

RAPPORT D'ÉVALUATION DE L'UNITÉ

LOB - Laboratoire d'optique et biosciences

SOUS TUTELLE DES ÉTABLISSEMENTS ET ORGANISMES :

École Polytechnique - Institut Polytechnique de Paris

Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS

Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale - Inserm

CAMPAGNE D'ÉVALUATION 2024-2025
VAGUE E

Rapport publié le 17/04/2025



Au nom du comité d'experts :

Michele Trabucchi, président du comité

Pour le Hcéres :

Coralie Chevallier, présidente

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

Pour faciliter la lecture du document, les noms employés dans ce rapport pour désigner des fonctions, des métiers ou des responsabilités (expert, chercheur, enseignant-chercheur, professeur, maître de conférences, ingénieur, technicien, directeur, doctorant, etc.) le sont au sens générique et ont une valeur neutre.

Ce rapport est le résultat de l'évaluation du comité d'experts dont la composition est précisée ci-dessous. Les appréciations qu'il contient sont l'expression de la délibération indépendante et collégiale de ce comité. Les données chiffrées de ce rapport sont les données certifiées exactes extraites des fichiers déposés par la tutelle au nom de l'unité.

MEMBRES DU COMITÉ D'EXPERTS

Président : M. Michele Trabucchi, Inserm, Nice

Mme Johanna Brazard, Université de Genève, Suisse

Mme Patrice Camy, Université de Caen Normandie (représentant du CoNRS)

Experts :

M. Jean-Luc Coll, Inserm, La Tronche (représentant des CSS Inserm)

Mme Christel Poujol, Centre national de la recherche scientifique, Bordeaux (Personnel d'Appui à la Recherche)

Mme Gaëlle Recher, Centre national de la recherche scientifique, Talence

REPRÉSENTANT DU HCÉRES

M. Charles Desfrancois

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

Mme Saïda Guelatti, CNRS

Mmes Nathalie Heuzé-Vourc'h et Laurence Parmantier, Inserm

M. Kees van der Beek, Institut Polytechnique de Paris

CARACTÉRISATION DE L'UNITÉ

- Nom : Laboratoire d'optique et biosciences
- Acronyme : LOB
- Label et numéro : UMR7645 – U1182
- Nombre d'équipes : 4
- Composition de l'équipe de direction : M. François Hache

PANELS SCIENTIFIQUES DE L'UNITÉ

ST Sciences et technologies

ST2 Physique

SVE Sciences du vivant et environnement

SVE3 : Molécules du vivant, biologie intégrative (des gènes et génomes aux systèmes), biologie cellulaire et du développement pour la science animale

THÉMATIQUES DE L'UNITÉ

L'unité est composée de quatre équipes. L'équipe 1 : Mécanismes moléculaires de l'adaptation microbienne (MOMENBIO) ; l'équipe 2 : Dynamique interne des molécules biologiques (DYNABIO) ; l'équipe 3 : Nano-imagerie quantitative des systèmes biologiques, organisation et dynamique (NABODY) ; l'équipe 4 : Microscopies avancées et physiologie des tissus (MICROPHY).

Les axes de recherche de l'unité sont interdisciplinaires, à l'interface entre la physique et la biologie. Les méthodes et techniques optiques sont mises au service d'un large éventail de thématiques, allant de la réponse antimicrobienne à l'interaction moléculaire en passant par l'organisation des tissus, avec plusieurs collaborations entre les équipes. Les équipes sont soutenues par des plateformes, des services et du personnel administratif partagés. Au total, environ 65 personnes rattachées à trois tutelles (CNRS, Inserm et l'École Polytechnique) travaillent dans l'unité.

Les équipes 1 et 2 travaillent sur l'interaction moléculaire des protéines et des acides nucléiques. L'équipe 1 étudie ces interactions en tant que mécanisme(s) d'adaptation des bactéries pathogènes. Un large éventail d'approches expérimentales et informatiques a été utilisé, avec un accent particulier sur la résistance antimicrobienne et les maladies infectieuses. L'équipe 2 développe des techniques et des dispositifs de spectroscopie optique avancés pour étudier la dynamique structurale des biomolécules et étudier l'activité fonctionnelle des flavoprotéines, des capteurs de CO à base d'hème et des structures G4 en collaboration avec l'équipe 1. La modélisation informatique de cette dynamique structurale est également développée en collaboration avec l'équipe 1. L'équipe 3 étudie les méthodes permettant de résoudre les problèmes de super-résolution de molécules uniques et de détection ultrasensible à l'aide de nanoparticules fluorescentes avec la microscopie à haute résolution et les systèmes microfluidiques ; elle s'attaque à plusieurs goulets d'étranglement techniques/technologiques, tels que l'imagerie multicolore et l'imagerie quantitative. L'équipe est particulièrement intéressée par l'application de sa propre expertise technique/technologique aux maladies inflammatoires des reins/glomérulaires. L'équipe 4 a une activité de longue date dans le domaine de la microscopie multiphotonique, de l'optique linéaire et non linéaire et de l'analyse d'images pour étudier la structure des tissus biologiques, tels que le cerveau, le cœur et la cornée, en physiopathologie et en embryogenèse. L'équipe 4 coordonne le Morphoscope, une plateforme de microscopie financée et labellisée « Équipe » et « IBiSA ».

HISTORIQUE ET LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DE L'UNITÉ

L'unité est entièrement localisée à l'Institut Polytechnique de Paris sur le campus de Polytechnique (Palaiseau). L'unité a été créée en 2001 sur l'idée de construire un centre interdisciplinaire centré sur les technologies optiques et lasers appliqués à l'étude d'aspects fondamentaux de la biologie.

ENVIRONNEMENT DE RECHERCHE DE L'UNITÉ

L'unité est un centre pluridisciplinaire qui combine des recherches consacrées aux interactions moléculaires des protéines et des acides nucléiques dans différents contextes physiologiques et pathologiques, tels que la microbiologie ; le développement de la spectroscopie et des techniques/technologies pour étudier les phénomènes physico-chimiques ; et des approches de microscopie pour étudier la structure des tissus biologiques. L'intégration de ces différentes approches et modèles biologiques est soutenue par des collaborations interdisciplinaires entre équipes à l'intérieur et à l'extérieur de l'unité, favorisant la recherche collaborative et l'innovation. Ces partenariats permettent des recherches interdisciplinaires couvrant la biologie cellulaire, la génétique, la biologie chimique-physique, la microscopie, la microbiologie, etc. L'unité bénéficie du savoir-faire d'ingénieurs et techniciens (permanents ou non) au travers de plusieurs services en administration (deux personnes), informatique (deux personnes), biologie et animalerie (six personnes), instrumentation (deux personnes) et Morphoscope (une personne).

Partie intégrante de l'École Polytechnique, le LOB participe à plusieurs réseaux et programmes interdisciplinaires, dont l'Ingénierie pour la Santé (E4H), l'École Universitaire de Recherche (EUR BERTIP), STEP2 du PIA4/France2030, Technology for Change comme projet sur la résistance aux antibiotiques et CIEDS soutenus par le ministère de la Défense. En particulier, l'E4H fédère une vingtaine d'unités de l'Institut Polytechnique de Paris (IPP) qui travaillent en biologie et le futur directeur adjoint du LOB (équipe 1) en est le co-responsable. Celui-ci est également responsable du département de biologie de l'IPP. Les collaborations sont également très actives avec différentes unités du campus de l'université Paris-Saclay et des partenaires industriels tels que Amplitude-Laser. Au niveau national, le LOB participe à plusieurs GDR (ARN, dSTORM, IMABIO, etc.) et à des sociétés scientifiques (SFO, SFBBM, SFBiophysical, etc.) en y jouant, pour certaines d'entre elles, des rôles importants comme celui de membre du Conseil d'administration ou du bureau (3).

L'équipe 4 coordonne un programme national Equipex qui développe une plateforme de microscopie ouverte à des utilisateurs extérieurs, appelée Morphoscope. De plus, le LOB est partenaire de l'Equipex+ ESPADON sur le patrimoine scientifique et du projet RHU4 RECORDS pour le traitement de la septicémie (FHU SEPSIS).

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

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	3
Maîtres de conférences et assimilés	5
Directeurs de recherche et assimilés	13
Chargés de recherche et assimilés	4
Personnels d'appui à la recherche	13
Sous-total personnels permanents en activité	38
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	0
Personnels d'appui non permanents	0
Post-doctorants	9
Doctorants	18
Sous-total personnels non permanents en activité	27
Total personnels	65

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

Nom de l'employeur	EC	C	PAR
CNRS	0	15	5
INSERM	0	2	4
EC POLYTECHNIQUE	3	0	4
Autres	5	0	0
Total personnels	8	17	13

AVIS GLOBAL

Le Laboratoire d'Optique et biosciences (LOB) est une unité interdisciplinaire à l'interface entre la physique et la biologie. Créé en 2001, situé géographiquement sur le campus de l'École Polytechnique à Palaiseau, le LOB fait partie de l'IPP et est associé à la fois au CNRS et à l'Inserm. Il s'agit d'une unité de recherche de taille moyenne qui compte quatre équipes et environ 65 personnes, incluant des scientifiques (25), du personnel technique/ingénieur (13) et des postdoctorants et doctorants (27). Son budget est d'environ 12 millions d'euros pour les six dernières années (environ 17 % de financement récurrent, 83 % de ressources propres), ce qui montre une grande attractivité en termes de collecte de fonds et de capital humain.

