

RAPPORT D'ÉVALUATION DE L'UNITÉ
ESYCOM – Électronique, SYstèmes de
COmmunications et Microsystèmes

SOUS TUTELLE DES ÉTABLISSEMENTS ET
ORGANISMES :

Université Gustave Eiffel – UGE

Centre national de la recherche scientifique –
CNRS

Conservatoire national des arts et métiers –
CNAM

CAMPAGNE D'ÉVALUATION 2024-2025
VAGUE E



Au nom du comité d'experts :

Claire Migliaccio, présidente 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

Présidente :	Mme Claire Migliaccio, Université Côte d'Azur - UCA, Sophia Antipolis
	M. Skandar Basrou, Université Grenoble Alpes – UGA, Grenoble
	M. Matthieu Chatras, Université de Limoges (représentant du CNU)
Experts :	M. Laurent Le Coq, Université de Rennes 1 (personnel d'appui à la recherche)
	Mme Sylvie Renaud, Bordeaux INP, Talence (représentante du CoNRS)

REPRÉSENTANT DU HCÉRES

M. Philippe Benech

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

M. Jean-François Bercher, ESIEE Paris
Mme Maria-Pilar Bernal Artajona, CNRS
M. Thierry Horsin, CNAM Paris
M. Serge Piperno, Université Gustave Eiffel

CARACTÉRISATION DE L'UNITÉ

- Nom : Électronique, SYstèmes de COmmunications et Microsystèmes
- Acronyme : ESYCOM
- Label et numéro : UMR 9007
- Nombre de thèmes : trois thèmes
- Composition de l'équipe de direction : M. Philippe Basset (directeur), Mme Élodie Richalot (directrice adjointe)

PANELS SCIENTIFIQUES DE L'UNITÉ

ST Sciences et technologies

ST6 Sciences et technologies de l'information et de la communication – STIC

THÉMATIQUES DE L'UNITÉ

L'ESYCOM a défini un projet de recherche intitulé « Capteurs et systèmes communicants pour la ville, l'environnement et la personne. » Pour y parvenir, il s'est organisé en trois thèmes :

- systèmes de communication (SC) ;
- micro-capteurs (MC) ;
- micro-énergie (ME).

Les sujets d'étude et de recherche liés à ces trois thèmes portent sur la propagation des ondes électromagnétiques en milieux complexes, les microsystèmes d'analyse de l'environnement, les capteurs pour la santé, les interfaces avec le vivant, la récupération d'énergie ambiante, le développement et de la modélisation de composants et technologies photoniques microondes pour des solutions intégrées bas coût.

HISTORIQUE ET LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DE L'UNITÉ

Historiquement, l'ESYCOM émerge sur le site Descartes de Champs-sur-Marne en 1996 au sein d'un pôle « Électronique Hautes Fréquences » avec trois tutelles, l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée (UPEM) nouvellement créée, le CNAM et l'ESIEE. Il a connu plusieurs évolutions majeures jusqu'en 2020, date à laquelle l'ESYCOM devient UMR et où l'université Gustave Eiffel est créée.

En 2000, l'équipe « SYstèmes de COmmunications » est reconnue comme EA 2552, une structure multi-tutelles (UPEM, ESIEE, CNAM) avec des personnels de statuts différents.

En 2003, l'équipe « MEMS » de l'ESIEE rejoint ESYCOM qui devient « Électronique, SYstèmes de COmmunications et Microsystèmes ».

Au 1er janvier 2015, l'ex-équipe « nanomatériaux » du LPMDI est intégrée à l'équipe « Microcapteurs et Nanomatériaux » de l'ESYCOM et l'unité se dote du projet « Capteurs et systèmes communicants pour la ville, l'environnement et la personne ».

En 2019, ESYCOM devient une Formation de Recherche en Évolution CNRS.

En 2020, ESYCOM devient une Unité Mixte de Recherche. La salle blanche d'ESIEE-Paris intègre à cette occasion le réseau Renatech+. L'université Gustave Eiffel est créée de la fusion de l'UPEM, de l'IFSTTAR, et de ESIEE-Paris qui est une des quatre écoles membres de cet établissement.

ENVIRONNEMENT DE RECHERCHE DE L'UNITÉ

Au niveau national, les activités d'ESYCOM sont dans le périmètre de l'institut CNRS Ingénierie, de la 63^{ème} section CNU, et à l'interface des 28^{ème} et 62^{ème} sections CNU selon les sujets.

Pour ce qui concerne l'environnement doctoral, l'unité est rattachée aux écoles doctorales « Math-STIC » (ED 532) et « Sciences, Ingénierie et Environnement » (ED 531) de la Communauté d'Universités et d'Établissements « Paris-Est Sup ».

ESYCOM est impliqué dans les différents dispositifs créés par le PIA :

- membre des comités du labex « MMCD » (Modélisation et Expérimentation Multi-Échelle des Matériaux pour la Construction Durable) ;
- participation à la création de l'équipex « Sense-City » et membre de son comité de pilotage ;
- lauréat de plusieurs projets dans le cadre de l'i-Site FUTURE ;
- lauréat de l'équipex Nanofutur dans le cadre du PIA3 (réacteur diamant dédié à ses salles-blanches) ;
- lauréat de deux projets (SESAME ET RESISTE) dans le cadre du PIA4.

ESYCOM est actif dans différents clusters régionaux ou internationaux :

- DIM (Domaine d'Intérêt Majeur) de la Région Île-de-France. Projet DIM-Q2 (Qualité de l'air, Impacts sanitaires et Innovations technologiques et politiques) ;
- ESYCOM participe à Efficacity, institut de R&D basé sur le campus et dédié à la transition énergétique et écologique des villes, dans le cadre d'un projet autour d'un réseau de capteurs dédié à l'énergie pour le bâtiment ;
- ESYCOM est porteur de l'IRP « AMSTEC » (CNRS, K-NRF), dont les participants sont UGE, LIP6 et le « Center for Human-oriented Triboelectric Energy Harvesting » de l'université de Yonsei.
- ESYCOM participe à l'IRN SINERGIE (CNRS, NTU Singapour) depuis 2019.

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

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	10
Maîtres de conférences et assimilés	12
Directeurs de recherche et assimilés	0
Chargés de recherche et assimilés	1
Personnels d'appui à la recherche	8
Sous-total personnels permanents en activité	31
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	8
Personnels d'appui non permanents	2
Post-doctorants	5
Doctorants	22
Sous-total personnels non permanents en activité	37
Total personnels	68

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
UGE	19	0	8
CNAM	3	0	0
CNRS	0	1	0
Total personnels	22	1	8

AVIS GLOBAL

L'unité développe des activités du meilleur niveau international. Les activités des trois thèmes structurants de l'unité concernant les implants corticaux souples en diamant, le black silicium pour le contrôle et la conversion du rayonnement thermique, la caractérisation passive des systèmes antennaires en chambre réverbérante et la modélisation de la répartition de TAG RFID distribués aléatoirement dans un volume réduit, sont des premières mondiales.

La production scientifique de l'unité est excellente en quantité avec 2,8 RICL/ETP/an et en qualité dans les revues les plus reconnues des domaines d'activité de l'unité (PRL, Nano Letters, plusieurs journaux de l'éditeur IEEE). Toutefois le comité note une disparité dans la production scientifique entre les permanents. De plus, 16 % des doctorants ayant soutenu leur thèse au cours de la période n'ont pas de publication dans une revue internationale.

Les succès aux appels à projets compétitifs sont excellents avec l'obtention d'un projet ERC, de dix projets européens (Horizon Europe, H2020, IPCEI), de douze projets ANR dont deux portages.

La visibilité et le rayonnement de l'unité sont excellents (séjours étrangers et à l'étranger, prix, collaborations internationale, LIA, activité éditoriale, participation à l'organisation des conférences internationales, invitations sous forme de keynotes).

Les liens avec les industriels sont excellents et attestés par l'obtention du financement de huit thèses par le dispositif Cifre, de huit brevets même si il n'est pas précisé systématiquement s'ils sont exploités. La période d'évaluation a vu la création de deux start-up (IZONICS propose une technique portable et automatique pour l'analyse des microplastiques dans l'eau et ICON photonics dont l'activité concerne la mise en boîtier de fonctions pour la photonique) à partir de travaux développés en doctorat à l'ESYCOM, l'obtention de neuf contrats industriels hors prestations. Le comité souligne que certaines prestations vont au delà de ce qui est habituellement entendu puisqu'elles ont donné lieu à des développements en recherche, comme le développement d'un banc de mesure et des traitements associés pour l'extraction des valeurs de constantes diélectriques de matériaux utilisés en construction notamment.

L'organisation de l'unité et la structuration par thèmes lui ont permis de s'adapter de façon pertinente aux évolutions dans un contexte de regroupement de certaines tutelles dans le cadre de la création de l'UGE et de l'association avec le CNRS.

Les activités thématiques sont en parfait accord avec les objectifs prioritaires de l'UGE, que sont la ville, l'environnement et les systèmes communicants.

Lors des entretiens, le comité Hcéres a cependant identifié des points de vigilance :

- Les enseignants-chercheurs (EC) de l'ESYCOM effectuent un nombre d'heures complémentaires élevé tout en assumant des responsabilités de filières (Master, gestion d'années complètes de l'apprentissage à l'ESIEE, etc.), qui pèsent sur leur temps de recherche. Le comité a en particulier relevé l'effet négatif de cette surcharge sur le passage de l'HDR pour les MCF.
- Le manque de personnel d'appui à la recherche conduit trois EC à avoir des activités de gestion des plateformes, ce qui pèse également sur leur temps de recherche.
- L'unité possède une unique gestionnaire dont le poste vient d'être renouvelé après plusieurs mois de carence. Cependant, cette ressource est faible au regard du nombre, de la diversité (y compris des tutelles) et des montants des contrats à gérer.
- Il existe des tensions de charge sur la salle blanche, à la fois parce que le nombre de personnes de l'ESYCOM formées à la salle blanche diminue, mais aussi parce que l'appel aux ressources communes n'est pas systématiquement anticipé, au moment du dépôt des projets notamment.
- Bien que le nombre d'équipes soit resserré, le nombre et le spectre des thèmes abordés reste important au regard de la taille de l'unité.

ÉVALUATION DÉTAILLÉE DE L'UNITÉ

A - PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Les recommandations formulées lors de la précédente évaluation ont été prises en compte sur les trois volets de la production de l'unité, de son organisation et de ses objectifs, avec :

- La poursuite de la politique de publication aussi bien en qualité qu'en quantité et un effort dans l'encadrement doctoral puisque tous les HDR de l'unité ont encadré ou co-encadré au moins un-e doctorant-te.
- La consolidation de partenariats industriels avec Si-Ware et ST Microelectronics.
- La forte implication dans des projets européens, dont le fait le plus marquant est le portage d'un projet ERC, et des collaborations renforcées avec des partenaires académiques internationaux principalement en Europe, Asie et Afrique du Nord.
- La mise en place d'une structuration visant à fluidifier les échanges au sein de l'unité avec la création d'un comité de pilotage.
- La structuration en thèmes plutôt qu'en équipes. Le fait que tous les membres de l'ESYCOM puissent élargir à plusieurs thèmes vise à renforcer le sentiment d'appartenance à l'unité.
- L'amélioration de la visibilité des plateformes au travers de la nomination de responsables pour chacune des trois plateformes de l'ESYCOM et la création de comités de pilotage pour deux d'entre elles.
- La formation de tous utilisateurs des plateformes ainsi que celle de personnels dédiés en tant que SST (Sauveteur Secouriste au Travail) et l'habilitation électrique.
- La poursuite et la définition d'objectifs scientifiques fortement orientés par les applications et les usages, tout en conservant des développements plus théoriques ou fondamentaux dans les trois thèmes. Citons la modélisation électromagnétique, le développement de modèles électriques de récupération d'énergie triboélectrique ou encore les études sur la compréhension des mécanismes de stimulation du cerveau dans le cadre des neuroprothèses développées par les membres de l'unité.

