et soutenues. Le comité recommande de veiller à renouveler le niveau des financements en particulier par des contrats avec des entreprises et des projets européens collaboratifs d'envergure.

DÉROULEMENT DES ENTRETIENS

DATES

Début : 5 décembre 2024 à 9 h

Fin : 6 décembre 2024 à 16 h

Entretiens réalisés : en présentiel

PROGRAMME DES ENTRETIENS

5 décembre 2024

8 h 30 - 8 h 40 Présentation du HCÉRES

8 h 40 - 9 h 40 Bilan du laboratoire (30' présentation + 30' discussion)

9 h 40 - 10 h 10 Pause-café

10 h 10 - 12 h 1 0 Bilan et perspective des thématiques du laboratoire 1

10 h 10 CHARM (exposé 35 min, questions 25 min)

11h10 PROM (exposé 35 min, questions 25 min)

12 h 10 - 13 h Visites des installations expérimentales 1

13 h - 14 h Repas — Buffet — Posters (tous)

14 h - 15 h 15 visite des installations expérimentales — 2

15 h 15 - 16 h 15 Bilan et perspectives des thématiques du laboratoire 2

15 h SID (exposé 35 min, questions 25 min)

16 h 15 - 16 h 30 Pause-café

16 h 30 - 17 h Entretien avec le personnel chercheur et Enseignant-Chercheur

17 h - 17 h 30 Entretien avec le personnel d'Appui à la Recherche

17 h 30 - 18 h Entretien avec les Doctorants et Postdoctorants

18 h - 18 h 30 Premier débriefing du comité à huis clos

6 décembre 2024

9 h - 10 h 30 Présentation du projet du laboratoire (60' présentation + 30' discussion)

10 h 30 - 11 h Pause-café

11 h - 11 h 45 Entretien avec les tutelles

11 h 45 - 12 h 15 Entretien avec le DU — DU Adjt

12 h 15 - 15 h Débriefing du comité à huis clos et Repas (plateaux-repas)

OBSERVATIONS GÉNÉRALES DES TUTELLES

Objet : Observations générales par rapport au rapport d'évaluation du Laboratoire de Physique des Interfaces et des Couches Minces (LPICM) - UMR 7647

À l'attention du Comité d'Évaluation HCERES

Palaiseau, le 7 avril 2025

Madame, Monsieur,

Nous ne soumettons pas de réponse institutionnelle de type « observations de portée générale » concernant l'évaluation du Laboratoire de Physique des Interfaces et des Couches Minces (LPICM) - UMR 7647.

Au nom des tutelles de l'unité,

Bien cordialement,

Kees van der Beek
Directeur de la Recherche, Ecole polytechnique
Vice Président Recherche, Institut Polytechnique de Paris

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

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

Évaluation • Recherche • Enseignement supérieur
Hcéres

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