L'originalité de l'unité réside dans le développement de méthodes et techniques optiques avancées afin d'étudier des processus biologiques variés, allant de la réponse antimicrobienne à l'interaction moléculaire et à l'organisation des tissus, avec plusieurs collaborations internes entre les équipes. Les modèles biologiques sont très différents en termes d'espèces (poisson zèbre, cellules humaines, microorganismes et virus) et sont utilisés pour aborder plusieurs questions physiologiques et pathologiques, y compris les mécanismes de réplication de l'ADN des bactéries lors du développement de la résistance antimicrobienne, la structure histologique du cerveau et du cœur pendant l'embryogenèse, la dynamique et l'inflammation du glomérule rénal, et la dynamique des interactions biomoléculaires. L'équipe 1 est l'équipe la plus « biologique », travaillant sur les mécanismes de l'ADN bactérien lors de la résistance antimicrobienne ; l'équipe 2 utilise des approches de spectroscopie pour étudier les interactions entre protéines et acides nucléiques ; les technologies d'imagerie et de microscopie sont principalement développées par les équipes 3 et 4 sur des questions relatives à l'organisation tissulaire dans la physiopathologie et l'embryogenèse. Bien que la plupart des projets relèvent principalement de la recherche fondamentale, toutes les équipes développent des projets translationnels/économiques avec des partenariats industriels qui ont généré quatorze brevets au cours des six dernières années. Deux start-ups, une issue du laboratoire et l'autre hébergée à l'École polytechnique, ont bénéficié du support actif du LOB pendant la période d'évaluation. Ces deux start-ups ont malheureusement échoué.

L'attractivité et la visibilité de l'unité sont globalement excellentes avec plusieurs subventions nationales (principalement 24 contrats ANR dont onze en tant que porteur) et européennes (1 contrat ERC et 2 financements MSCA), de nombreux partenariats industriels, quatre prix scientifiques, dix-huit doctorants et neuf postdoctorants au cours des six dernières années, démontrant sa position compétitive aux niveaux national et international. Le LOB développe des plateformes de pointe (laser, imagerie et microscopie) pour soutenir la recherche multidisciplinaire et translationnelle. Les plateformes sont utilisées par des collaborateurs internes et externes du monde universitaire et de l'industrie et ont été gérées par du personnel permanent.

L'unité est très dynamique dans la diffusion scientifique avec la participation à des congrès internationaux (plus d'une centaine de présentations orales). Elle est également impliquée dans l'organisation de plus de 40 conférences nationales et internationales dans les domaines d'expertise de l'unité (comme des congrès sur les G-quadruplexes, PhysChemCell Orsay, Physics of Biological Systems Saclay, CLEO Europe, PhysBio).

La production scientifique de l'unité est globalement excellente. Le nombre de publications s'élève à 207 RICL, dont 106 signées en première, dernière ou position de correspondance, avec de remarquables découvertes sur de nouveaux mécanismes moléculaires et cellulaires impliqués dans la résistance aux antimicrobiens, les interactions entre biomolécules, l'organisation des tissus et la dérégulation dans les événements normaux et pathologiques de la physiologie des organes et tissus. Ces études ont été publiées dans certaines des meilleures revues spécialisées (Light : Sciences & applications, Nucleic acids research, Angewandte Chemie, etc.) ou dans des revues généralistes prestigieuses (Science, Nature Comm., Sci. Adv., etc.), démontrant l'excellent niveau de la recherche. Certains membres de l'unité sont également impliqués dans l'enseignement à l'École Polytechnique.

L'interaction avec le secteur non universitaire est très bonne pour toutes les équipes. La valorisation des résultats de leurs recherches est bonne, avec quatorze brevets et de nombreux partenariats industriels.

Le LOB participe à plusieurs réseaux et programmes interdisciplinaires de l'IPP, notamment Engineering for Health (E4H), une École universitaire de recherche (EUR BERTIP), au projet StEP2 du PIA4, à la chaire Technology for Change en tant que projet sur la résistance aux antibiotiques et au Centre Interdisciplinaire d'études pour la Défense et la sécurité (CIEDS).

L'unité a mis en œuvre des actions et des moyens pertinents en matière d'éthique et d'intégrité scientifique, de gestion des ressources humaines et de sensibilisation pour communiquer ses activités de recherche auprès d'un large public (écoles, industries, grand public).

Avec une nouvelle direction à partir de 2026, le LOB conservera les mêmes équipes ainsi que les mêmes axes de recherche et renforcera les capacités des nouvelles technologies qui ont été développées récemment, notamment l'imagerie ChroMS (Chromatic Multiphoton Serial) et l'ADASOPS (spectroscopie pompe-sonde multiéchelle fs-ms), tout en développant leurs applications à la biologie. Le LOB souhaite ainsi développer de nouvelles approches expérimentales et informatiques en imagerie pour renforcer les capacités de profondeur, rapidité et multimodalité, en combinant certaines techniques (light-sheet+FLIM, 3-photon+optique adaptative) et en développant en parallèle des pipelines bio-informatiques d'analyse de l'image in vitro et in vivo.

En conclusion, le LOB est un excellent institut de recherche interdisciplinaire très bien positionné aussi bien au niveau national qu'international.

ÉVALUATION DÉTAILLÉE DE L'UNITÉ

A - PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Plusieurs mises en garde avaient été formulées par le précédent comité, dont certaines ont été prises en compte, comme l'amélioration de l'obtention de financements sur projets, le recrutement de postdoctorants, ainsi que la gestion de la scission de la ComUE Paris-Saclay pour maintenir les projets collaboratifs, le financement local et le recrutement de doctorants. En effet, le LOB a réussi à obtenir de nombreux financements nationaux et européens, notamment de l'ANR, de l'ANRS, de l'INCa, de l'ERC (Synergy HOPE) et de deux réseaux doctoraux MSCA. Malgré la séparation de l'université Paris-Saclay, les contrats doctoraux et postdoctoraux ont augmenté grâce aux financements de l'IPP et aux allocations nationales et européennes. De plus, la qualité de la production scientifique s'est considérablement améliorée avec la publication d'études phares dans des revues prestigieuses telles que Nucleic Acids Res., Nature Comm., Science Adv., Light : Science & Appl., et Advanced Sci. Cell.

Bien que le niveau des brevets soit relativement stable, la valorisation a diminué en termes de licences et d'activités de startups (fermeture de Lumedix), mais cela paraît découler de conditions économiques et technologiques externes qui sont indépendantes de l'activité de recherche du LOB. D'autre part, l'unité est toujours très active en termes de brevets et de contrats industriels (L'Oréal, Bitplane).

Le relatif manque de convergence des quatre équipes dans leurs collaborations sur des sujets scientifiques, technologies ou approches expérimentales a été soulevé par les deux comités Hcéres précédents, mais l'unité a répondu de manière adéquate à cette critique en resserrant les projets de collaboration entre ses équipes qui, par ailleurs, partagent des méthodologies et technologies communes.

B - DOMAINES D'ÉVALUATION

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

Appréciation sur les objectifs scientifiques de l'unité

Les objectifs scientifiques de l'unité sont excellents. Le LOB développe une recherche très compétitive en microbiologie, sur les interactions entre les acides nucléiques et les protéines, en imagerie et en optique avancées afin de mieux comprendre les processus biologiques et de produire des avancées technologiques dans de vastes aspects de la physiopathologie, avec un excellent potentiel de valorisation biomédicale et thérapeutique. Le départ à la retraite de certains biologistes et l'absence d'affiliation du CNRS Biologie pourrait fragiliser l'aspect interdisciplinaire.

Appréciation sur les ressources de l'unité

Le LOB a su se doter des ressources nécessaires à ses recherches au cours du dernier mandat. Les ressources humaines sont globalement raisonnables et en hausse. Le financement externe est assez exceptionnel, ce qui a permis de développer des plateformes et des installations de pointe, telles que le Morphoscope, et de mener des recherches originales.

Appréciation sur le fonctionnement de l'unité

Le fonctionnement de l'unité est également très efficace. Chaque équipe dispose d'une masse critique adaptée au volume de son activité. Le LOB fonctionne sur un mode de management collaboratif qui apparaît fluide et semble satisfaire toutes les catégories de personnel. L'unité a mis en œuvre avec succès des actions pertinentes pour se conformer aux réglementations en matière de gestion des ressources humaines et des plateformes technologiques, de santé et de sécurité, d'égalité entre les hommes et les femmes et de communication scientifique. Lors de la visite du site, le comité a néanmoins remarqué que certaines salles ont besoin de travaux pour les rendre moins sonores et plus confortables. En outre, certains membres du personnel d'appui à la recherche ont évoqué de lourdes charges de travail, notamment en biologie.