B - DOMAINES D'ÉVALUATION

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

Appréciation sur les objectifs scientifiques de l'unité

Les objectifs scientifiques sont clairs et remarquablement intégrés, à tous les niveaux, au contexte socio-économique actuel sur les enjeux liés au changement climatique, à la santé et à la mobilité en milieu urbain. Ils s'inscrivent parfaitement dans les dynamiques de l'UGE tournées vers l'interaction entre ville, environnement et santé. Au niveau de la Région Île-de-France qui a défini des Domaines d'Intérêt prioritaires (DIM), l'unité émerge au DIM Qi2 sur l'étude de la qualité de l'air. Au niveau international, l'unité émerge au Laboratoire International LIA (Smart Energy Sensors and Infrastructures for Cities & Transport - SENSI-CT) sur les transports et la ville intelligente.

Appréciation sur les ressources de l'unité

L'unité possède des ressources propres en adéquation avec ses objectifs de recherche et conséquentes compte tenu de sa taille. Les ressources propres représentent 1M€ par an en moyenne.

Quatre plateformes techniques et plateformes viennent compléter les moyens matériels :

- Plateforme « Salle blanche microélectronique et microsystèmes » (650 m²) intégrée au réseau national Renatech+ ;
- Plateforme « Rayonnement et propagation » (254 m²), bâtiment Copernic ;
- Plateforme « Nanomatériaux et optofluidique » (120 m²), bâtiment Lavoisier ;
- Plateforme « Optique-microondes, caractérisation matériaux et microsystèmes, communications numériques ».

Cependant, les moyens humains en termes de personnels d'appui à la recherche ne sont pas en adéquation avec la diversité des thématiques, le montant des contrats à gérer (l'ESYCOM n'a qu'une gestionnaire) et le fait d'avoir plusieurs tutelles qui ont des outils de gestion différents (UGE et CNRS). Le même constat est fait sur la gestion des plateformes puisque trois EC en sont responsables par manque de personnel d'appui à la recherche.

Appréciation sur le fonctionnement de l'unité

L'unité fonctionne conformément à ce qui est attendu d'une UMR CNRS. La gouvernance s'appuie sur un comité de pilotage complété par le conseil de laboratoire qui se réunit deux fois par trimestre. L'unité a bien géré les difficultés liées à son positionnement multi-sites.

Si une formation à l'utilisation des équipements est prodiguée pour les utilisateurs des ressources technologiques, une formation généraliste à l'hygiène et la sécurité n'est pas proposée à tous les nouveaux entrants.

Au cours de l'évaluation, l'animation scientifique pour les doctorants n'était pas concrétisée par l'organisation de journées d'animation non scientifiques dans le but d'augmenter la cohésion entre les doctorants. La visite a cependant permis de préciser que ces dernières auront lieu pour la première fois en 2025.

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

Points forts et possibilités liées au contexte

L'unité développe des activités du meilleur niveau international. Les activités des trois thèmes structurants concernant les implants corticaux souples en diamant, le black silicium pour le contrôle et la conversion du rayonnement thermique, la caractérisation passive des systèmes antennaires en chambre réverbérante et la modélisation de la répartition de TAG RFID distribués aléatoirement dans un volume réduit, sont des premières mondiales. Ces premières mondiales concernent plus précisément :

- la caractérisation de structures rayonnantes sous l'effet d'environnements complexes. ESYCOM a développé des méthodes originales pour les mesures d'antennes miniatures en chambre réverbérante et la caractérisation des effets des couplages des tags RFID en environnement dense ;
- la mise au point de structures intégrées innovantes telles les photodétecteurs miniatures et les liaisons RoF pour la 5G et au-delà ;
- les capteurs biologiques. ESYCOM a démontré l'apport d'une cellule microfluidique pour l'extraction des permittivités diélectriques sur de petits échantillons de liquides compatibles avec la sélection de cellules biologiques. ESYCOM est pionnier dans les implants neuronaux à base de fil en diamant pour la réhabilitation fonctionnelle ;
- l'analyse des polluants : de l'eau tout d'abord avec l'apport de la microfluidique pour l'accélération du processus de dépollution de l'eau grâce à la co-intégration de nano-fils de ZnO sur puce, de l'air ensuite avec la fabrication de micro-instruments via un projet de maturation et un transfert industriel prévu en fin de projet ;
- la réalisation et la modélisation des systèmes et circuits allant des transducteurs triboélectriques aux rectennas grâce notamment à l'optimisation des formes d'ondes ;
- la connaissance des propriétés fondamentales, de l'élaboration et de la modélisation de nouveaux matériaux comme le « Black Silicon » ou les méta-mousses.

Les points forts liés à sa structuration sont nombreux :

- Un positionnement original très bien documenté par rapport à la concurrence académique et cohérent au regard des compétences de l'ESYCOM ;
- La cohérence des objectifs vis-à-vis des orientations scientifiques du site Paris-est de l'UGE sur l'interaction entre ville, environnement et santé, et qui s'est traduit par la participation active à un labex (MMCD, Modélisation et Expérimentation Multi-échelle des Matériaux pour la Construction Durable), deux équipex (Sense-City et l'AMI Equipex NANOFUTUR), et l'obtention de nombreux projets dans le cadre du PIA ;
- Un ancrage régional solide avec la participation au DIM Qi2 et l'obtention d'une chaire Blaise Pascal ;
- Une très bonne visibilité internationale attestée par de nombreuses collaborations (Politecnico di Milano, université du Minnesota, Hong-Kong Polytechnic University, université de Bologne, Iran University of Science and Technology, Queen's University of Belfast, l'université Catholique de Louvain, Taipei Medical University, univ. des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf), la participation au Laboratoire International Associé « SenSI-CT » et le portage de l'IPR « AMSTEC » (UGE, CNRS, LIP6). De plus, ESYCOM participe à l'IRN « SINERGIE » (CNRS, NTU Singapour) depuis 2019, où un de ses membres représente l'UGE au comité de pilotage depuis 2020.

Points faibles et risques liés au contexte

Le comité identifie un risque qui est une conséquence du dynamisme de l'unité dans les différents appels à projets locaux liés au PIA et à la création l'université Gustave Eiffel. En effet, la multiplication des réussites aux différents appels crée le risque de dispersion scientifique. Si le nombre de thèmes est réduit, le champ

thématique couvert par chaque thème est très vaste et le nombre de sous-thèmes est élevé pour les trois thèmes.

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

Points forts et possibilités liées au contexte

L'arrivée du CNRS comme tutelle en 2020 a permis à l'unité d'accueillir un premier CR.

De manière générale, l'attractivité de l'unité est traduite par les recrutements de cinq enseignants-chercheurs et deux PAR, plus un en cours de titularisation, mais aussi par le solde positif arrivées/départs dans la mesure où la majorité des départs correspond à des fins de contrat de post-doctorants, ATER ou ingénieurs de recherche contractuel. En effet, le fichier de données de caractérisation fait apparaître 78 personnes toutes catégories confondues pendant la période. Le nombre total d'arrivées au cours de la période est de 38 parmi lesquelles dix-neuf sont partis au cours de la période alors que le nombre total de départ est de 34.

Grâce à l'engagement de ses personnels dans les filières universitaires, l'unité parvient à maintenir son niveau de recrutement de doctorants et post-doctorants, malgré le contexte économique favorable aux embauches aux niveaux master et doctorat pendant la période.

La capacité d'ESYCOM à financer sa recherche en dehors des dotations récurrentes est excellente. L'unité a su diversifier ses sources de financements dont 18 % provenant de financements européens, 33 % pour ceux nationaux (ANR), 17 % provenant de contrats industriels, le reste provenant de financements régionaux et de l'UGE.

Une expérimentation a été menée deux années consécutives pour prélever un pourcentage sur les contrats afin de mutualiser des moyens financiers comme levier de ressourcement scientifique.

L'unité a pu mobiliser ses ressources financières afin de réaliser un investissement remarquable de près de 2 M€ pour ses plateformes (dont 40 % pour les salles blanches).

Points faibles et risques liés au contexte

Les montants financiers nécessaires à la maintenance au sens large des plateformes, et qui incluent le remplacement des appareils obsolètes, ne sont pas sanctuarisés et augmentent compte tenu du nombre croissant d'équipements.

Au cours de la période l'unité a connu trois départs prématurés de PAR. Deux recrutements de remplacement ne sont pas finalisés à la fin de la période évaluée.

Même si l'unité a maintenu son nombre de doctorants au cours de la période, des difficultés persistent concernant le recrutement des doctorants ou post-doctorants de très haut niveau (comme indiqué dans l'analyse SWOT p. 52 du DAE), malgré un contexte socio-économique favorable et le portage par ESYCOM d'un des quatre Graduate Programs du projet SFRI.

L'engagement des membres de l'unité dans les filières d'enseignement par les responsabilités administratives, le nombre d'heures complémentaires (Master, gestion d'années complètes de l'apprentissage à l'ESIEE, etc.), limite leur temps de recherche. Le comité a, en particulier, relevé l'implication de cette surcharge sur le passage de la HDR.

Le manque de personnel d'appui à la recherche conduit les EC à avoir des activités de gestion des plateformes.

Il existe des tensions de charge sur la salle blanche, à la fois parce que le nombre de personnes de l'unité formées à la salle blanche diminue, mais aussi parce que l'appel aux ressources communes n'est pas systématiquement anticipé, au moment du dépôt des projets notamment.

Le prélèvement sur contrat pour financer du ressourcement n'a pas donné des résultats concluants et l'expérience a été arrêtée en 2023. La Direction ne souhaite cependant pas abandonner cette idée et réfléchit à la suite à y donner.

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

ESYCOM fonctionne avec un conseil de laboratoire complété par un comité de pilotage composé de l'équipe de direction et de deux membres de l'unité. Le comité de pilotage agit en amont des conseils de laboratoire. Cette structuration a pour but d'assurer une meilleure préparation des conseils, la fluidité des échanges, et la prise de décisions rapides.

Les efforts de l'unité concernant la structuration, des plateformes, de la formation à la recherche et de la mise aux normes en matière d'hygiène et sécurité sont à souligner :

- chaque plateforme a un responsable et/ou un comité de pilotage bien identifié des utilisateurs ;
- la présence de personnel formé SST (Sauveteur Secouriste au Travail) est effective sur toutes les plateformes (PF), et l'habilitation électrique pour la plateforme rayonnement et propagation a été mise en place ;
- l'unité a deux Assistants de Prévention identifiés, émargeant sur deux PF différentes et relevant de deux BAP différentes (B et C) permettant ainsi de couvrir une grande partie du spectre scientifique ;
- la formation de tous les utilisateurs des moyens expérimentaux aux bonnes pratiques et à l'utilisation des appareils est obligatoire ;
- la formation à l'éthique de la recherche à l'attention des doctorants au travers des cours dispensés au niveau des écoles doctorales est suivie par l'unité ;
- un poste de référente parité et d'encouragement au suivi des formations de l'UGE sur le sujet a été créé.

Bien qu'ESYCOM soit hébergé sur plusieurs sites distants, cet aspect n'apparaît jamais comme déterminant dans la conduite des recherches, ce qui mérite d'être souligné et montre la réussite de l'unité à créer un sentiment d'appartenance.