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

Points forts et possibilités liées au contexte

Le LOB développe des projets de recherche interdisciplinaire et fondamentale à l'interface entre la biologie, la biophysique et la physique, qui pourraient également représenter une avancée technologique et technique majeure en matière de santé publique, avec un réel potentiel de valorisation. Dans ce contexte, les équipes ont réorganisé les projets et les stratégies pour répondre à certaines des critiques formulées par le précédent comité.

L'interdisciplinarité de l'unité s'étend de la recherche en microbiologie et des mécanismes moléculaires de l'adaptation microbienne, à la dynamique quantitative des interactions moléculaires et aux études optiques et d'imagerie de l'organisation des systèmes biologiques dans les événements normaux et pathologiques de la physiologie et de la pathologie des tissus/organes, tels que l'infection et les maladies.

L'unité profite de la synergie et de la complémentarité de ses propres équipes pour développer des projets communs en combinant différentes approches expérimentales et informatiques. Les projets impliquent la participation de groupes externes dans le cadre de vastes programmes scientifiques, aussi bien locaux (E4H, CIEDS, EUR BERTIP) que nationaux (nombreux contrats ANR, STeP2 du PIA4) ou européens (ERC, MSCA).

Points faibles et risques liés au contexte

Les performances de chaque équipe sont excellentes, mais le départ à la retraite de certains biologistes et le fait que CNRS Biologie n'ait pas souhaité renouveler son affiliation à l'unité peuvent être une menace qui pourrait fragiliser l'aspect interdisciplinaire du LOB.

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

Le LOB est bien doté en ressources humaines (65 personnes) pour assurer son activité de recherche. Environ la moitié du personnel occupe des postes permanents, le CNRS étant le principal employeur. Il accueille actuellement onze ingénieurs et techniciens permanents, dix-sept chercheurs et huit enseignants-chercheurs. Il accueille aussi dix-huit doctorants et neuf postdoctorants. Chaque équipe forme régulièrement des étudiants de master.

L'unité a obtenu des ressources financières internes provenant des institutions suivantes : École Polytechnique, CNRS, Inserm qui représentent environ 17 % du budget (hors salaires) de l'unité.

Les subventions externes proviennent à la fois d'appels à projets nationaux, y compris ANR, ANRS, INCa, E4H, AID, et d'appels à projets européens, y compris deux réseaux doctoraux MSCA (LightDynamics 2018-22 et 4D Heart 2017-21) et un financement ERC Synergy (HOPE 2021-27).

Grâce aux subventions internes et externes, le montant total obtenu par le LOB est d'environ 12 M€ pour les six dernières années, permettant d'assurer les dépenses de consommables, d'équipements scientifiques, de maintenance de fonctionnement, ainsi que de stimuler l'utilisation de nouvelles technologies et de développer des projets scientifiques au sein de chaque équipe et en collaboration.

Les équipes 1 à 3 disposent de moyens financiers raisonnables et comparables pour soutenir leurs propres projets et activités de recherche, tandis que l'équipe 4 dispose de ressources financières exceptionnelles, notamment du fait du financement ERC.

Points faibles et risques liés au contexte

Le comité a noté que certaines activités n'ont pas bénéficié de financements récents (STORM). Même si c'est assez inévitable dans un contexte majoritaire de financements compétitifs et même si le LOB pratique une saine mutualisation partielle des financements, ceci constitue un point d'attention.

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

Le fonctionnement interne repose sur deux comités, le conseil de laboratoire composé de douze membres élus et nommés et le CODIR auquel chaque enseignant, chercheur et ingénieur de recherche peut participer. Le conseil de laboratoire se réunit trois fois par an pour discuter des différents aspects de la vie de l'unité. Une assemblée générale est également organisée une fois par an. Le CODIR se réunit au moins quatre fois par an

pour discuter des projets scientifiques et du recrutement des étudiants et des postdoctorants, ainsi que de la communication avec les tutelles.

Le LOB organise un séminaire hors murs tous les deux ans, en alternance avec un séminaire de doctorants.

Pour chaque plateforme et service, il y a un responsable, y compris pour l'hygiène et la sécurité, le laser, la chimie, la parité/égalité, la transition écologique et la communication, la formation, ainsi que la valorisation.

Plusieurs membres du personnel de l'unité enseignent à l'École Polytechnique ou à l'université Paris Saclay.

Le LOB a mis en œuvre des actions spécifiques pour se conformer au règlement régissant la gestion des ressources humaines, les risques psychosociaux, l'éthique (bien-être des animaux et intégrité scientifique), la sécurité, l'environnement et la protection du patrimoine scientifique. Par exemple, tous les nouveaux arrivants doivent suivre une formation sur la santé et la sécurité et les gestes écologiques dès leur arrivée.

Le LOB promeut l'égalité des sexes et lutte contre le harcèlement sexuel et la discrimination. La parité F/H est seulement d'environ 2/3 pour les permanents, mais de 1/1 pour les doctorants. Le LOB participe activement au mentorat spécifique pour les doctorantes organisé par IP Paris.

Points faibles et risques liés au contexte

Lors de la visite du site, le comité a remarqué que les plateformes laser (principalement gérées par les équipes 2 et 3) sont très bruyantes du fait notamment de la ventilation des bains thermostatés. Cela peut entraîner des problèmes de santé pour le personnel qui travaille dans ces salles. Des mesures doivent être prises dès que possible pour garantir un environnement sain dans ces salles.

Des personnels d'accompagnement de la recherche (PAR) ont évoqué leur lourde charge de travail liée aux tâches communes de multiples projets, ce qui nuit à leur implication intellectuelle et technique dans les projets scientifiques.

DOMAINE 2 : ATTRACTIVITÉ

Appréciation sur l'attractivité de l'unité

L'attractivité du LOB est excellente, avec de nombreux projets lauréats aux niveaux national (principalement ANR) et européen (ERC et MSCA), plusieurs partenariats industriels, quatre prix scientifiques, dix-huit doctorants et neuf postdoctorants au cours des six dernières années, démontrant sa position compétitive aux niveaux national et international. L'unité est également très impliquée dans les conférences nationales et internationales. D'excellentes plateformes et installations sont en place pour garantir la réussite des projets.

- 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

Les responsables et les scientifiques de chaque équipe ont présenté leurs travaux dans différentes conférences nationales (31) et internationales (82) sur invitation. En outre, les étudiants, les postdoctorants et les chercheurs ont diffusé et communiqué les résultats de leurs recherches en participant à une centaine de conférences internationales, de séminaires, de présentations orales et de posters.

Les membres du LOB exercent de nombreuses activités pour la communauté scientifique : jurys de thèse/HDR, comité d'agences de financement, conseils scientifiques et universitaires nationaux et locaux, comité de rédaction de revues internationales et nationales dans les domaines de la biologie, de la biochimie et de la

physique (European Physical Journal, Applied Physics and Applied Biochemistry, Scientific Reports...), éditeurs dans toutes ces revues disciplinaires. Beaucoup sont membres de plusieurs GDR et responsables de sociétés scientifiques (Société française de microscopie, Comité du club PSV, FEMTO, etc.).

Les équipes du LOB ont organisé plus de 40 conférences internationales et nationales (telles que G-quadruplexes meeting, PhysChemCell Orsay, Physics of Biological Systems Saclay, CLEO Europe, PhysBio, etc.).

Le LOB est actif dans l'enseignement et la formation des étudiants et postdoctorants. Cinq chercheurs ou enseignants-chercheurs ont rejoint l'unité au cours du mandat actuel.

Le comité relève quatre prix scientifiques, dont la médaille d'argent 2019 du CNRS, le European microscopy award for the life sciences de la European Microscopy Society, le Prix Castaing de la Société Française des microscopies et une nomination comme membre de l'Academia Europaea. En outre, plusieurs prix de thèse et communications ont été attribués à des étudiants. Des doctorants internationaux et nationaux ainsi que des post-doctorants ont travaillé ou travaillent encore au LOB et plusieurs d'entre eux ont obtenu des allocations compétitives dans le cadre de programmes internationaux, étrangers ou nationaux, y compris deux financements MSCA (Marie Skłodowska-Curie Actions).

Grâce à sa très bonne activité de demandes et d'obtentions de subventions externes, ainsi que plusieurs partenariats industriels (Biothelias, Air Liquide Santé et Hoffman La Roche), le LOB dispose d'un parc d'équipements et de plateformes remarquable : laboratoire de biologie (dont un espace L2) alloué aux expériences, installation animale pour travailler sur le poisson zèbre, plateforme Morphoscope pour la microscopie avancée et nombreuses installations laser de spectroscopie et d'imagerie.

Les plateformes sont utilisées par des chercheurs internes et externes issus du monde universitaire et de l'industrie. Un service d'hébergement de souris est en cours de mise en place. Toutes les plateformes sont gérées par du personnel permanent.

L'accompagnement des postdoctorants et des jeunes chercheurs vers l'autonomie scientifique et leur future carrière est excellent, en favorisant le développement de leurs propres projets et en les faisant apparaître en tant que premiers ou derniers auteurs dans les publications.