Points faibles et risques liés au contexte

Les modalités opérationnelles de gouvernance manquent parfois de précision par rapport aux directives données aux UMR. Si le conseil de laboratoire respecte bien les consignes en termes de membres nommés et élus, sa composition par collègue n'est pas fournie.

En dehors de la gestion d'une plateforme, le rôle des PAR dans l'émergence de propositions pour la gouvernance de l'unité et des équipements n'est pas étayé dans le document, alors même que leur rôle est essentiel.

La référente Égalité n'a pas de rôle moteur, mais essentiellement un rôle de relais vers la cellule dédiée d'UGE. Les entretiens ont permis de préciser que cette mission est très récente et a vocation à se développer.

La structuration des moyens issue de l'historique de la création d'ESYCOM par rapport à l'ESIEE rend difficile la compréhension de la gestion de la salle blanche ou de certains contrats de recherche. Le degré de liberté d'ESYCOM vis-à-vis de certains moyens/équipements, est réduit.

Si une formation à l'utilisation des équipements est prodiguée pour les utilisateurs des ressources technologiques, une formation généraliste à l'hygiène et la sécurité n'est pas proposée à tous les nouveaux entrants.

Il n'existe pas de journées scientifiques pour les doctorants.

DOMAINE 2 : ATTRACTIVITÉ

Appréciation sur l'attractivité de l'unité

Le rayonnement et l'attractivité de l'unité sont remarquables compte tenu de sa taille. Les faits marquants au cours de la période sont l'obtention d'un projet ERC, de deux projets IPCEI, de dix-sept prix, de dix-sept mois d'invitation à l'international et de 33 mois de mobilité entrante, attestées par des publications communes.

L'unité possède en outre une excellente visibilité sur les appels à projets compétitifs avec un bilan annuel d'environ 1 M€ de ressources propres.

L'unité est également remarquablement active dans la participation à cinq comités éditoriaux et deux éditeurs invités, de revues internationales des groupes Nature publishing, Springer, Wiley et Elsevier. L'attractivité de l'unité sur le plan international se reflète également dans les 46 articles (soit près d'un quart de la production) réalisés dans le cadre de collaborations.

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

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

Le rayonnement est attesté par dix-sept prix nationaux et internationaux au cours de la période (p. ex. VAJRA Faculty Award par l'Indian Science and Engineering Research Board, Outstanding Paper Award de la revue « Microsystems and Nanoengineering »), de nombreuses collaborations internationales et mobilités sortantes et entrantes hors Europe, principalement en Amérique du Nord, Asie et Afrique du Nord, avec les universités de Tokyo, Cintra Singapore, Univ. Bogor (Indonésie), Ottawa, Cochin University of Science And Technology, Inde, l'université Abdelmalek Essâadi (Maroc) et l'université de Carthage (Tunisie).

Le rayonnement se traduit également au travers des invitations pour :

- exposer les travaux de l'unité par le biais de 45 présentations sollicitées dans le cadre de conférences nationales et internationales (p. ex. IEDM'20 San Francisco, MRS Boston fall meeting 2023, EuMW 2022 Milan) ;
- la participation aux comités de programmes et/ou d'organisation de trente conférences, workshops, écoles thématiques internationaux (p. ex. IEEE NEMS, Transducers, EuMW) ;
- pour des expertises nationales (ANR, Cifre, COST) ou internationales (p. ex. H2020, fonds étrangers en Suisse, Chili, Corée du Sud).

Sur le plan européen, l'attractivité se manifeste plus particulièrement par une présence continue de financements, avec plusieurs portages de projets très compétitifs (1 projet ERC, 2 projets Horizon Europe, 5 projets H2020 et 2 projets IPCEI), des thèses en cotutelle et le laboratoire commun avec le Politecnico du Milano. Notons que si le portage de projets européens concerne plus spécifiquement les thèmes micro-capteurs et micro-énergie, le thème systèmes de communication est très présent dans les réseaux européens avec la coordination pour la France du COST EulMWP (European Network for the High Performance Integrated Microwave Photonics).

Outre l'obtention de projets européens compétitifs, ESYCOM est lauréate avec le rôle de porteur d'appels nationaux tels qu'un projet ANR JCJC et la Chaire Blaise Pascal de la fondation ENS pour étudier la récupération de l'eau de rosée en milieu urbain.

L'unité est également reconnue et sollicitée pour la qualité de ses équipements et compétences techniques. La filière Diamant, la participation d'ESYCOM à deux gros équipements de l'UGE (salle blanche de 650 m² du réseau Renatech+ et la plateforme expérimentale à échelle 1:1 SENSE-City) et les différents appels remportés au cours de la période, constituent un point fort de l'unité, mais la reconnaissance des compétences techniques est également attestée par les seize contrats de prestations, majoritairement en relation avec le thème systèmes de communication. Notons que la salle blanche émerge aussi dans ce volet mais les prestations sont gérées directement par l'ESIEE et n'entrent donc pas dans le bilan de l'unité.

L'unité augmente aussi son attractivité en créant des conditions propices aux échanges scientifiques au niveau doctoral en garantissant la participation à au moins une conférence internationale pour chaque doctorant·e. Cette attractivité peut aussi s'expliquer par le fait que l'unité a veillé à ce que chaque HDR·HDRé dirige ou co-dirige un ou une doctorant·e au cours de la période d'évaluation.

La création d'une nouvelle plateforme réunissant les équipements spécifiques au thème 3 au sein d'un espace dédié est indubitablement un projet fort de structuration des activités expérimentales. Un tel espace, dimensionné pour répondre aux besoins des activités technologiques, intégrant les éléments d'hygiène et sécurité nécessaires, et séparant les espaces process des bureaux, doit permettre d'optimiser les ressources matérielles, voire humaines.

Les chercheurs et enseignants-chercheurs de l'unité prennent une part active aux comités éditoriaux des revues internationales de leur domaine : American Journal of Optics and Photonics, Radioengineering, Editeur dans Light: Science & Applications, Nature Publishing Group (NPG), Éditeur dans Microsystems and Nanoengineering, Nature Publishing Group (NPG), Éditeur dans Advanced Devices And Instrumentation, Science Partner Journal, Engineering of Micro/Nano Biosystems: Fundamentals and Applications, Éditeur de special issues dans EcoMat (Wiley) et NanoEnergy (Elsevier).

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

Le maintien des effectifs et la difficulté de recrutement ont été soulignés dans le document d'auto-évaluation au niveau doctoral et post-doctoral mais il apparaît que l'unité a également connu trois départs de titulaires, dont la démission de deux PAR et la nomination d'un maître de conférences sur une chaire de Professeur Junior.

En lien avec le point précédent, les départs à la retraite non remplacés dans le sous-thème architecture faible consommation, conduisent à sa disparition.

Le taux d'abandon et la durée des thèses sont à surveiller. Le tableau de données de caractérisation fait apparaître six abandons au cours de la période pour 49 thèses soutenues, soit un taux d'abandon de 12,2 %, un peu supérieur à la moyenne nationale dans les domaines concernés. Ce dernier est ramené à 7,7 % si l'on compte les thèses en cours, ce qui reste toujours légèrement supérieur aux moyennes nationales. Une analyse plus fine permet de remarquer que deux abandons correspondent probablement à des abandons prématurés (car les thèses ont été commencées au cours de la période), mais quatre ont commencé antérieurement à la période d'évaluation et correspondent donc à des abandons tardifs. Ces abandons tardifs sont un point de vigilance qu'il faudra traiter.

De même, la durée des thèses est de 44,6 mois avec un écart type très significatif de treize mois. 32 thèses ont été soutenues entre 36 et 48 mois, sept entre 48 et 60 mois (qui peuvent s'expliquer par la période COVID qui a eu un impact sur la durée des thèses au niveau national) mais on dénombre cinq thèses de plus de 60 mois, dont une qui a duré 100 mois. Ces chiffres n'ont pas été analysés dans le document mais les entretiens ont permis de clarifier la situation sur les thèses longues dont trois sont liées à des maternités.

En relation directe avec le point précédent, les personnels d'ESYCOM sont très investis dans les tâches administratives et exercent de nombreuses responsabilités qui peuvent nuire à la disponibilité pour l'encadrement doctoral, en particulier au moment de la rédaction du manuscrit.

La pérennité des plateformes, dont la maintenance et l'évolution compétitive nécessite la recherche constante de financements, est un point de vigilance.

Si l'ouverture des plateformes technologiques aux partenaires industriels présente des intérêts économiques, elle constitue aussi un point de faiblesse sur la sécurisation voire la confidentialité des activités de recherche. Un même espace partagé par des acteurs différents est potentiellement un risque pour assurer le respect des éléments de propriété intellectuelle.

Le recours important au levier financier que constitue la prestation, dans un contexte de mise en tension des ressources humaines, est un facteur de risque sur le déroulement des activités de recherche et sur la suractivité des personnels.

L'espace immobilier pour héberger la nouvelle plateforme est identifié au sein de l'ESIEE Paris, mais une incertitude demeure quant à la planification des travaux nécessaires pour réhabiliter et adapter ces locaux. Les phases d'investissements en équipements recherche doivent donc se décorrélérer de cet agenda immobilier. Ce manque de visibilité est un facteur de risque pour l'efficacité et la cohérence de ces acquisitions. De plus, le manque de PAR spécifiquement dédiés à cette plateforme, est un point de faiblesse quant au suivi transversal et à l'exploitation des ressources technologiques.

DOMAINE 3 : PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Appréciation sur la production scientifique de l'unité

La production scientifique de l'unité est excellente en quantité avec 2,8 RICL/ETP/an et en qualité attestée par 193 articles publiés dans les meilleures revues du domaine, avec un bilan bien équilibré sur les trois thèmes. Deux publications ont été distinguées par les éditeurs : un outstanding paper award dans Springer Nature et un Most Download paper dans la revue Lasers and Photonics Reviews.

- 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'unité poursuit sa politique d'excellence sur le volet de la production scientifique.

Le bilan quantitatif est remarquable avec 193 (76 en SC, 69 en MC et 48 en ME) soit 2,8 articles/EPT/an parus dans des revues internationales à comité de lecture. À la quantité s'ajoute la qualité, puisque la majorité des articles est parue dans les meilleures revues du domaine (p. ex. PRL, Nano Letters, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Sensors and Actuators A: Physical, Journal of Microelectromechanical Systems). La publication [hal-01721133] a d'ailleurs été distinguée « outstanding paper award » de Springer-Nature.

Les chercheurs de l'unité respectent des règles de déontologie puisque les personnels d'appui à la recherche sont systématiquement associés aux publications s'ils prennent part aux travaux.

46 % des publications scientifiques sont faites avec les doctorants (91 revues concernent les doctorants sur 196). Une analyse plus fine par thème montre une représentation assez équilibrée de la production scientifique avec respectivement 39 %, 35 % et 26 % de la production pour les équipes SC, MC et ME dont la répartition des personnels est la suivante : SC : 35 %, MC : 28 % et ME : 27 % en fin de période.

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

L'absence de politique de l'unité concernant la science ouverte est un point de vigilance.

La politique de publication votée en conseil de laboratoire recommandant de ne pas publier d'articles dans les revues de l'éditeur MDPI, et qui sera appliquée pour la prochaine période, est drastique et pourrait conduire à diminuer la visibilité de l'unité alors même que certaines revues de cet éditeur prennent de l'ampleur.

DOMAINE 4 : INSCRIPTION DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE DANS LA SOCIÉTÉ

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

ESYCOM possède un dynamisme exceptionnel en matière d'inscription de ses activités dans la société. Cela se matérialise par 35 contrats industriels, la création de deux start-up (IZONICS propose une technique portable et automatique pour l'analyse des microplastiques dans l'eau et ICON photonics dont l'activité concerne la mise en boîtier de fonctions pour la photonique) et neuf brevets déposés. ESYCOM est également moteur dans la transmission des savoirs dès le lycée et même le collège.