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

Le recrutement de chercheurs par concours nationaux est un point faible, car aucun n'a été recruté au cours de la période d'évaluation.

La gestion des plateformes pour les utilisateurs externes n'est pas encore bien formalisée, même pour les plateformes labellisées IBISA, telles que le Morphoscope.

DOMAINE 3 : PRODUCTION SCIENTIFIQUE

Appréciation sur la production scientifique de l'unité

La production scientifique du LOB est excellente tant en qualité qu'en quantité (207 publications scientifiques dont plus de 100 signées en position de leader). L'unité a produit de nombreuses contributions dans les domaines de la microbiologie, des interactions biomoléculaires, de l'imagerie et de l'optique publiées dans certaines des meilleures revues de spécialités (Light : Sciences & applications, Nucleic acids research, Angewandte Chemie, etc.) et des revues générales prestigieuses (Science, Nature Comm., Sci. Adv., etc.), démontrant l'excellent niveau de sa recherche.

- 1/ La production scientifique de l'unité satisfait à des critères de qualité.*
- 2/ La production scientifique de l'unité est proportionnée à son potentiel de recherche et correctement répartie entre ses personnels.*
- 3/ La production scientifique de l'unité respecte les principes de l'intégrité scientifique, de l'éthique et de la science ouverte. Elle est conforme aux directives applicables dans ce domaine.*

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

Le LOB a produit un total de 207 publications, comprenant des articles originaux et des articles de revue évalués par des pairs. Parmi celles-ci, 106 ont été signées en tant que premier, dernier ou auteur correspondant et publiées dans des revues de spécialités, multidisciplinaires ou généralistes, notamment Science, Nature

communications, Nucleic acids research, Developmental cell, Light : Sciences & applications, Angewandte Chemie...

La production scientifique est bien équilibrée et proportionnelle aux ressources humaines de chaque équipe, avec les doctorants, postdoctorants, chercheurs et ingénieurs associés aux publications.

Quatorze brevets ont également été déposés et acceptés, ce qui témoigne d'un excellent engagement de l'unité en faveur de la valorisation économique.

L'intégrité scientifique et l'éthique sont conformes aux législations européenne et nationale, avec un soin particulier pour l'exactitude et la précision des cahiers de laboratoire et l'utilisation de protocoles validés et mis à jour. La science ouverte est également promue, notamment l'utilisation généralisée de la plateforme HAL.

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

Le nombre d'articles publiés dans les revues généralistes de premier plan pourrait être augmenté.

DOMAINE 4 : INSCRIPTION DES ACTIVITÉS DE RECHERCHE DANS LA SOCIÉTÉ

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

L'interaction de l'unité avec le secteur économique est remarquable, de nombreux contrats industriels ayant été conclus au sein de chaque équipe. Le LOB a également accueilli deux jeunes entreprises, Epilab et Lumedix, au cours de la période d'évaluation actuelle, qui ont toutefois cessé leur activité. L'unité a mis en œuvre des actions et des moyens de communication pertinents pour faire connaître ses activités de recherche aux écoles et au public. Plusieurs actions ont été mises en place pour favoriser l'équilibre entre les hommes et les femmes et lutter contre tout type de discrimination.

- 1/ L'unité se distingue par la qualité et la quantité de ses interactions avec le monde non-académique.*
- 2/ L'unité développe des produits à destination du monde culturel, économique et social.*
- 3/ L'unité partage ses connaissances avec le grand public et intervient dans des débats de société.*

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

Le LOB encourage les partenariats non académiques avec des partenaires industriels et a généré quatorze brevets au cours des six dernières années. Ces partenariats soutiennent des projets industriels, notamment L'Oréal-Recherche avancée pour la recherche sur la peau et les cheveux, Bitplane pour l'imagerie tridimensionnelle multimodale, Air Liquide Santé pour les effets physiopathologiques des gaz, Amplitude pour la recherche sur les lasers, Hoffman La Roche pour les pathologies de fibro-santé et un projet pour la recherche sur la cornée. Le LOB a également activement participé à l'émergence de deux startups, Epilab et Lumedix, qui ont malheureusement dû cesser leur activité.

Les activités de sensibilisation ont été développées au travers de différentes publications de la presse institutionnelle (Polytechnic Insights, Inserm et CNRS), de réseaux avec le public (Femto, CAIRN, la Banque Française des Yeux), livres, ainsi que des podcasts radio et vidéo (Voyage au centre de la thèse et sur Spotify, Deezer, Amazon Music, Google Podcast), des journaux et magazines, des conférences publiques (comme art et science) et des visites d'écoles. Les principales publications sont transmises aux services de communication des tutelles et diffusées vers les médias grand public par ces canaux institutionnels. En particulier, la collaboration en matière de restauration du patrimoine a été facilement médiatisée. Le LOB participe évidemment à la fête de la Science.

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

Néant.

ANALYSE DE LA TRAJECTOIRE DE L'UNITÉ

La nouvelle équipe de direction sera composée d'une directrice DR CNRS physicienne et d'un directeur adjoint DR Inserm biologiste. Cette proposition est très appréciée, car leurs différentes expertises et formations reflètent l'aspect pluridisciplinaire du LOB.

En ce qui concerne la gestion et la politique générale des thèmes de recherche développés dans l'unité, la nouvelle direction s'inscrit dans la continuité, avec les mêmes axes et équipes conservées. Les thèmes déjà existants seront explorés en profondeur afin d'ouvrir la voie à de nouvelles technologies et applications en biologie, tant au niveau fondamental qu'en termes d'applications économiques ou cliniques.

L'équipe 2 est prête à faire face aux départs en retraite de trois chercheurs et un ingénieur, par de nouveaux arrivants, tels qu'un DR CNRS qui vient d'arriver en mutation. En outre, un autre chercheur CNRS pourrait rejoindre l'équipe 1 pour renforcer la microbiologie.

Les trajectoires spécifiques des projets sont détaillées par chaque équipe.

En raison du manque d'espace (nouveaux locaux) et de la volonté de concentrer la recherche sur les axes déjà existants, la nouvelle direction ne propose pas d'évolution ou de changement en termes d'ouverture à de nouveaux responsables de groupe ou de nouveaux thèmes.

RECOMMANDATIONS À L'UNITÉ

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

Quelques possibles améliorations sont apparues à ce comité.

Des installations doivent être apportées en urgence pour mettre en sécurité certaines installations et réduire le bruit dans les salles qui hébergent les équipements laser et STORM. L'unité doit inciter ses tutelles à donner la priorité à la résolution de ces problèmes critiques pour le bien-être du personnel et pour maintenir la productivité.

Il convient d'inclure des mesures pour réduire les risques liés aux rénovations actuelles et futures des bâtiments, ce, en impliquant les utilisateurs : par exemple planifier de manière proactive les perturbations potentielles lors des rénovations, en assurant la continuité du travail de recherche grâce à des installations temporaires ou d'autres mesures d'atténuation.

Quelques recommandations spécifiques :

Il est suggéré de mettre en place un argumentaire pour convaincre les tutelles de recruter deux ingénieurs (IE et IR), en mettant l'IE en priorité, car ce poste aura plus de chances d'aboutir. Ce recrutement de PAR pour la plateforme de biologie devrait être priorisé pour alléger la charge de travail qu'induit cette installation. Ces dernières années, l'unité s'est agrandie et a recruté un nombre important de doctorants et de postdoctorants, tandis que le nombre de PAR est resté constant. De plus, certains PAR partagent leur travail entre deux équipes et sont responsables de la gestion des dépenses communes de l'unité.

Pour améliorer l'organisation du plateau de biologie, il est proposé de mettre en place une organisation de partage des tâches communes entre tous les personnels de l'unité, y compris les doctorants et les postdoctorants. Idéalement, pour assurer le bon fonctionnement de cette nouvelle organisation, l'ensemble du personnel, y compris la direction et les chercheurs, devrait être impliqué avec la nomination d'un PAR de référence.

Un suivi médical plus spécifique devrait être mis en place pour le personnel qui travaille dans des locaux/installations bruyantes, ainsi que pour d'autres que la direction du LOB a identifiés.

Pour améliorer la gestion des dossiers de carrières et des promotions des PAR, le comité suggère de désigner un PAR senior qui prenne en charge ces questions et conseille les plus jeunes. L'implication de chaque n+1 dans la gestion des carrières semble essentielle.

La proposition de nouvelle organisation des tâches communes au sein du département de biologie permettra aux PAR de s'impliquer davantage dans les projets. Le comité recommande de chercher à les intégrer davantage dans les conceptions intellectuelles et méthodologiques des projets.

Recommandations concernant le domaine 2 : Attractivité

Le LOB est actuellement une unité attractive avec un profil international marqué au niveau des chercheurs et des responsables d'équipe. L'unité devrait maintenir et si possible étendre sa forte réputation internationale par le biais de publications à fort impact, de la participation et l'organisation de conférences internationales et de rôles de premier plan dans des réseaux collaboratifs.