- 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

Les interactions de l'unité avec le monde socio-économique sont exceptionnelles tant par la qualité que par la quantité compte-tenue de la taille de l'unité.

D'un point de vue quantitatif, les montants cumulés des ressources liés à 35 contrats industriels (p. ex. TOTAL, SPIE Batignolles, BS) ou des prestations s'élèvent à 1,1M€ au cours de la période, et représentent de 10 % à 25 % des ressources propres selon les années. Un autre point positif est que toutes les équipes contribuent de manière continue à alimenter ces ressources, même si les équipes systèmes de communications et micro-capteurs sont les principales contributrices.

L'unité a accueilli huit doctorants financés par le dispositif Cifre et trois financés directement par l'entreprise Si-Ware Systems avec laquelle l'ESYCOM a tissé un partenariat solide et pérenne.

Neuf brevets ont été déposés au cours de la période, majoritairement portés par le thème micro-capteurs.

L'unité a établi trois partenariats suivis et remarquablement équilibrés en termes d'implication des thèmes avec Si-Ware Systems depuis 2007 (thèmes impliqués : Micro-capteurs et Micro-énergie), avec Corso Magenta pour la caractérisation électromagnétique de peintures (thème impliqué : Système de communication), avec ST Microelectronics (thèmes impliqués : Systèmes de communication et Micro-énergie).

L'unité est également très dynamique sur le volet de l'innovation en lien avec les micro-entreprises innovantes, puisque l'unité est à l'origine de la création des start-up ICON Photonics (en 2018) et IZONICS (en 2021).

En outre, l'unité, grâce au thème Micro-Energie, a défini un axe commun pour ses partenariats industriels autour du développement durable et plus particulièrement de la décarbonation des usages énergétiques et de l'accès à l'eau propre.

De manière plus classique, ESYCOM participe à la fête de la science, mais se distingue par son investissement à destination des publics de lycéens et collégiens, notamment dans le cadre de l'I-SITE FUTURE. Cela s'illustre par la création d'un club radioamateur (F4KKX) autorisé par l'ANFR (création d'un kit d'initiation à la radio) ou la participation à « Paroles de chercheurs et chercheuses » destinée aux lycéens (programme de la région Ile de France ayant pour objectif de faire découvrir les métiers de la recherche). Une conférence à l'Université à Tout Age sur la « Dépollution de l'air et de l'eau » (2021) et plusieurs auprès de lycéens de 1^{ère} scientifique sur les thématiques : « La nanotechnologie au service de l'environnement » et « Les nanomatériaux dans la Vie Quotidienne » ont été données. Les membres de l'unité participent au projet de médiation scientifique de l'UGE destiné aux collégiens du département de Seine-et-Marne (exposition itinérante présentée dans les collèges de Seine-et-Marne sur la thématique des « villes et territoires de demain »).

ESYCOM a également trouvé un moyen original de sensibiliser le public au sujet difficile qu'est l'électromagnétisme par le biais du club radioamateur F4KKX.

Le recours aux plateformes et plateaux techniques par le monde socio-économique, incluant aussi les start-up, est un point fort.

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

Aucune réflexion n'a été menée sur la portée et l'acceptation des changements liés par exemple aux usages des implants médicaux ou de la ville connectée.

La disponibilité au cours de la période d'un EC de l'unité pour se consacrer entièrement à la start-up ICON Photonics qu'il a créée fait peser un risque de perte de compétences.

ANALYSE DE LA TRAJECTOIRE DE L'UNITÉ

La trajectoire de l'unité pour les années à venir s'inscrit dans la continuité du projet actuel intitulé « Capteurs et systèmes communicants pour la ville, l'environnement et la personne ». La structuration de l'unité se maintient autour des trois thèmes du quinquennal écoulé, « Systèmes de communications », « Micro-capteurs » et « Micro-Energie » et des plateformes technologiques existantes soit en gestion totale, soit co-gérées comme la salle blanche. Le nombre et le périmètre des sous-thèmes évolue avec la disparition du sous-thème « architecture faible consommation » et la migration d'une partie des activités liées à l'électromagnétisme vers le thème micro-énergie. ESYCOM se propose de relever les défis scientifiques relevant de l'analyse des polluants aussi bien en milieu urbain que naturel, du développement de capteurs pour la santé avec à la fois la poursuite des travaux sur les implants en diamant, mais aussi sur l'imagerie diélectrique avec l'exploration de nouvelles gammes de fréquences sub-hertziennes et Terahertz, de la modélisation des liens RF en milieu urbain pour les télécommunications (extension de la caractérisation passives d'antennes aux cas des antennes enfouies ou couplées en champ très proche, ainsi que l'amélioration des modèles de propagation en environnement réaliste à pertes ou incertains) et de l'élaboration de dispositifs visant à les améliorer (circuits intégrés photoniques comme les lasers hybrides III-V sur plateforme Silicium), de l'approfondissement des travaux sur le contrôle, le conditionnement et la modélisation des récupérateurs d'énergie mécanique, de la conversion thermo-photovoltaïque et les sources infrarouges pour la spectroscopie IR à partir de métamatériaux (incluant le développement d'outils de modélisation électromagnétique), ainsi que le développement de méthodes de caractérisation optiques.

ESYCOM affiche son ambition de devenir une unité de référence au niveau national, mais aussi international, dans ces domaines.

Les excellents résultats scientifiques, attestés par le taux de succès aux appels à projets et le taux de publication au cours de la période écoulée, positionnent déjà le laboratoire comme un leader national sur le thème de « Capteurs et systèmes communicants pour la ville, l'environnement et la personne ».

Pour atteindre l'objectif international, ESYCOM bénéficie d'opportunités scientifiques et structurelles. Sur le plan scientifique, le projet est en parfaite cohérence avec les orientations de l'UGE et l'unité peut s'appuyer sur un environnement local très favorable avec l'obtention par l'UGE de deux projets France 2030. Le premier, Sci-Ty, est co-piloté par l'UGE et vise à transformer l'économie à l'horizon de la neutralité carbone, en développant des produits et services innovants pour la ville durable et la mobilité. Le second, SEville dont l'UGE est un des sept membres fondateurs, concerne la Santé, l'Environnement et Ville, et a vocation à accélérer les transferts de technologies et d'entrepreneuriats, sur le site de Paris-Est par le flux de projets d'innovation émanant des laboratoires de recherche sur ces sujets. Le projet d'ESYCOM est soutenu par ses tutelles comme l'ont montré les entretiens avec la gouvernance de l'UGE et le CNRS.

Sur le plan structurel, une des difficultés relatives à la gestion des projets dans un cadre multi-tutelles va se résoudre par la finalisation de l'intégration des différentes tutelles au sein de l'UGE, induisant une fusion des services centraux d'appuis à la recherche. Cette simplification administrative souhaitée par l'unité, devrait ainsi induire une diminution de la pression sur le personnel en charge de la gestion administratif et financière.

D'autre part, ESYCOM s'est doté d'une structure de gouvernance solide qui sera maintenue pour la prochaine période.

Un point de vigilance concerne toutefois le spectre scientifique très large du projet au regard des moyens humains et des charges assumées par ailleurs par les personnels d'ESYCOM.

RECOMMANDATIONS À L'UNITÉ

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

Le comité recommande à l'unité d'afficher clairement sa politique de recrutement à tous les niveaux (C ; EC ; doctorat et post-doctorat). Cela pourrait faciliter les recrutements de haut niveau pour les doctorants et post-doctorants, point de vigilance mentionné dans le document d'auto-évaluation.

Compte-tenu de la faible représentation des femmes dans les disciplines relevant des sections 63, 28 et 62, il pourrait être intéressant de se positionner sur les questions de parité en concertation avec la référente égalité.

Le comité recommande d'associer davantage les PAR et les doctorants·tes à la gouvernance.

Lors de la journée des nouveaux entrants, le comité encourage l'unité à prodiguer une formation généraliste à l'hygiène et la sécurité, soit en sollicitant un intervenant issu de l'unité ou des tutelles, soit par le biais de formation en ligne.

La volonté de créer une plateforme expérimentale réunissant les équipements spécifiques au thème 3, non intégrés aux plateformes existantes, est pertinente mais sa réalisation risque d'être impactée par les ressources humaines disponibles (PAR) et la planification de la mise à disposition des locaux. Une réflexion à l'échelle de l'unité est nécessaire, avec une attention particulière sur l'intégration de ce projet dans les réflexions en cours au niveau des tutelles sur la politique de développement et d'exploitation des ressources technologiques.

Recommandations concernant le domaine 2 : Attractivité

L'attractivité de l'unité est très bonne et le comité ne peut qu'encourager ESYCOM à poursuivre sa politique en matière de contrats sélectifs au niveau national et européen, de partenariats internationaux et d'accueil des doctorants.

Le comité recommande d'avoir une réflexion au niveau de l'unité afin de diminuer la durée des thèses.

L'incertitude sur le maintien des capacités des plateaux techniques et plateformes fait peser un risque sur l'attractivité. Compte tenu des montants considérables des ressources propres, et plus particulièrement des contrats industriels dont l'utilisation des fonds est en général plus libre, il pourrait être intéressant d'avoir une réflexion sur la sécurisation d'un budget consacré à la maintenance.

La mise en place d'une tarification au niveau de chaque plateforme pourrait être un outil intéressant pour la mise en place d'un budget dédié à la maintenance.

Une réflexion doit être menée au niveau de l'unité, en lien avec les tutelles, pour définir un modèle économique en adéquation avec les ressources humaines actuelles et les objectifs scientifiques portés par les thèmes de recherche.

Recommandations concernant le domaine 3 : Production scientifique

Le comité recommande à l'unité de poursuivre sa progression concernant l'établissement d'une politique en lien avec la science ouverte.

La politique de publication en revue votée en conseil de laboratoire, mise en place dès 2024, bannit les revues prédatrices, ce qui est louable, mais devra être appliquée avec discernement. L'unité a exclu en bloc l'éditeur MDPI dont certaines publications comme « Sensors » ou « Remote Sensing » sont pourtant adhérentes au réseau COPE sur l'éthique de la publication (<https://publicationethics.org/>).

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

Le comité recommande de développer un partenariat avec des acteurs des sciences humaines afin d'embrasser les aspects sociétaux dans leur totalité concernant les travaux de l'unité.

L'unité doit maintenir sa vigilance sur la sécurisation de ses activités de recherche (confidentialité ; respect de la propriété intellectuelle), lors de la rédaction des conventions d'utilisation, dans les pratiques de protection des résultats, et dans les procédures d'accès aux équipements.

ÉVALUATION PAR THÈME

Thème 1 : Systèmes de communications

Nom du responsable : Mme Anne-Laure Billabert

THÉMATIQUES DU THÈME

Le thème « Systèmes de communication » s'organise en trois sous-thèmes principaux et complémentaires : la propagation et les dispositifs microondes, les dispositifs photoniques/microondes et les architectures faible consommation et traitements associés. Les activités du sous-thème propagation et les dispositifs microondes se déclinent en deux axes, « caractérisation passive de systèmes antennaires en chambre réverbérante » et « Dispositifs RF et propagation en environnement complexe ».

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Lors du précédent rapport, les recommandations suivantes avaient été émises :

- L'orientation vers des travaux sur les systèmes avec de forts potentiels applicatifs ne doit pas éclipser les recherches plus fondamentales dans les domaines d'excellence de l'unité ;
- L'analyse critique fine du positionnement de l'unité et des principaux verrous scientifiques adressés doit être poursuivie et amplifiée pour alimenter le ressourcement scientifique dans les années à venir.

Le thème « Systèmes de communication » s'est attaché à maintenir une recherche amont. Des études sont également menées sur des verrous scientifiques identifiés. Plusieurs exemples concrets sont proposés pour appuyer cette prise en compte :

- Des modèles analytiques, issus des intégrales de Sommerfeld, sont étudiés pour permettre, à terme, de remplacer les modèles utilisés actuellement dans les réseaux de capteurs avec une plus grande précision tout en restant économes en termes de ressources informatiques ;
- L'écart entre le fonctionnement réel d'une chambre réverbérante et le fonctionnement idéalement attendu est étudié, ce qui permet de proposer des améliorations dans la procédure de mesure ;
- Modélisation physique de lasers à cascade quantique dans le moyen infrarouge pour évaluer leur performance en présence de matériaux absorbants saturables (graphène) ;
- Recherche de nouvelles formulations de matériaux (pérovskite) pour améliorer leurs performances optoélectroniques.

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

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	6
Maîtres de conférences et assimilés	5
Directeurs de recherche et assimilés	0
Chargés de recherche et assimilés	1
Personnels d'appui à la recherche	1
Sous-total personnels permanents en activité	13
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	6
Personnels d'appui non permanents	1
Post-doctorants	1
Doctorants	12
Sous-total personnels non permanents en activité	20
Total personnels	33

ÉVALUATION

Appréciation générale sur le thème

Les travaux du thème systèmes de communication sont de niveau international et se positionnent à un très bon niveau mondial pour les activités sur la modélisation de la répartition de Tags RFID distribués aléatoirement dans un volume réduit et la caractérisation passive de systèmes antennaires en chambre réverbérante.

La production scientifique (76 RICL) est excellente avec 3,3 RICL/ETP/an dont 35 dans des revues de l'éditeur IEEE.

La visibilité du thème est exceptionnelle comme l'attestent la création du LIA « SEnSI-CT » (Smart Energy Sensors and Infrastructures for Cities & Transport) entre l'UGE et le Politecnico di Milano, trois collaborations internationales majeures et les prix attribués à quatre doctorants et à deux EC.

Le nombre de projets compétitifs est très bon avec neuf projets remportés (1 IPCEI, 1 H2020, 1 ANR, 2 DGA, 2 FUI).

L'implication dans les activités de valorisation est exceptionnelle, avec notamment la création de la start-up Icon Photonics par des personnels de l'unité et six financements de thèses par le dispositif Cifre.

Points forts et possibilités liées au contexte

Ce thème a été le premier au niveau international à montrer la possibilité de mesurer le diagramme de rayonnement d'une antenne sans contact en chambre réverbérante via la mesure de sa surface équivalente radar (SER).

Le comité cite également au niveau européen un projet DGA/DSL sur le Radar MIMO avec la Queen's University of Belfast et l'université Catholique de Louvain sur les aspects modélisations d'antennes couplées et propagation radio aux interfaces.

La visibilité du thème « Systèmes de communication » est exceptionnelle. Ses membres ont su nouer de nombreuses collaborations internationales avec notamment la création d'un Laboratoire International Associé (LIA) « Smart Energy Sensors and Infrastructures for Cities & Transport » (SEnSI-CT) entre l'UGE et le Politecnico di Milano en 2021. L'ESYCOM a la charge d'un des trois piliers scientifiques du projet (Multiscale Sensors and Monitoring Systems) portant sur l'instrumentation dans différentes disciplines en lien avec la ville intelligente. Deux membres de l'unité font partie de comités éditoriaux de journaux (American Journal of Optics and Photonics et Radioengineering). Trois doctorants et un membre permanent du thème ont obtenu quatre prix dans des conférences internationales (1er prix du « 17th Annual Altair Electromagnetic Student Competition » pour le projet « 3D Modeling for Propagation of UHF-RFID Tags' Signals in an Indoor Environment » en 2019 ; Best student award pour « Development of a Zigbee-Based Wireless Sensor Network of MEMS Accelerometers for Pavement Monitoring », 10th International Electronic Conference on Sensors and Applications [ECSA-10] en 2023 ; Young Scientist Award pour « A 60 GHz Low-Noise Amplifier for Detection Systems », conférence IEEE Radio and Antenna Days of the Indian Ocean [RADIO] en 2019 ; Best paper award 29th International Conference Radioelektronika pour « Linearization Performance vs Implementation Properties of Digital Predistorter Modelling for Three-Way Doherty Power Amplifier » en 2019). Un membre du thème a reçu le « VAJRA Faculty Award » par l'Indian Science and Engineering Research Board.

D'autres collaborations, avec la Queen's University of Belfast, l'université Catholique de Louvain ou l'université de Bologne témoignent également des relations internationales d'ampleur de ce thème.

Ces nombreuses collaborations internationales lui ont permis d'intégrer le réseau de recherche international CA COST EuIMWP (European Network for High Performance Integrated Microwave Photonics) de 2017 à 2021 en tant que membre coordinateur national pour la France et d'ouvrir de nombreuses perspectives de recherche.

La production scientifique est excellente en quantité avec 3,3 RICL/ETP/an et en qualité avec au cours de la période, 76 articles de journaux scientifiques dans des revues de référence (35 de l'éditeur IEEE, IET Microwaves Antennas and Propagation et Progress In Electromagnetics Research) et 62 présentations dans des conférences internationales reconnues (p. ex. IEEE APS, EuMC, EuCAP, APMC). Les collaborations internationales sont attestées par quinze publications communes.

Sur les AAP compétitifs, le thème « Systèmes de communication » a obtenu neuf projets (dont le portage d'un IPCEI et de deux DGA) pour un montant de l'ordre de 900 k€ au cours de la période, ainsi que trois projets sur programmes locaux (~270k€).

L'encadrement doctoral est excellent avec 42 thèses soutenues ou en cours au cours de la période.

Grâce à une forte reconnaissance par le monde non-académique, les membres du thème Systèmes de communication sont régulièrement sollicités, que ce soit par des PME locales (p. ex. CORSO Magenta, SOMOS semiconductor) ou des grands groupes (p. ex. ST Microelectronics, Thales), pour leur expertise. Le montant des prestations au cours de la période s'élève à 445 k€, auxquelles se rajoutent six thèses financées par le dispositif Cifre.

La création de la start-up Icon-Photonics est un transfert et une valorisation industrielle réussie des recherches du sous-thème photonique-microondes d'ESYCOM, pour des communications optiques très haut débit. Cette start-up a créé huit emplois de niveau ingénieur avec une majorité de docteurs.

Points faibles et risques liés au contexte

Même si le nombre de projets retenus sur les AAP compétitifs est tout à fait honorable, il n'y a pas eu de gros projets structurants permettant d'initier une forte montée en puissance du thème sur des thématiques phares (ERC, H2020). L'absence de forts financements liés à ces AAP peut s'avérer préjudiciable dans les années à venir. Tous projets confondus, la moyenne des montants financiers des projets obtenus au cours de la période est inférieure à 100 k€.

Le comité note que les activités autour des radiocommunications qui ont été prolifiques en termes de contrats et de production scientifique pendant la période évaluée vont disparaître au cours de la suivante. Ceci est lié au non-remplacement de trois enseignants-chercheurs partis à la retraite en début ou en cours de période. Cela devrait conduire à une baisse de la production scientifique et éventuellement à une perte de compétence. Les actions mises en place et la stratégie RH pour limiter ces difficultés et maintenir l'activité ne sont pas assez explicitées.

L'effectif de ce thème se trouve également pénalisé par la disponibilité longue durée depuis 2022 de deux enseignants-chercheurs (à la suite d'un recrutement sur une chaire de professeur junior et la création de la start-up Icon-Photonics).

Concernant le Laboratoire International Associe (LIA) « Smart Energy Sensors and Infrastructures for Cities & Transport », les objectifs, les résultats attendus et les perspectives de ce LIA ne sont pas suffisamment explicités dans le DAE.

Le comité note également les difficultés croissantes pour assurer financièrement la maintenance opérationnelle de la plateforme « Rayonnement et propagation » (réparations, consommables, etc.). Une étude détaillée et planifiée des investissements nécessaires ainsi qu'une stratégie financière pour éviter le risque d'arrêt des activités dont l'utilisation des plateformes est indispensable aurait dû être réalisée.

La Plateforme « Optique Micro-Ondes » n'est pas dotée de personnels d'appui à la recherche. Les missions relevant de personnels d'appui à la recherche doivent ainsi être assurées par des enseignants-chercheurs et doctorants. Ceci représente un facteur de risques sur la pérennité des savoir-faire si les expérimentations sont essentiellement réalisées par des doctorants.

Analyse de la trajectoire du thème

Au début de la période d'évaluation, ce thème était organisé en trois sous-thèmes. Cette structuration a évolué en deux sous-thèmes : le premier restant dans la continuité des activités sur la propagation et les dispositifs micro-ondes, tandis que le deuxième reste dédié aux dispositifs photoniques/microondes. Le troisième sous-thème disparaît à la suite des départs en retraite des trois enseignants-chercheurs permanents.

Le sous-thème « propagation et les dispositifs micro-ondes » est composé de trois axes (2 dans la continuité des recherches menées et un nouveau, fédérateur pour l'unité).

Le premier concerne la caractérisation passive de systèmes antennaires en chambre réverbérante dont l'objectif sera d'augmenter la sensibilité des mesures afin de permettre l'évaluation de l'efficacité de rayonnement d'antennes miniatures. Des nouvelles méthodes de caractérisation passive seront développées pour la caractérisation d'antennes enfouies (dans des infrastructures ou sur des personnes). Ces activités s'appuieront sur des collaborations existantes (Institut Langevin, IETR, INPHYNI) et émergentes (XLIM, LTCI, LAMES [UGE]). Les travaux proposés pour ce premier axe sont dans la continuité et sont par conséquent cohérents avec les moyens et les compétences disponibles.

Le deuxième thème concerne les dispositifs RF et la propagation en environnement complexe dont l'objectif est d'améliorer le modèle actuel de propagation près d'une interface à pertes. L'intérêt de ce modèle est d'obtenir une meilleure excitation de l'onde par conception conjointe antenne/environnement immédiat et d'enrichir le modèle de « path loss » par un volet statistique lié au canal de propagation variable pour inclure les effets des multi-trajets. Il est également prévu d'améliorer la détection et la localisation de personne à

l'intérieur d'un bâtiment grâce à un banc de mesure Radar MIMO à ondes continues modulées en fréquence et au développement théorique de nouvelles formes d'ondes. Les objectifs de ce thème sont ambitieux et doivent permettre d'obtenir des résultats importants dans le domaine de la propagation des ondes électromagnétiques.

Le troisième, Sensing RFID, est un projet fédératif autour du Sensing RFID qui aura pour ambition de regrouper plusieurs compétences de l'unité. L'objectif sera de développer des capteurs de gaz pour l'environnement ou des biocapteurs UHF-RFID portables capables de capturer des bactéries et de détecter les agents pathogènes nosocomiaux dans un environnement hospitalier. Il serait intéressant de développer les moyens humains et scientifiques qui seront alloués à ce futur axe, qui outre l'aspect fédérateur est en adéquation avec les travaux antérieurs et qui s'inscrit pleinement dans la trajectoire de l'unité.

Concernant le sous-thème « photonique-micro-ondes », les dispositifs clefs d'une liaison A-RoF synchronisée à une liaison sans fil (optique ou hertzienne) pour le segment fronthaul (connexion optique) 5G/6G seront optimisés en mettant à profit les avancées technologiques de la photonique intégrée sur silicium et hétérogène III-V sur silicium. Pour mener à bien ces travaux, les collaborations actuelles seront poursuivies (CEA-Leti, III-V Lab, STMicroelectronics, laboratoire Cedric du Cnam, l'université de Bologne et ICON Photonics) et de nouvelles collaborations émergeront (Lab-STICC, université de Thessaloniki). Les travaux envisagés pour ce thème sont importants pour le développement des connexions optiques haut débit. Les collaborations actuelles sont pertinentes pour atteindre les objectifs.