L'unité pourrait envisager de mettre en place son propre conseil scientifique externe (SAB) afin de renforcer la contribution et de favoriser les relations avec les réseaux universitaires d'élite mondiaux. Cela contribuerait à garantir la mise en œuvre de stratégies scientifiques optimales au sein de l'unité. En particulier, ce SAB pourrait

guider l'unité pour ses évolutions futures afin d'éviter les risques d'une éventuelle diversification thématique trop large.

Quelques recommandations spécifiques :

L'unité doit persister à essayer d'obtenir la labellisation du CNRS Biologie, en plus du rattachement principal au CNRS Physique.

Au niveau de la direction, le comité recommande de poursuivre une approche consensuelle entre les scientifiques et les différentes équipes, notamment pour définir les priorités en matière de demandes de financement, de recrutement et de gestion administrative.

Le comité encourage l'unité à continuer de valoriser le travail des doctorants et des postdoctorants comme cela a été fait jusqu'à présent, car cette politique accroît l'attractivité et la visibilité du LOB.

Recommandations concernant le domaine 3 : Production scientifique

Le comité recommande de continuer à publier des articles scientifiques de haute qualité.

Pour garantir la réussite des jeunes chercheurs, un programme de mentorat pourrait être mis en place pour guider les chercheurs juniors dans la gestion des stratégies de publication et le développement de leurs activités de recherche, afin d'optimiser leurs résultats.

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

Le LOB est très actif en matière de contributions sociétales, à une échelle adaptée à sa taille ; le comité encourage l'unité à poursuivre ces activités et notamment dans le domaine de la valorisation économique et la création et l'hébergement de startups.

L'unité pourrait envisager de développer une politique davantage coordonnée pour améliorer et unifier les activités de valorisation de toutes les équipes, ce qui augmenterait encore sa visibilité sociétale.

Le comité a beaucoup apprécié l'initiative « voyage au centre de la thèse » portée par les doctorants et les encourage à la pérenniser et à l'étendre à d'autres unités de l'école doctorale.

ÉVALUATION PAR ÉQUIPE OU PAR THÈME

Équipe 1 : MOMEMBIO

Nom du responsable : M. Hannu Myllykallio

THÉMATIQUES DE L'ÉQUIPE

L'équipe MOMEMBIO étudie les mécanismes de résistance des bactéries aux antibiotiques, de duplication et de réparation de l'ADN bactérien et la fonction G-quadruplex de l'ADN viral, bactérien et parasitaire. Les projets incluent la mise en évidence de nouvelles réactions enzymatiques, la réparation de l'ADN dans la résistance aux antimicrobiens, la structure et la dynamique de l'expression des gènes chez les archées, ainsi que la structure et la fonction de l'ADN G4 en microbiologie et chez les parasites. Sur le plan méthodologique, l'équipe combine des approches biochimiques, génomiques, biophysiques et de biologie computationnelle.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Dans l'ensemble, toutes les recommandations ont été correctement prises en compte, en améliorant la qualité des publications dans les revues généralistes et spécialisées (telles que PNAS, Nat. Comm., Nucleic Acids Res., RNA Biol., Biochem. J., Angew. Chem.), en développant des projets interdisciplinaires à l'intérieur et à l'extérieur du LOB et en améliorant la visibilité de l'équipe par la présentation de ses travaux lors de conférences internationales. L'équipe a également augmenté ses financements propres, notamment issus de l'ANR, de l'ANRS et de l'INCa, ainsi que le nombre d'étudiants en doctorat.

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

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	2
Maitres de conférences et assimilés	2
Directeurs de recherche et assimilés	3
Chargés de recherche et assimilés	1
Personnels d'appui à la recherche	1
Sous-total personnels permanents en activité	9
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	0
Personnels d'appui non permanents	1
Post-doctorants	0
Doctorants	6
Sous-total personnels non permanents en activité	7
Total personnels	16

ÉVALUATION

Appréciation générale sur l'équipe

La production scientifique est excellente avec des contributions originales dans différents modèles (Nat. Com 2023, Nucleic Acids Res. 2018 et 2022, etc.). L'attractivité est excellente avec quatre chercheurs ou enseignants-chercheurs qui ont rejoint l'équipe récemment. L'équipe a obtenu des financements nationaux compétitifs de l'ANR, l'INCa, l'AID et l'ANRS. Elle a recruté treize doctorants, sur financements IPP et CSC, et deux postdoctorants, sur financements européens. L'équipe a levé jusqu'à 1,5 M€ de financements propres. Le nombre d'invitations à des conférences internationales et d'organisation est remarquable. La valorisation est très bonne, avec cinq brevets acceptés, même si aucun d'entre eux n'a encore été licencié.

Points forts et possibilités liées au contexte

Pendant la période d'évaluation, l'équipe a compté huit scientifiques titulaires et six ingénieurs. Depuis 2018, l'équipe a réussi à attirer treize doctorants et deux postdoctorants, ce qui fait d'elle l'équipe la plus attractive de l'unité en termes de doctorants, même si on note deux abandons.

L'équipe a obtenu des financements nationaux très compétitifs en tant que coordinateur, dont trois contrats ANR, et plusieurs allocations doctorales (IPP et CSC) et postdoctorales (UE). Au total, l'équipe a levé environ 1,5 M€ de financements sur projets depuis 2018.

Le travail de l'équipe est reconnu internationalement dans son domaine, comme en témoignent plusieurs publications dans des revues à fort impact et les présentations orales récurrentes lors de conférences nationales et internationales (> 20 au cours des six dernières années). Les doctorants ont contribué de manière significative à la production scientifique de l'équipe en rédigeant et cosignant de nombreux articles originaux.

Un chercheur de l'équipe est codirecteur du programme d'ingénierie pour la santé (E4H) de l'IPP, ce qui facilite des interactions avec des partenaires non académiques.

La production scientifique est excellente, avec 99 articles, dont 44 en tant que premier, correspondant et (co-) dernier auteur (Nat. Com 2023, Nucleic Acids Res. 2018 et 2022, Biochemistry 2019, etc.), et deux chapitres de livres. De nombreuses publications sont issues de travaux collaboratifs, témoignant d'une bonne interaction avec les unités nationales et internationales. L'activité de recherche est multidisciplinaire et se caractérise par l'utilisation de technologies et techniques innovantes que l'équipe a mises en œuvre et modifiées pour les améliorer et les adapter à ses sujets d'étude.

La valorisation est très bonne avec le dépôt de cinq brevets, même si aucun n'a encore été licencié.

L'équipe est continuellement active dans les activités de vulgarisation, de diffusion de ses résultats et de ses connaissances lors de séminaires, d'événements sociaux tels que La Fête de la Science, de podcasts, de médias sociaux comme LinkedIn et de publications dans les magazines du CNRS et de l'IPP.

Points faibles et risques liés au contexte

Compte tenu de l'attractivité et des moyens de l'équipe, il y a eu trop peu de postdoctorants (deux) pendant la période.

Bien que ses travaux de recherche aient un potentiel certain de valorisation économique, l'équipe ne semble pas interagir avec des sociétés pharmaceutiques ou biotechnologiques qui lui permettraient d'obtenir des financements complémentaires.

Analyse de la trajectoire de l'équipe

L'équipe présente une trajectoire structurée, fondée sur des données publiées et non publiées et se concentre sur cinq projets différents : i) nouveaux mécanismes de réaction enzymatique dans le contexte de la résistance antimicrobienne (AMR) ; ii) réparation de l'ADN et émergence de l'AMR ; iii) structure et dynamique de l'expression des gènes chez les archées ; iv) biophysique computationnelle ; et v) structure et fonctions des G-quadruplexes. Un projet actuellement développé portant sur les protéines de détection de CO à base d'hème sera interrompu en raison du départ à la retraite du scientifique qui le développe.

Le premier projet porte sur le rôle biochimique de la flavoenzyme microbienne dans la DMLA et est financé par une subvention ANR, en collaboration avec l'équipe 2 pour explorer des applications potentielles en tant que nouveaux photocommutateurs.

Le deuxième projet se concentre sur les enzymes NucS, découvertes par l'équipe et impliquées dans la réparation de l'ADN par des mécanismes de mésappariement non canoniques. Le futur projet sera développé, entre autres, vers le(s) rôle(s) biochimique(s) et fonctionnel(s) des nouveaux interacteurs NucS. Dans le cadre de ce projet, l'équipe s'intéresse également à l'étude de nouveaux mécanismes biochimiques de réparation de l'ADN dans l'AMR.

Le troisième projet est financé par l'ANR et est développé en collaboration avec l'équipe 3. Dans ce projet, l'équipe caractérise les foyers de réplication de l'ADN des archées par imagerie STORM, pour cartographier précisément les réplisomes par cellule et les caractériser en fonction de la ploïdie et de l'environnement de la cellule. Un projet parallèle de cet axe consiste à étudier la circularisation et la dégradation de l'ARN dans les cellules de *P. abyssi*.

Le quatrième axe est financé par un contrat ANR et relie principalement les projets de l'équipe à une valorisation écologique, comme le développement de biocarburants. Dans cet axe, des approches de biophysique computationnelle et d'IA sont utilisées.

Un cinquième et nouvel axe développé par l'équipe concerne la structure et la fonctionnalité des structures G4 dans les virus et la DMLA ainsi que dans les parasites. Différents collaborateurs internes et externes ont été identifiés pour réaliser les projets proposés.

Dans l'ensemble, la trajectoire de l'équipe semble ambitieuse, mais réalisable compte tenu de l'expérience de l'équipe, de la disponibilité des financements et du personnel présent dans l'équipe. Néanmoins, les sujets d'intérêt de l'équipe semblent un peu trop larges, avec un risque de dispersion des ressources humaines, car l'expertise doit être construite et conservée dans divers domaines de la biologie.

RECOMMANDATIONS À L'ÉQUIPE

Le comité recommande à l'équipe de poursuivre son excellente activité de recherche et sa trajectoire, notamment sur les mécanismes de résistance aux antimicrobiens et la microbiologie des archées.

L'équipe pourrait se concentrer sur un nombre plus réduit de projets, ce qui pourrait entraîner une moindre dispersion et une productivité de recherche plus élevée.

L'équipe devrait également être plus active dans le recrutement de postdoctorants.

Équipe 2 : DynaBio

Nom du responsable : Mme Pascale Changenet

THÉMATIQUES DE L'ÉQUIPE

Les thématiques de recherche de l'équipe DynaBio portent sur l'étude de processus biologiques fondamentaux (repliement d'ADN en G-quadruplexes, photoenzymes pour la chimie verte, etc.) à l'échelle moléculaire par des méthodes de spectroscopie résolue en temps. L'équipe a développé divers montages expérimentaux de type pompe-sonde, avec une gamme temporelle exceptionnelle allant de la centaine de femtosecondes à la seconde, et une gamme spectrale de l'ultraviolet (UV) à l'infrarouge (IR). Ces développements expérimentaux réalisés permettent de sonder les changements conformationnels dans les protéines et l'ADN.

Les systèmes étudiés sont les flavoprotéines, les protéines récepteurs et capteurs d'oxyde nitrique (NO) à base d'hème, et le repliement de l'ADN en G-quadruplexes.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Lors de la précédente évaluation, les recommandations pour l'équipe 2 étaient d'interagir plus avec les autres équipes de l'unité et de recruter plus d'étudiants en thèse.

Le premier point a été amélioré en mettant en place des réunions mensuelles, ouvertes à tous les membres de l'unité, afin de présenter les dernières avancées de l'équipe. Par ailleurs, le projet combinant les développements expérimentaux du dichroïsme circulaire résolu en temps avec la méthode ADASPOS a permis de renforcer les interactions internes à l'équipe.

Le deuxième point de vigilance reste le recrutement de doctorants, avec seulement au cours de la période évaluée quatre doctorants et un postdoctorant pour huit permanents. L'équipe justifie la difficulté de recrutement de doctorants par le manque de candidats sur ces sujets interdisciplinaires.

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

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	0
Maitres de conférences et assimilés	0
Directeurs de recherche et assimilés	4
Chargés de recherche et assimilés	0
Personnels d'appui à la recherche	4
Sous-total personnels permanents en activité	8
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	0
Personnels d'appui non permanents	0
Post-doctorants	0
Doctorants	1
Sous-total personnels non permanents en activité	1
Total personnels	9

ÉVALUATION

Appréciation générale sur l'équipe

L'équipe mène une recherche d'excellente qualité reconnue internationalement autant par des innovations technologiques que par des avancées dans ses thématiques de recherche. La renommée de l'équipe est indiscutable comme en attestent les nombreux articles publiés et les invitations fréquentes à contribuer à des conférences nationales et internationales.

Points forts et possibilités liées au contexte

Les développements expérimentaux sont très innovants et uniques nationalement et internationalement avec une gamme spectrale étendue et l'étude de dynamiques moléculaires de la dizaine de femtosecondes à la seconde. Ces études et développements sont interdisciplinaires et la bonne synergie au sein de l'équipe et de l'unité permet de réunir en un seul lieu toutes les compétences nécessaires. Par ailleurs, l'équipe a établi plusieurs collaborations nationales et internationales financées par trois projets ANR.

Les réunions mensuelles d'équipe, ouvertes à toute l'unité, ont permis, par exemple, la collaboration intraéquipe pour implémenter la méthode ADASOPS (Arbitrary Detuning ASynchronous OPTical Sampling) au dichroïsme circulaire résolu en temps, avec le soutien d'un financement ANR.

Un développement commercial de la méthode brevetée ADASOPS est en cours et permettrait d'initier de nombreuses collaborations dans la communauté de spectroscopie ultrarapide. Ces développements devraient permettre d'observer les mouvements moléculaires en temps réel sur des fenêtres temporelles étendues, en favorisant des collaborations avec des domaines où les techniques de pompe-sonde sont peu appliquées comme la photocatalyse et les matériaux.

L'équipe est bien dotée avec 1,15 M€ pendant la période évaluée. Ces financements permettent de poursuivre les développements expérimentaux et de renouveler le parc de lasers de l'équipe. Ces aspects technologiques bénéficient également de l'aide technique de l'unité avec trois ingénieurs d'étude. L'ingénieur d'étude électronicien a été très impliqué dans le développement de l'ADASOPS et il est co-inventeur du brevet.

Les recherches conduites au sein de l'équipe sont à la pointe de ce qui existe dans le domaine, comme en attestent les invitations des chercheurs à des conférences nationales et internationales (GDR UP 2022, Europhotons 2022, CLEO US 2022). Les chercheurs sont impliqués dans les comités des sociétés savantes de leur domaine, l'organisation des conférences (GDR UP, Réseau Femto) et les comités de recrutement CNRS et IPP.

La diversité des dispositifs expérimentaux est très attractive et l'équipe forme de nombreux étudiants en optique et spectroscopie. Ils ont accueilli des étudiants de l'École Polytechnique et de l'École Centrale, par exemple. Une procédure est en cours de validation pour offrir l'accès de la technique ADASOPS, sous forme d'une plateforme Ultrafast du PEPR LUMA, afin de favoriser les interactions nationales.

L'équipe publie d'excellents articles dans des journaux de très haute qualité (Science 2021, Chemical Science 2023, Journal of the American Chemical Society 2020, Optics Express 2023...).

Deux projets sont en cours avec plusieurs industriels tant pour ses techniques biochimiques et spectroscopiques que pour l'utilisation de lasers femtosecondes. Le brevet sur l'ADASOPS est en cours de valorisation avec un dépôt de brevet aux États-Unis (US10190972B2 en 2019).

Points faibles et risques liés au contexte

Deux points faibles sont à noter : i) les départs en retraite de trois chercheurs de l'équipe et d'un ingénieur de recherche ; ii) le manque de doctorant.

Concernant le premier point, l'arrivée récente par mutation d'un DR CNRS dont les thématiques sont en adéquation avec celles de l'équipe devrait pouvoir répondre au moins en partie à ce point. Par ailleurs, l'arrêt de la thématique de recherche sur les protéines récepteurs et capteurs d'oxyde nitrique, et la mise en commun des dispositifs expérimentaux autour de l'ADASOPS permettront de mutualiser les logiciels et les lasers.

Pendant la période d'évaluation, l'équipe n'a recruté que quatre doctorants qui ont tous obtenu leur thèse. Il est en effet difficile de recruter des étudiants compétents à la fois en biophysique, en physico-chimie et en spectroscopie ultrarapide. Il conviendrait de considérer le recrutement d'étudiants compétents dans un domaine de l'équipe et de les former sur les autres compétences nécessaires à ces sujets pluridisciplinaires.

Analyse de la trajectoire de l'équipe

L'équipe propose de combiner plusieurs approches innovantes pour étudier les dynamiques conformationnelles des biomolécules de l'échelle femtoseconde (quelques atomes) à la milliseconde (structure secondaire). Ces approches pourraient révéler des mécanismes biofonctionnels inconnus pour des molécules, des protéines et de l'ADN en combinant la méthode ADASOPS avec la détection CPU (Chirped Pulse Upconversion) d'impulsions dans le moyen infrarouge ainsi qu'avec la détection du dichroïsme circulaire résolu en temps dans l'UV-visible.

L'équipe propose d'étudier le photocycle complet de la protéine OCP (Orange Carotenoid Protein) par spectroscopie pompe-sonde et bidimensionnelle IR, en combinant la détection CPU moyen-IR et la méthode ADASOPS. Un projet collaboratif intitulé Mimuscopy, impliquant le LOB, le LCF, l'IBS et l'entreprise Amplitude, a été soumis à l'ANR.

Pour le développement de photo-commutateurs moléculaires sensibles au rouge, utiles pour des applications en nanoscopie ou en optogénétique, une compréhension détaillée des dynamiques structurales contrôlant le photocycle est nécessaire. Ce projet (ANR PHOTOCT, 2024-2028) combine des approches avancées de spectroscopie multiéchelle (ADASOPS), de cristallographie femtoseconde structurale (collaboration avec un chercheur de l'IBS Grenoble), de calculs de chimie quantique (collaboration avec un chercheur de l'université Paris Cité) et de bio-ingénierie (collaboration avec l'Équipe 1).