La trajectoire proposée par ce thème apparaît donc totalement cohérente, en s'appuyant sur son expertise, ses points forts, ses collaborations et en proposant un nouvel axe, fédérateur pour l'unité.

RECOMMANDATIONS AU THÈME

La part des ETP du thème « Systèmes de communication » par rapport aux ETP de l'unité est passé de 50 % à 35 % depuis la dernière évaluation. Il faudra rester vigilant sur l'évolution de la trajectoire RH et scientifique pour le thème « Systèmes de communication » dans les années à venir pour continuer à être un des piliers de l'unité.

Les activités et projets technologiques (en salles blanches) et surtout les financements associés prennent une forte ampleur dans l'unité. Cela apparaît être un peu moins le cas pour le thème « Systèmes de communication ». Il conviendrait de préciser la stratégie pour notamment maintenir les financements des plateformes.

Concernant le Laboratoire International Associé (LIA) « Smart Energy Sensors and Infrastructures for Cities & Transport », le comité recommande de préciser les objectifs et les perspectives de ce LIA.

Dans la mesure où les EC de l'unité émergent sur plusieurs thèmes, le comité recommande d'anticiper l'allocation ou la répartition des moyens humains relatifs aux activités RF. En effet, des EC de ce thème émergent également au sous-thème « Transfert d'énergie électromagnétique » du thème Micro-énergie qui comporte déjà trois sous-axes de recherche.

Thème 2 : Micro-capteurs

Nom du responsable : M. Lionel Rousseau

THÉMATIQUES DU THÈME

Le thème « Micro-capteur » s'organise en deux sous-thèmes principaux : « Microsystèmes pour l'environnement humain » avec des activités sur l'imagerie diélectrique du vivant et les micro-capteurs pour la santé et biocapteurs ; « Microsystèmes pour l'environnement urbain et naturel » avec des activités sur la qualité de l'air et la qualité de l'eau. Les deux sous-thèmes concernent la conception, la fabrication et la caractérisation de micro-capteurs et microsystèmes d'analyse – voire de remédiation.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Les recommandations précédentes ont été prises en compte concernant : (1) le maintien de recherches plus fondamentales ; (2) un positionnement à l'état de l'art mondial ; (3) le ressourcement scientifique par des activités nouvelles.

En effet, le thème « Micro-Capteurs » revendique des avancées scientifiques fondamentales, dont l'étude des propriétés fondamentales d'un certain nombre de matériaux exploités pour le développement de capteurs (Black-Silicon, nanofils de ZnO élaborés, diamant en couches minces, nitrures nanostructurés). Les chercheurs se sont positionnés à l'état de l'art avec deux premières mondiales : le premier projet d'implant cortical souple tout en diamant, et le dépôt de nanofils sur de grandes surfaces pour les capteurs environnementaux. En parallèle, de nombreux travaux ont permis de dépasser des verrous scientifiques et ont ouvert des voies de recherche nouvelles pour les années à venir. Ainsi l'activité l'imagerie diélectrique du vivant élargit-elle les limites basses et hautes de fréquence de travail exploitées jusque-là dans le thème. Concernant la mesure et l'analyse chimique par micro-spectroscopie optique, de nouvelles études repoussent la limite fondamentale de résolution spectrale micro-spectroscopie MEMS-FTIR. Enfin, une nouvelle méthode de caractérisation sans contact de nanofils par voie optique, à partir de l'analyse d'un seul spectre optique, a déjà été appliquée à des nanofils de ZnO, pour une exploitation notamment sur des matériaux pour le génie civil.

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

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	6
Maîtres de conférences et assimilés	6
Directeurs de recherche et assimilés	0
Chargés de recherche et assimilés	0
Personnels d'appui à la recherche	6
Sous-total personnels permanents en activité	18
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	2
Personnels d'appui non permanents	0
Post-doctorants	3
Doctorants	7
Sous-total personnels non permanents en activité	12
Total personnels	30

ÉVALUATION

Appréciation générale sur le thème

Les travaux du thème micro-capteurs sont de niveau international et se positionnent au meilleur niveau mondial avec des premières, pour les activités concernant les capteurs à base de diamant pour un implant cortical souple et les dispositifs de dépollution à base de nanotube de ZnO.

La production scientifique est excellente avec 3 RICL/ETP/an et dans les meilleures revues du domaine (p. ex. Nano Letters, Microsystems & Nanoengineering).

La visibilité du thème est exceptionnelle comme en atteste l'obtention d'un projet ERC Starting Grant, d'un « Most Downloaded Award » d'une revue Wiley et d'un « Outstanding Award » d'une revue du groupe Nature.

Le nombre de projets compétitifs est excellent avec la participation des chercheurs à l'ERC citée précédemment, quatre projets H2020, un projet Horizon Europe et six projets ANR dont un portage.

L'implication dans les activités de valorisation est exceptionnelle. Une start-up (IZONICS) a été créée par des personnels de l'unité sur la base d'un de leur brevet. Huit brevets ont été déposés, et un est en cours d'être licencié par un partenaire industriel.

Points forts et possibilités liées au contexte

Le thème présente une expertise originale au niveau international en s'intéressant à toute la chaîne de micro-instrumentation : conception, optimisation des matériaux, fabrication, intégration dans un système de mesure. Concernant le volet « microsystèmes pour l'environnement humain », l'ERC NEURODIAM a permis la mise en place d'une nouvelle filière technologique, un réacteur pour le diamant intrinsèque, complété par un second réacteur de diamant dopé au bore. NEURODIAM a aussi débouché sur une première mondiale par un brevet d'implant cortical souple à base de diamant et polymère.

L'équipe étend aussi ses activités vers la remédiation, avec notamment le développement de structures microfluidiques équipées de nanotubes de ZnO pour la dépollution rapide (vitesse à l'état de l'art mondial) de l'eau.

La visibilité du thème est exceptionnelle attestée par dix-sept présentations invitées dont trois « keynotes » dans des conférences internationales (p. ex. IEEE IWAT' 22, IEEE CAMA' 23, NTA2022, MRS Boston fall meeting 2023), la participation à trois comités éditoriaux de revues internationales (Science & Applications, Nature Publishing Group ; Microsystems and Nanoengineering, Nature Publishing Group ; Advanced Devices And Instrumentation), deux prix attribués à des doctorants (PEPITE Ile-de-France pour la création de la start-up IZONICS, Most Downloaded Article Award de la revue « Lasers and Photonics Reviews », WILEY) et quatre prix attribués aux EC (Outstanding Paper Award de la revue « Microsystems and Nanoengineering, Nature Publishing Group », Most Downloaded Article Award de la revue « Lasers and Photonics Reviews », WILEY, Best Editor Award, revue « Light: Science & Applications », Nature Publishing Group, Outstanding Editor Award, revue « Microsystems and Nanoengineering », Nature Publishing Group).

La production scientifique est excellente en quantité et en qualité (69 RICL déclarées pour en moyenne 3,9 ETP/an soit 3 RICL/ETP/an) ; elle témoigne du fort rayonnement des chercheurs qui publient dans des revues phares du domaine (p. ex. Nano Letters, Lab on chip, IEEE Sensors, IEEE TCAS). Plus de la moitié des RICL sont rédigées en collaboration avec des partenaires internationaux, avec les personnels ESYCOM majoritairement en premier et/ou dernier auteur. Il faut noter aussi qu'une publication a fait l'objet de deux « Outstanding Award » de Springer Nature, une autre a reçu un prix par l'éditeur Wiley (publication la plus citée).

Les chercheurs s'appuient sur des équipements de micro-fabrication exceptionnels hébergés dans les salles blanches de l'ESIEE Paris, complétés par des bancs expérimentaux de caractérisation. Les chercheurs coordonnent et participent à de nombreux projets, régionaux (ISite, Fondation ENS, Région IDF), nationaux (6 ANR dont 1 coordination) et internationaux (participation à 4 projets H2020 et 1 projet Horizon Europe, portage d'un projet ERC), et contribuent au ressourcement de ces équipements.

Le transfert industriel est remarquable. Sur le volet « microsystèmes pour l'environnement », le thème présente des actions remarquables de transfert de technologie, avec le lancement de la start-up IZONICS en 2021 (analyse des microplastiques dans l'eau), ou le développement de micro-dispositifs pour l'analyse fine de l'air. Les dépôts de brevets (8 au cours de la période) sont réguliers, et les chercheurs émargent en continu à des soutiens de la SATT Erganeo sur des projets de prématuration ou de maturation.

Points faibles et risques liés au contexte

Le périmètre des activités du thème est large, et les sujets de recherche se diversifient, avec un spectre allant du fondamental à l'appliqué, et de nombreuses activités de transfert de technologie (y compris l'implication dans des start-up). Considérant, qui plus est, les difficultés signalées dans le DAE par le thème (manque de locaux expérimentaux, difficulté à maintenir les équipements lourds, charge d'enseignement et d'administration des personnels, complexité de déploiement des capteurs hors de l'unité), la poursuite de cette diversification risque de se faire au détriment de la qualité des travaux de recherche.

Moins de la moitié des RICL (32 au cours de la période) ont pour co-auteur des doctorants de l'unité ce qui est relativement faible.

Les activités du thème reposent largement sur l'expertise et les équipements liés à la salle blanche de l'ESIEE, récemment intégrée dans le réseau Renatech+. L'intégration des ressources technologiques au sein de cette structure mutualisée est à la fois un point fort étant donné la structuration administrative et la mutualisation des frais opérationnels, mais également potentiellement un point faible et une source de risque. En effet, la balance entre activités de recherche, activités d'enseignement, activités économiques indique que « 70 % est dédiée aux contrats industriels en dehors du cadre de l'unité ». La charge des activités économiques peut être un frein aux activités de recherche, d'autant plus que l'expertise expérimentale de la salle blanche repose de plus en plus sur les personnels IR et IE, du fait de la baisse de formation en microélectronique des jeunes chercheurs.

Le thème ne compte aucun chercheur CNRS parmi ses membres permanents.

Analyse de la trajectoire du thème

La trajectoire présentée par le thème « micro-capteurs » s'appuie sur un maintien de l'organisation actuelle en deux sous-thèmes. Les collaborations avec les autres thèmes d'ESYCOM y ont une part importante, sachant que les activités communes avec le thème « micro-énergie » sont déjà nombreuses, et que les collaborations avec « systèmes de communication » devraient se renforcer notamment sur les réseaux de capteurs. Cette démarche s'inscrit bien dans le projet de l'unité, « Capteurs et systèmes communicants pour la ville, l'environnement et la personne », et dans le triptyque Santé-Environnement-Ville de l'université Gustave Eiffel.

Concernant les micro-capteurs pour le vivant, deux priorités sont identifiées : élargissement en fréquence des activités « imagerie diélectrique du vivant », et exploitation du matériau diamant, couplé à d'autres matériaux carbonés pour les implants souples. La perspective de développer des capteurs montant au MHz et au GHz requiert de nouveaux instruments, et ouvre la voie à de nouvelles applications notamment dans le domaine médical. Cette orientation est scientifiquement pertinente au vu de l'expertise et des résultats déjà obtenus par les chercheurs ; la partie applicative nécessite des collaborations serrées avec des partenaires biologistes et cliniciens, qui ne sont pas clairement identifiés.