Une collaboration étroite avec l'équipe 3 pourra être établie après l'arrivée du DR CNRS, permettant la caractérisation, selon le tampon, du photocycle de colorants laser utilisés en spectroscopie de molécule unique.

Dans le cadre du PRME ANR ChirADASOPS (2022-2026) lancé en 2022, l'équipe développe la spectroscopie TRCD (Time-Resolved Circular Dichroism) multiéchelle, combinant la méthode ADASOPS avec leur nouvelle détection TRCD en prise unique. L'implémentation d'un nouveau laser comme source de la sonde TRCD permettrait d'améliorer la précision des mesures d'un ordre de grandeur, pour atteindre 0.1 m°. Cette avancée permettra d'étudier la dynamique de repliement de G-Quadruplexes d'ADN déclenchée par des photo-commutateurs azobenzène non liés de façon covalente.

L'équipe a également entamé une collaboration avec une chimiste (ISC, Rennes) pour étudier les états excités de complexes organométalliques. Le développement de ce nouveau thème en chimie inorganique permettra de développer un axe de recherche sur l'étude de la chiralité des complexes inorganiques interagissant avec l'ADN.

Dans les sGC (soluble guanylate cyclase stimulators), les intermédiaires observés par spectroscopie d'absorption transitoire multiéchelle seront davantage étudiés par TRCD afin d'identifier les changements structuraux. L'équipe 4 a récemment mis en place un nouveau mode de contraste qui permettrait de mesurer la différence de flux sanguin induite par la présence d'activateurs et d'inhibiteurs de la sGC dans les embryons de poisson-zèbre (ZF).

RECOMMANDATIONS À L'ÉQUIPE

Compte tenu de son potentiel, l'équipe pourrait faire des demandes de financements européens et plus généralement, vu la situation RH à court terme, elle pourrait privilégier davantage les demandes de financements de personnel.

L'équipe était historiquement rattachée à la CSS1 de l'Inserm avec deux personnels rattachés à cette section. Vu leur départ en retraite prochain et étant donné le recentrage des thématiques de l'équipe recentrées sur la technique ADASOPS, le comité suggère un rattachement à la CSS7 plutôt qu'à la CSS1. Le LOB a immédiatement suivi cette recommandation et contacté l'Inserm, qui a immédiatement validé ce changement.

L'équipe pourrait étendre l'accès à la technique ADASOPS et la plateforme Ultrafast à des équipes internationales. Cela est envisagé par des collaborations, mais une tarification et une ouverture plus large pourraient rapporter un financement pour des équipements.

Il serait souhaitable que l'équipe bénéficie du recrutement d'un ingénieur afin d'aider à l'interfaçage et à l'utilisation de la plateforme Ultrafast.

Le comité recommande à l'équipe de s'équiper de caissons d'insonorisation afin de réduire le niveau sonore des salles laser et d'envisager une demande de financement sur les fonds Hygiène et Sécurité auprès du CNRS ou de l'Inserm pour ces travaux.

Équipe 3 : NABODY

Nom du responsable : M. Cédric Bouzigues

THÉMATIQUES DE L'ÉQUIPE

L'équipe NABODY s'intéresse au suivi de molécules uniques à très haute résolution (STORM) et à la détection rapide à très haute sensibilité de protéines et d'ADN, grâce à des nanoparticules fluorescentes et aux appareils portables qu'ils développent.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

Les recommandations précédentes concernaient le risque de dispersion, en particulier s'il n'y avait pas assez de doctorants, ainsi que l'obtention de financements plus importants (européens par exemple).

Au cours de la période considérée, l'équipe a employé six postdoctorants payés sur financements spécifiques (Fondation Bettencourt-Schueller) ou défense (DGA 2018, AID 2020), des appels d'offres locaux (CIEDS 2022) et nationaux (CNRS Tremplin, ANR 2022, RHU Records). Un postdoctorant est sur un contrat européen Marie Curie Sklodowska (2022 –2024, 212 k€). Deux ingénieurs ont été financés par des programmes SATT de prématuration. Cinq doctorants ont été financés par des allocations d'état et deux sont actuellement présents.

Certaines de ces recommandations sont toujours d'actualité, notamment le risque de dispersion des forces d'une petite équipe sur plusieurs projets et l'obtention de financements (nationaux ou européens) sur chaque projet actif.

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

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	0
Maitres de conférences et assimilés	1
Directeurs de recherche et assimilés	1
Chargés de recherche et assimilés	1
Personnels d'appui à la recherche	1
Sous-total personnels permanents en activité	4
Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	0
Personnels d'appui non permanents	0
Post-doctorants	3
Doctorants	2
Sous-total personnels non permanents en activité	5
Total personnels	9

ÉVALUATION

Appréciation générale sur l'équipe

L'équipe est centrée sur trois projets qui jouissent d'une très bonne reconnaissance internationale. L'interaction avec de nombreux collaborateurs de l'unité ou extérieurs est adaptée et efficace. Il demeure des questions sur la production des doctorants et des postdoctorants.

Points forts et possibilités liées au contexte

Les approches de détection de molécules biologiques d'intérêt (ADN, protéines...) à très haute sensibilité a fait l'objet de travaux d'excellent niveau (Nanoscale 2021, Analytical Chemistry 2023...), avec un fort potentiel de

valorisation (quatre brevets). De même, la mise en place de tampons adaptés pour le suivi à très haute résolution par imagerie STORM fait l'objet de publications importantes (ACS Photonics 2022...).

Un accent particulier a aussi été mis sur le suivi de la réponse EGF (epidermal growth factor) sur les glomérules rénaux (Nature Comm. 2019).

La production de chaque chercheur permanent est de haut niveau et régulière avec, pour certains aspects, une forte possibilité de valorisation.

Points faibles et risques liés au contexte

L'obtention de publications pour les doctorants devrait être plus soutenue et rapide. Parmi les sept doctorants affichés, un a abandonné, un n'a toujours pas de publication ou de brevet depuis son entrée dans l'unité en 2020, et deux autres partagent une seule publication.

De même, les postdoctorants devraient être soutenus pour publier plus activement.

L'absence de publication commune aux trois chercheurs permanents est liée à une trop grande diversité des thèmes de recherche qui devrait être reconsidérée.

Analyse de la trajectoire de l'équipe

Il est prévu que les trois axes de recherche actuels seront poursuivis avec en particulier :

- L'optimisation du clignotement (blinking) dans la technique STORM.
- La compréhension des mécanismes de réponse à l'EGF in cellulo sur des organes sur puces (organs-on chips) multicellulaires, qui permettront d'étudier les phénomènes physiopathologiques. Il s'agit de s'intéresser en particulier au suivi de la réponse ROS (reactive oxygen species) sous traitement EGF, en développant des méthodes et des outils sophistiqués, déjà bien avancés et originaux, mais non financés actuellement.
- Les tests de détection de protéines et d'acides nucléiques à très haute sensibilité sur la base des quatre brevets récemment déposés. Seul ce dernier axe est correctement financé et doit prochainement être valorisé.

RECOMMANDATIONS À L'ÉQUIPE

Le comité recommande de focaliser les forces en recherche fondamentale, en mettant plus en avant des projets communs aux trois chercheurs de l'équipe, et de rechercher des financements sur chaque projet.

Le comité souligne qu'il est important de finaliser les publications des doctorants et postdoctorants le plus rapidement possible.

Équipe 4 : MicroPhy
 Nom du responsable : M. Emmanuel Beaurepaire

THÉMATIQUES DE L'ÉQUIPE

Les thématiques de l'équipe se déclinent suivant plusieurs axes :

- L'imagerie multicolore large échelle et en profondeur du cerveau, grâce à la microscopie multiphotonique SHG (second harmonic generation) ou THG (triple harmonic generation), multispectrale en balayage point par point et faisant intervenir le mélange d'ondes, porté notamment par la technique ChroMS.
- L'imagerie de processus biologiques ultrarapides par excitation multiphotonique en microscopie à nappe de lumière, pour l'étude des dynamiques de fluides biologique ou l'étude des contractions cardiaques.
- L'imagerie sans marquage en polarimétrie non linéaire, l'étude de l'origine moléculaire des signatures polarimétriques (SHG) émergentes produites par différentes protéines polymériques semi-cristallines (myosine, collagène, etc.) et l'origine par la modélisation des anisotropies d'indice optiques à l'origine du signal THG.
- L'imagerie en temps de vie (FLIM) des molécules signature du métabolisme cellulaire (NADH, FAD), en TCSPC multiphotonique (Time Correlated Single Photon Counting), corrélée aux signatures THG des gaines de myéline pour mettre en relation les liens structure/fonction. Ainsi que le développement d'une plateforme logicielle d'analyse ad hoc (FLUTE).
- L'imagerie térahertz (THz) pour l'imagerie sans marquage de tissus biologiques afin d'étudier les variations de solutés à travers les membranes cellulaires et rendre compte de l'activité et de l'intégrité des cellules.
- L'imagerie de la morphogénèse embryonnaire par l'étude des modes de migrations de populations cellulaires bien identifiées et le lien avec la capacité des cellules à percevoir des indicateurs mécaniques extracellulaires.
- La caractérisation en SHG des tissus riches en collagène comme la cornée pour évaluer sa transparence et l'organisation des différentes couches dans des situations physiologiques ou pathologiques, et l'extension de l'approche à d'autres tissus comme la peau ou des tissus synthétiques biofabriqués.
- L'imagerie d'objets non biologiques, pour la caractérisation de matériaux générant des signaux endogènes en SHG ou en OCT (optical coherence tomography), comme des parchemins ou du vernis de violon, le tout pour caractériser les propriétés de matériaux anciens et comprendre leur dégradation.
- Le développement d'outils numériques pour l'analyse de signaux multimensionnels à haut niveau de contenu, par approches d'apprentissage machine, de géométrie quantitative, pour analyser, représenter et reconstruire les structures imagées (principalement du tissu neuronal).