La poursuite du développement des neuroprothèses à base de diamant est un autre point fort de la trajectoire du thème. Cette stratégie est tout à fait justifiée, puisque ce sujet est à l'état de l'art mondial et bénéficie de partenariats établis. Il est soutenu pour les années à venir par un projet du PEPR Resiste et un projet ANR. Qui plus est, l'ouverture au SiC et au graphène permet d'élargir l'assise d'ESYCOM sur ce sujet, et crée un lien avec le sous-axe « capteurs pour l'environnement ».

Concernant les micro-systèmes d'analyse de l'environnement, les travaux sur les micropolluants de l'eau et de l'air vont être renforcés, soutenus par d'excellents résultats : ces approches sont totalement en phase avec les priorités de l'UGE et de nombreux programmes nationaux et internationaux. L'expertise et l'équipement en chimie de l'unité seront exploités pour ces travaux, alors que l'activité sur les ZnO va s'arrêter avec le départ annoncé de la chercheuse qui porte cet axe. Le sous-thème poursuit ses activités de transfert, avec les projets de maturation en cours dont le développement de dispositifs bas coût et ultra-sensibles pour la détection de particules fines. L'ouverture vers le thème « micro-énergie » sur la récupération de l'eau dans l'air à l'aide de dispositifs nano-structurés est prometteuse. Le passage aux réseaux de capteurs est extrêmement pertinent, et la question de l'usage des « living labs » du site mérite d'être approfondie et formalisée, afin que les chercheurs en tirent des bénéfices sans être pénalisés par la complexité d'accès et d'usage.

La plupart des projets précédemment cités s'appuient sur l'expertise forte de l'unité en micro et nano-fabrication. Le maintien de cette expertise et la mutualisation des ressources associées entre les deux sous-thèmes sont nécessaires pour que la trajectoire scientifique prévue soit respectée.

RECOMMANDATIONS AU THÈME

Afin de maintenir le niveau d'excellence démontré durant la période d'évaluation, il est recommandé aux membres du thème :

- de consolider la démarche, entreprise durant la période d'évaluation, d'équilibrage entre recherche fondamentale pour le ressourcement scientifique, et recherche appliquée pour le transfert et la valorisation ;
- d'être attentif au maintien des accès pour la recherche à la salle blanche de l'ESIEE ;
- de maintenir dans ses recrutements, que ce soit de doctorants, post-doctorants, d'EC ou de PAR, une exigence forte d'expertise technologique ;
- de mettre en place des actions de préparation et d'aide au recrutement de CR CNRS, le thème étant particulièrement en phase avec des priorités de CNRS Ingénierie.

Thème 3 : Micro-énergie

Nom du responsable : M. Elyes Nefzaoui

THÉMATIQUES DU THÈME

Le thème « Micro-énergie » regroupe les activités de recherches portant sur la conception, la simulation, la fabrication et la caractérisation de composants et systèmes pour la récupération, la conversion et le transfert de l'énergie (mécanique, thermique et électromagnétique).

Ce thème est organisé en trois sous-thèmes qui se déclinent en deux voire trois axes. Le premier concerne les systèmes de conversion électromécanique basse-puissance avec des axes portant sur la récupération d'énergie mécanique par transducteurs inertiels MEMS, la récupération d'énergie mécanique par transducteurs triboélectriques et la logique adiabatique capacitive.

Le sous-thème énergie thermique comporte l'axe méta-matériaux thermiques et propriétés radiatives et l'axe caractérisation thermique de composants micro-électroniques.

Finalement le sous-thème transfert d'énergie électromagnétique se décline en un axe dédié à l'optimisation des formes d'ondes pour le transfert d'énergie sans fil et un axe dédié aux métamatériaux et métasurfaces pour le WPT (Wireless Power Transfer) et la récupération d'énergie.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Les recommandations précédentes ont été prises en compte concernant (1) la consolidation d'axes scientifiques forts en évitant une dispersion de l'effort de recherche, (2) le renforcement de l'activité de veille pour maintenir un positionnement de l'activité au meilleur niveau de l'état de l'art mondial et (3) le renouvellement et la diversification des sources de financements institutionnels. Pour le sous-thème « Energie thermique », cet effort de recherche amont porte sur la maîtrise de l'élaboration du Black Silicon. Les travaux menés dans ce domaine sont à l'état de l'art et ont une dynamique très forte en termes de recherche amont (étude des couplages opto-thermo-fluidiques sur des métasurfaces) et appliquées (refroidissement radiatif – processus de condensation passifs en énergie).

Pour le sous-thème « Systèmes de conversion électromécanique basse-puissance », les recherches se sont recentrées sur la modélisation des récupérateurs d'énergie mécanique par triboélectricité. Une activité très originale concerne les systèmes de calcul adiabatiques capacitifs à base de MEMS.

Finalement le sous-thème « Transfert d'énergie électromagnétique » poursuit les modélisations et simulations de systèmes originaux de type rectenna incluant des antennes en métamatériaux ou métasurfaces et des circuits de conversion et gestion de l'énergie.

Par ailleurs, la diversification des financements institutionnels au niveau local (UGE), national (ANR) et européen a été bien prise en compte au cours de la période écoulée.

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

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	5
Maîtres de conférences et assimilés	7
Directeurs de recherche et assimilés	0
Chargés de recherche et assimilés	1
Personnels d'appui à la recherche	4
Sous-total personnels permanents en activité	17
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	0
Personnels d'appui non permanents	0
Post-doctorants	2
Doctorants	3
Sous-total personnels non permanents en activité	5
Total personnels	22

ÉVALUATION

Appréciation générale sur le thème

Les travaux du thème micro-énergie sont d'un excellent niveau et se positionnent au meilleur niveau mondial dans le domaine de la récupération d'énergie vibratoire par transduction électrostatique ou triboélectrique, et de l'élaboration du black silicon pour de la conversion thermique de l'énergie.

La production scientifique est d'un excellent niveau (3,1 RICL/ETP/an) et dans des revues scientifiques à très fort impact (p. ex. Nano-Energy, Advanced Photonics Research, IEEE JRFID).

La visibilité du thème est très bonne comme l'attestent les nombreuses collaborations avec plusieurs universités en Europe et en Asie et l'implication dans neuf TPC de conférences de très haut niveau (p. ex. IEEE MEMS, NEMS), dix-huit présentations invitées dont quatre keynotes dans des congrès internationaux, les prix internationaux attribués à trois doctorants.

Le nombre de thèses soutenues (7 au cours de la période) est en retrait, de même que le nombre de thèses financées par le dispositif Cifre.

Points forts et possibilités liées au contexte

Les travaux du thème micro-énergie sont d'un excellent niveau et se positionnent au meilleur niveau mondial dans le domaine de la récupération d'énergie vibratoire (REV) par transduction électrostatique ou triboélectrique, et de l'élaboration du black silicon pour de la conversion thermique de l'énergie. Ainsi, des systèmes de REV à polarisation triboélectrique associés à des circuits de gestion d'énergie originaux ont des performances qui sont à l'état de l'art. De même, la maîtrise du procédé d'élaboration du black silicon a permis d'obtenir des niveaux d'absorption exceptionnels au-delà de 99 % pour des longueurs d'ondes supérieures à 15 μm . Ces résultats attestent de l'originalité des travaux dans l'étude des propriétés radiatives dans le moyen infra-rouge.

La visibilité et le rayonnement international sont très bons, avec entre autres : dix-huit présentations invitées dont quatre key notes dans des congrès internationaux de bon niveau, huit mobilités entrantes (universités Tokyo, Séoul, Minnesota, Hong-Kong, Bologna, Iran, université Libanaise) et deux sortantes (IRL-LIMMS, Tokyo, IRL-CINTRA Singapour), des expertises internationales (p. ex. SNSF-Suisse, FONDECYT-Chili, TUT-Afrique du Sud, K-NRF-Corée), des expertises nationales (p. ex. AAP de l'ANR et l'évaluation de l'IRL LIMMS à Tokyo), six présentations dans une institution académique internationale (Xi'an – Chine, SKKU – Corée, KIST-Corée, ASU-Égypte, TUT-Afrique du Sud, Univ. Tokyo-Japon), et deux responsabilités éditoriales dans des revues internationales (special issues d'EcoMAT en 2021 et NanoEnergy en 2023).

Les prix internationaux (Best Poster- THERMINIC 2019, Best Oral Spring MRS2021, Chinese Gov. Award 2018) attribués à trois doctorants montrent une bonne reconnaissance des travaux présentés en conférence.

La production scientifique est d'un excellent niveau (3,1 RICL/ETP/an). Au cours de la période, les articles de journaux scientifiques ont été publiés dans des revues de référence à très fort impact (p. ex. Nano Energy, APL Materials, Nature Communications, ACS Applied Materials and Interfaces, Microsystems and Nanoengineering, Smart Materials and Structures, APL, Solar Energy Materials and Solar Cells, Advanced Photonics Research, Energy and Buildings, Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, IEEE Radio-Identification Journal, Progress In Electromagnetics Research).

Un tiers des articles de revue est co-signé avec des laboratoires étrangers et 43 % avec d'autres laboratoires français. Les doctorants du thème ont aussi publié durant leur thèse.

Les membres du thème ont su nouer de nombreuses collaborations internationales avec des universités étrangères notamment en Europe (Univ. College de Dublin, Southampton Univ, Univ. Bologna), en Asie (Univ. Tokyo, Univ. Taipei, Iran Univ. S&T, Hong-Kong Chinese Univ), et en Afrique (Univ. Ain-Shams-Egypte, Univ. De Carthage-Tunisie, Univ. A. Essadi-Maroc). Ces collaborations internationales ont abouti à 62 articles de revue tandis que les collaborations nationales (p. ex. UPS-LIP6, CEA-Leti) ont permis de publier vingt et un article en commun.

Les membres de ce thème ont participé à l'organisation de trois conférences/workshop internationaux (Spring MRS 2021, MCARE 2022, ICAE 2023) et trois conférences/workshop nationaux (GDR NAME 2021, TREE 2022, NMN 2023). Il existe également une très forte implication dans le Steering Committee de PowerMems depuis 2017 (150 participants) et dans neuf Technical Program Committee pour des conférences/workshop internationaux de très haut niveau (p. ex. IEEE-MEMS [700 participants], IEEE-NEMS [600 participants], Transducteurs [800 participants]).

Les activités du thème s'appuient sur la salle blanche de l'ESIEE Paris et sur les moyens de fabrication et de mesure de la plateforme « Rayonnement et propagation ». Au cours de la période de référence des investissements de l'ordre de 520 k€ ont permis d'améliorer et de créer de nouveaux bancs pour la caractérisation des matériaux, pour la caractérisation des dispositifs et systèmes de transfert, pour la récupération et la conversion d'énergie mécanique, thermique ou électromagnétique. Finalement ce thème possède hors de l'unité des démonstrateurs de réseaux de capteurs pour le monitoring énergétique des bâtiments intelligents.

Le thème « Micro-énergie » a obtenu des financements pour deux projets européens (Proj. Horizon Europe RIA en 2023 -550k€ et IPCEI on Microelectronics 2019 – 416k€), huit projets nationaux (3 ANR, 4 PHC et 1 IRP-CNRS), ainsi que six projets sur programme locaux (4 I-SITE, 1 CEMIP et 1 SATT).

Par ailleurs, les activités de recherche développées dans ce thème ont permis d'obtenir des contrats non-académiques avec trois partenaires industriels (AKKA Research, CAMEO SAS, XFab), et une association (OPUR : Organisation Pour l'Utilisation de la Rosée) tous impliqués sur des défis concernant le développement durable.

Points faibles et risques liés au contexte

Le thème ne compte qu'un seul chercheur CNRS.