Les thématiques de l'équipe sont foisonnantes et la grande capacité de l'équipe à produire une science du plus haut niveau international avec des techniques de pointe perdure.

PRISE EN COMPTE DES RECOMMANDATIONS DU PRÉCÉDENT RAPPORT

La précédente évaluation invitait l'équipe à augmenter le nombre d'étudiants en thèse ainsi que le nombre moyen de publications par chercheur. Les améliorations sont significatives, le nombre de doctorants en cours est passé de six à neuf et le ratio d'articles par chercheur (ETP) et par an est passé de 0,9 à 1,2.

L'équipe était aussi invitée à donner de l'ampleur et de la pérennité à Morphoscope. Là aussi, les actions sont très positives, par l'intégration du projet dans une grande infrastructure de recherche (FranceBioImaging) et par l'obtention de la labellisation IBISA.

Un point de vigilance concernant l'activité THz avait été soulevé, en signalant notamment la nécessité de consolider et soutenir cette activité. Cette remarque a été entendue et cela s'est traduit en production scientifique (cinq publications dans des journaux comme Adv. Sci., Opt. Lett., Biophys. J., Phys. Rev. A).

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

Catégories de personnel	Effectifs
Professeurs et assimilés	1
Maitres de conférences et assimilés	2
Directeurs de recherche et assimilés	5
Chargés de recherche et assimilés	2
Personnels d'appui à la recherche	2
Sous-total personnels permanents en activité	12

Enseignants-chercheurs et chercheurs non permanents et assimilés	0
Personnels d'appui non permanents	1
Post-doctorants	6
Doctorants	9
Sous-total personnels non permanents en activité	16
Total personnels	28

ÉVALUATION

Appréciation générale sur l'équipe

L'équipe est au plus haut niveau international. Elle continue à générer une production scientifique très soutenue et de très haut niveau, mais aussi à obtenir des financements importants pour soutenir ses activités. L'équipe rayonne incontestablement au niveau international et s'est imposée comme leader dans le champ de la microscopie non linéaire appliquée à la biologie. Sa particularité est de croiser et de couvrir une très grande diversité d'approches méthodologiques et conceptuelles : balayage point par point et feuille de lumière, excitation bi- et triphotonique, fluorescence et harmoniques, structurale et fonctionnelle, à l'échelle moléculaire et tissulaire (voire de l'organisme). Ces tours de force méthodologiques et conceptuels reposent sur un important capital de savoir-faire et de créativité. Dans un domaine où il est parfois facile de dérouler des thématiques en multipliant le nombre de tissus explorés et ne faire que de la déclinaison d'une méthode éprouvée, il est remarquable de constater que la créativité réside ici dans l'exploration des phénomènes optiques à l'origine des signaux collectés, et qu'il s'agit bien là du moteur de l'équipe.

Points forts et possibilités liées au contexte

La présence de séniors, figures de proue, l'installation d'une réputation scientifique solide et pérenne, la capacité d'attraction de jeunes chercheurs ou la possibilité d'émergence de nouvelles thématiques sont les fondements solides pour évoluer dans les prochaines années où des difficultés nouvelles sont anticipées.

La qualité des moyens humains et instrumentaux est un gage de stabilité pour l'avenir.

Points faibles et risques liés au contexte

Le foisonnement des thématiques est une richesse permettant de rebondir en cas de difficultés ponctuelles, mais il faut veiller à être vigilant pour qu'elles ne soient pas la cause de trop de dispersion fragilisant l'édifice.

Les interactions intraéquipe sont nombreuses dans plusieurs domaines, mais, certaines présentent une redondance dans l'affichage (polarimétrie SHG et analyse des tissus riches en collagène) alors que d'autres semblent plus isolées (morphogenèse du poisson zèbre, imagerie térahertz, bio-informatique).

Analyse de la trajectoire de l'équipe

Pour les cinq prochaines années, l'équipe prévoit d'inscrire ses activités dans la continuité des projets menés jusque-là et qui se sont montrés porteurs. Mais elle compte aussi approfondir les thématiques plus récentes telles que : 1/ l'analyse de grands volumes d'images issues de l'imagerie multicouleur du cerveau, 2/ l'imagerie live d'organoides cardiaques, 3/ l'imagerie métabolique, notamment en FLIM, 4/ la spectroscopie térahertz, 5/ la morphogenèse embryonnaire, 6/ l'imagerie SHG des tissus riches en collagène, à la fois biologiques et d'origine archéologique.

RECOMMANDATIONS À L'ÉQUIPE

L'équipe, dont les bases thématiques sont solides et bien identifiées, peut continuer à faire émerger de nouveaux sujets inspirés par les mécanismes optiques à l'origine des signaux détectés et à les mettre en œuvre de façon pertinente pour améliorer la compréhension de phénomènes biologiques.

Renforcer les dynamiques entre les thématiques bien établies (microscopies multiphotoniques) et celles plus émergentes (térahertz, light-sheet, FLIM, poisson zèbre) est souhaitable, pour donner à ces dernières des avantages conceptuels et méthodologiques. Cela doit notamment se traduire par de propres financements pour ces thématiques émergentes, même si l'équipe a les moyens de les financer par ailleurs. Ce ne peut être que bénéfique pour les carrières des chercheurs et enseignants-chercheurs qui les portent.

DÉROULEMENT DES ENTRETIENS

DATES

Début : 13 janvier 2025 à 08 h 30

Fin : 14 janvier 2025 à 16 h 00

Entretiens réalisés en présentiel

PROGRAMME DES ENTRETIENS

Lundi 13 janvier

08 h 30 - 08 h 45 15'	Huis clos : briefing du comité
08 h 45 - 09 h 00 15'	Présentation du comité et du programme
09 h 00 - 09 h 45 45'	Présentation du directeur/directrice devant le comité, les tutelles et le personnel
09 h 45 - 10 h 15 30'	Questions du comité et échange
10 h 15 - 10 h 30 15'	Pause
10 h 30 - 12 h 00 1h30	Présentations scientifiques des équipes 2 et 3 + questions du comité
12 h 00 - 12 h 15 15'	Huis clos du comité et pause
12 h 15 - 13 h 30 1h15	Posters / Plateaux-repas
13 h 30 - 15 h 00	1h30 Présentations scientifiques des équipes 1 et 4 + questions du comité
15 h 00 - 15 h 30 30'	Huis clos du comité et pause
15 h 30 - 18 h 00 2h30	Visites des équipes 1, 2 et 3 et des services techniques et animaleries

Mardi 14 janvier

08 h 30 - 09 h 30 1h	Visites de l'équipe 4
09 h 30 - 10 h 00 30'	Échange comité – PAR (ITA/BIATSS/CDD/CDI)
10 h 00 - 10 h 30 30'	Échange comité – Doctorants et Postdoctorants
10 h 30 - 11 h 15 45'	Huis clos du comité et pause posters
11 h 15 - 11 h 55 40'	Échange comité – C/EC
11 h 55 - 12 h 15 20'	Échange comité - responsables d'équipe (4 x 5')
12 h 15 - 13 h 00 45'	Échange comité – Direction & future direction
13 h 00 - 14 h 00 1h15'	Plateaux-repas
14 h 00 - 14 h 45 45'	Échange comité – tutelles
14 h 45 - 16 h 00 1h15'	Huis clos du comité
16 h 00	Fin de la visite

OBSERVATIONS GÉNÉRALES DES TUTELLES



Objet : Observations générales par rapport au rapport d'évaluation du Laboratoire d'Optique et Biosciences (LOB) - UMR 7645

À l'attention du Comité d'Évaluation HCERES

Palaiseau, le 9 avril 2025

Madame, Monsieur,

Nous ne soumettons pas de réponse institutionnelle de type « observations de portée générale » concernant l'évaluation du Laboratoire d'Optique et Biosciences (LOB) - UMR 7645.

Au nom des tutelles de l'unité,

Bien cordialement,

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

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

Évaluation des universités et des écoles

Évaluation des unités de recherche

Évaluation des formations

Évaluation des organismes nationaux de recherche

Évaluation et accréditation internationales



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