Le périmètre du sous-thème « Transfert d'énergie électromagnétique » mériterait d'être clarifié par rapport au thème « Systèmes de communication », notamment sur les moyens humains.

De même, la frontière entre ce thème et le thème « Micro-Capteurs » mériterait d'être plus explicite. En effet, il n'est pas simple d'appréhender les interactions entre sous-thèmes.

La répartition de la production scientifique par sous-thèmes aurait été intéressante pour quantifier leurs dynamiques intrinsèques.

Par ailleurs, le nombre de thèses financées par le dispositif Cifre et avec des partenaires industriels est faible (2).

Le manque d'un support technique (technicien ou ingénieur) en mesure de garantir le bon fonctionnement des bancs de caractérisations et l'absence de regroupement sur une même plateforme sont deux points faibles pouvant impacter le bon fonctionnement du thème.

Analyse de la trajectoire du thème

De façon générale, les trajectoires proposées pour chaque sous-thème sont cohérentes. Elles s'appuient sur l'expertise et les collaborations entre les thèmes de l'unité et avec des laboratoires français et étrangers.

1) Pour le sous-thème « énergie mécanique », les activités de recherche portant sur la récupération d'énergie mécanique (REM) par transducteurs inertiels MEMS ont été largement étudiés depuis près de vingt ans et les gains de puissance pour des cas d'utilisation réelle seront très faibles. Une piste d'amélioration originale que souhaite explorer les membres du sous-thème concernent la technique dite proche-limites. Les interactions fortes avec des chercheurs du C2N et du LIP6 grâce au projet ANR « Nearlimit » devraient permettre d'aboutir à une validation expérimentale de ce concept de récupération d'énergie.

Par ailleurs, les compétences et savoir-faire dans ce domaine seront mis en œuvre dans la conception et la fabrication de transducteur utilisant la triboélectricité. Ces travaux sont menés en collaboration avec l'université Yonsei à Séoul en Corée du Sud, dans le cadre d'un IRP CNRS AMSTEC (2022-2025) (complété par un partenariat Hubert Curien « STAR »), et d'un financement symétrique du côté Coréen. Les perspectives pour cette thématique sont cohérentes avec les compétences et les moyens dont dispose l'unité.

2) Dans le sous-thème « énergie thermique », la caractérisation des propriétés radiatives des métamatériaux s'appuyaient jusqu'à présent sur une méthode indirecte souvent limitée à la température ambiante. Depuis peu (thèse débutée en 2023 et projet Horizon Europe-BROMEDIR 2023-2026) les méthodes de caractérisation radiatives à température ambiante sont adaptées aux hautes températures pour des applications telles que la conversion thermo-photovoltaïque du rayonnement thermique ou les sources infrarouges pour la spectroscopie IR. Un banc de mesure directe de l'émissivité de métamatériau est ainsi envisagé.

Par ailleurs, des efforts seront entrepris pour la caractérisation d'autres propriétés thermiques de micro et nano-matériaux pour mesurer des matériaux fortement conducteurs thermiquement, conducteurs électriquement ou encore les résistances thermiques d'interface. Pour atteindre ces objectifs des méthodes optiques telle que la thermo-réfectance seront développées et une évolution du banc « 3-omega » est envisagée afin de caractériser la conductivité thermique dans le plan, les matériaux anisotropes, 2D etc. Un autre axe de recherche concerne le développement de revêtements permettant l'utilisation des métamatériaux dans des environnements hostiles. Pour atteindre cet objectif deux approches complémentaires sont envisagées, une

expérimentale et une basée sur la modélisation numérique. Les axes proposés sont en adéquation avec les travaux actuels et ouvrent des perspectives importantes notamment par l'utilisation de métamatériaux.

3) Le sous-thème « énergie électromagnétique » propose trois axes de recherche. Le premier concerne la conception et l'optimisation de systèmes miniature 2D de récupération d'énergie électromagnétique en utilisant des métasurfaces ou métamatériaux couplés à des circuits de redressement. Le second est dédié à l'optimisation de formes d'ondes (POW) pour le transfert d'énergie sans fil utilisant des rectannas connectées à des circuits de conversion. Des signaux impulsionnels ou multi-sine seront utilisés pour alimenter des démonstrateurs de capteurs communicants et autonomes.

Le troisième porte sur le transfert simultané de l'information et de la puissance (SWIPT) thème initié en 2023 après la visite du Pr. Costanzo. Cette activité de recherche sera menée aussi avec le thème « Systèmes de communication ». Les trois axes proposés se situent dans la continuité des travaux développés au cours de la période évaluée et sont pertinents.

La trajectoire proposée par ce thème est cohérente, en s'appuyant sur les résultats déjà obtenus, les compétences des membres du thème et les collaborations déjà initiées.

RECOMMANDATIONS AU THÈME

Un bon équilibre entre recherche amont et appliquée a été trouvé durant la période menant à une activité scientifique de très bonne qualité. Pour maintenir ce haut niveau, il est suggéré d'intensifier les actions menant à accueillir de nouveaux chercheurs CNRS et un support technique (IE ou IR) pour assoir les activités de la plateforme de caractérisation regroupant tous les bancs de caractérisations du thème.

Une autre recommandation concerne l'anticipation sur le devenir de certains sous-thèmes comme la logique adiabatique à base de MEMS. De même le périmètre du sous-thème « Transfert d'énergie électromagnétique » mérite d'anticiper l'allocation des moyens humains compte tenu du nombre de sous-axes, et de l'implication par ailleurs des EC dans les sous-thèmes du thème Systèmes de communication.

Le comité recommande de faire un récapitulatif de la production scientifique par thème et par sous-thème corrélés avec les effectifs. Ce serait appréciable pour évaluer de façon plus précise la dynamique des sous-thèmes avec les divers axes.

Compte tenu du potentiel de membres permanents, le comité recommande d'accroître le nombre de doctorants.

DÉROULEMENT DES ENTRETIENS

DATES

Début : 13 novembre 2024 à 13 h 30

Fin : 14 novembre 2024 à 15 h 30

Entretiens réalisés : en présentiel

PROGRAMME DES ENTRETIENS

Mercredi 13 novembre 2024

13h30-13h45	Introduction de la visite par le Conseillers Scientifique (CS) du Hcéres et le président du comité
13h45-14h15	Bilan et trajectoire présenté par le DU
14h15-14h45	Questions sur le bilan
14h45-15h00	Thème 1
15h00-15h20	Questions Thème 1
15h20-15h50	Pause (présentation posters)
15h50-16h05	Thème 2
16h05-16h25	Questions Thème 2
16h25-16h40	Thème 3
16h40-17h00	Questions Thème 3
17h00-17h30	Visite plateformes
17h30-19h00	Huis clos

Jeudi 14 novembre 2024

08h00-09h30	Visite plateformes
09h30-10h00	Entretien avec les représentants des doctorants et post-doc
10h00-10h30	Entretien avec les représentants des BIATSS et ITA
10h30-11h00	Pause
11h00-11h30	Entretien avec les représentants des EC / C
11h30-12h00	Entretien avec les tutelles
12h00-13h00	Pause déjeuner – huis clos
13h00-13h30	Entretien avec la direction (passée et /ou future : DU et DUA)
13h30-13h45	Clôture de l'entretien
13h45-15h30	Huis clos

OBSERVATIONS GÉNÉRALES DES TUTELLES

Le Président de l'université
au
Département d'Évaluation de la recherche - Hcéres

A Champs-sur-Marne, le 18/4/2025

Objet : observations des tutelles sur le rapport d'évaluation du laboratoire ESYCOM

Dossier suivi par : Serge Piperno, Vice-Président Recherche (serge.piperno@univ-eiffel.fr)

Vos réf : DER-PUR260025210 - ESYCOM - Électronique, systèmes de communications et microsystèmes.

Madame, Monsieur,

Nous faisons suite au mail que vous nous avez adressé le 1/4/2025 dans lequel vous nous communiquiez le rapport d'évaluation de l'Unité « DER-PUR260025210 - ESYCOM - Électronique, systèmes de communications et microsystèmes ».

Comme demandé dans ledit mail, nous vous faisons part des observations de portée générale rédigées en concertation entre la direction du laboratoire et deux de ses tutelles, l'Université Gustave Eiffel (pour elle et pour le compte d'ESIEE Paris) et le CNAM (Conservatoire National des Arts et métiers), le CNRS ne souhaitant pas émettre de réponse institutionnelle de type « observations de portée générale ».

L'équipe du laboratoire « DER-PUR260025210 - ESYCOM - Électronique, systèmes de communications et microsystèmes », ainsi que ses tutelles Univ. Eiffel et CNAM, souhaitent vivement remercier à nouveau les membres du comité d'évaluation pour le temps consacré à expertiser les travaux du laboratoire et surtout pour la qualité des échanges qui ont eu lieu à l'occasion de la visite.

L'avis du comité d'évaluation fournit sur de nombreux points les éléments d'une feuille de route pour les prochaines années qui guidera le laboratoire autant dans son organisation quotidienne que dans la définition de sa stratégie.

Certains éléments d'appréciation du comité de visite appellent quelques commentaires.

« Avis Global »

Outre un avis global très positif, le laboratoire et ses tutelles souhaitent apporter des commentaires sur les points suivants. D'une part, l'unité veille et continuera à veiller à ce que les doctorants aient bien une ou plusieurs publications dans une revue internationale au moment de leur soutenance (les données que nous avons fournies comportaient quelques erreurs ou imprécisions sur les noms des doctorants, ainsi que quelques articles non référencés dans HAL). D'autre part, Le Cnam souligne l'importance qu'il attache à pouvoir continuer à gérer les contrats de recherche de l'unité Esycom portés par ses personnels.

« Évaluation détaillée de l'unité »

Dans le rapport, l'arrêt des activités du sous-thème *Architectures basse consommation* est présenté comme un point faible pour l'unité. Cette orientation scientifique correspond au contraire à un choix délibéré de recentrer les activités du thème *Systèmes de Communication* autour des deux sous-thèmes, plus en phase avec le projet du laboratoire. Cette réorientation s'est effectuée en fléchant les nouvelles créations de postes suite aux départs en retraite successifs liés à ce sous-thème.

La direction du laboratoire ne souscrit pas à la position favorable des évaluateurs concernant l'éditeur MDPI. Nous souhaitons toutefois préciser que, conformément à la décision du conseil de laboratoire, les chercheurs peuvent toujours s'ils le souhaitent publier chez cet éditeur, mais ces publications ne seront pas reprises dans le bilan du laboratoire, comme cela fut le cas pour une partie d'entre elles (~50%) pour l'évaluation 2018-2023. L'université Gustave Eiffel tient à signaler que, curieusement, une recommandation exactement opposée (donc d'éviter de publier chez cet éditeur) a été formulée pour plusieurs de ses unités évaluées en vague E.

« Recommandations à l'unité »

La direction comme l'ensemble du Laboratoire souscrivent très largement aux suggestions portées par le comité de visite. Il y a donc un réel enjeu de s'appuyer sur ces suggestions comme un outil d'accompagnement dans l'évolution et le plan d'actions des cinq prochaines années du Laboratoire.

Nous vous prions d'agréer, Madame, Monsieur, l'expression de nos respectueuses salutations.

**Direction de l'unité « ESYCOM - Électronique, systèmes
de communications et microsystèmes »**

Philippe Basset

Directeur de l'unité ESYCOM



Elodie Richalot

Directrice-adjointe de l'unité ESYCOM



Université Gustave Eiffel

Pour le président et par délégation,



Serge Piperno

Vice-président Recherche

CNAM

Pour l'Administratrice Générale et par délégation,



Thierry HORSIN

Adjoint en charge de la recherche et de l'innovation

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

