



agence d'évaluation de la recherche  
et de l'enseignement supérieur

Section des Unités de recherche

Evaluation de l'AERES sur l'unité :

Institut Langevin Ondes Et Images

sous tutelle des

établissements et organismes :

Centre National de la Recherche Scientifique

ESPCI ParisTech

Institut National de la Santé et de la Recherche

Médicale

Université Paris 6 - Pierre et Marie Curie

Université Paris 7 - Denis Diderot





agence d'évaluation de la recherche  
et de l'enseignement supérieur

Section des Unités de recherche

Le Président de l'AERES

**Didier Houssin**

Section des Unités  
de recherche

*Le Directeur*

**Pierre Glaudes**



# Notation

À l'issue des visites de la campagne d'évaluation 2012-2013, les présidents des comités d'experts, réunis par groupes disciplinaires, ont procédé à la notation des unités de recherche relevant de leur groupe (et, le cas échéant, des équipes internes de ces unités). Cette notation (A+, A, B, C) a porté sur chacun des six critères définis par l'AERES.

NN (non noté) associé à un critère indique que celui-ci est sans objet pour le cas particulier de cette unité ou de cette équipe.

- Critère 1 - C1 : Production et qualité scientifiques ;
- Critère 2 - C2 : Rayonnement et attractivité académique ;
- Critère 3 - C3 : Interaction avec l'environnement social, économique et culturel ;
- Critère 4 - C4 : Organisation et vie de l'unité (ou de l'équipe) ;
- Critère 5 - C5 : Implication dans la formation par la recherche ;
- Critère 6 - C6 : Stratégie et projet à cinq ans.

Dans le cadre de cette notation, l'unité de recherche concernée par ce rapport a obtenu les notes suivantes :

- Notation de l'unité : Institut Langevin Ondes Et Images

C1	C2	C3	C4	C5	C6
A+	A+	A+	A+	A+	A+



# Rapport d'évaluation

Nom de l'unité : Institut Langevin Ondes Et Images

Acronyme de l'unité :

Label demandé : UMR

N° actuel : 7587

Nom du directeur  
(2012-2013) : M. Mathias FINK

Nom du porteur de projet  
(2014-2018) : M. Arnaud TOURIN

## Membres du comité d'experts

Président : M. Jean KERGOMARD, CNRS, LMA, Marseille

Experts :

M<sup>me</sup> Maria-Pilar BERNAL, CNRS, FEMTO-ST, Besançon (représentante du CoNRS)

M. Jean-Yves CHAPELON, INSERM, Lyon

M. Jacques FELBLINGER, Université de Lorraine, Nancy (représentant INSERM)

M. Hughes GIOVANNINI, Aix-Marseille Université

M. Jean-Jacques GREFFET, Institut d'Optique, Palaiseau

M. Olivier LEGRAND, Université de Nice (représentant du CNU)

M. Christophe MOSER, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse

M. Koen VAN DEN ABEELE, KU Leuven, Belgique

Délégué scientifique représentant de l'AERES :

M. Alain CAPPY



## Représentant(s) des établissements et organismes tutelles de l'unité :

M. François LEQUEUX (ESPCI ParisTech)

M. Michel DE LABACHELLERIE le 19 décembre et M<sup>me</sup> Béatrice DAGENS le 20 décembre (CNRS - INSIS)

M. Jean Marc DI MEGLIO (Université Paris Diderot)

MM. Nicolas TREPS et Paul INDELICATO (Université Pierre et Marie Curie)

M<sup>me</sup> Marie-Josèphe LEROY-ZAMIA (INSERM)

M<sup>me</sup> Laurence LOMME (INSERM)



# 1 • Introduction

## Historique et localisation géographique de l'unité

L'Institut Langevin Ondes et Images a été créé le 1er janvier 2009, à partir du rapprochement du laboratoire Ondes et Acoustique (ESPCI, LOA, UMR CNRS 7587, Université Paris 7), et du Laboratoire d'Optique Physique (LOP) de l'ESPCI qui était une composante du Laboratoire Photons et Matière (UPR CNRS A005, INSERM, Université Paris 6). La proportion dans l'ensemble actuel de tous les personnels permanents est de l'ordre de deux-tiers/un tiers, respectivement. L'équipe Physique des ondes pour la médecine (POM) est une unité INSERM ERL U979, dont l'analyse présentée ci-dessous peut être lue indépendamment. Le laboratoire a déménagé en 2012, et a intégré des locaux de l'Institut de Physique du Globe.

Adresse : 1, rue Jussieu, 75 238 PARIS cedex

## Équipe de Direction

Directeur : M. Mathias FINK

Directeurs Adjoints : M. Arnaud TOURIN, M. Rémi CARMINATI

Directeur de l'ERL INSERM U979 : M. Mickaël TANTER

## Effectifs de l'unité

Effectifs de l'unité	Nombre au 30/06/2012	Nombre au 01/01/2014	2014-2018 Nombre de produisants du projet
<b>N1</b> : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés	17	18	17
<b>N2</b> : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés	16	16	16
<b>N3</b> : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)	10	12	1
<b>N4</b> : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)	2	1	1
<b>N5</b> : Autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.)	18		
<b>N6</b> : Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)	6	5	0
<b>TOTAL N1 à N6</b>	69	52	35

<b>Taux de producteurs</b>	<b>97,00 %</b>
----------------------------	----------------



<b>Effectifs de l'unité</b>	Nombre au 30/06/2012	Nombre au 01/01/2014
Doctorants	42	
Thèses soutenues	21	
Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité *	11	
Nombre d'HDR soutenues	4	
Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	17	18



## 2 • Appréciation sur l'unité

### Points forts et possibilités liées au contexte

Le comité salue unanimement les points très forts de l'Institut Langevin. La fusion de laboratoires spécialisés dans des types d'ondes différents et les résultats qui en ont résulté en font un cas probablement unique au monde, exploitant au mieux des compétences disciplinaires incontestables et la pluridisciplinarité. C'est un atout majeur que d'avoir une équipe de reconnaissance mondiale dans les deux domaines de l'optique et de l'acoustique.

En outre l'alliance féconde de la physique fondamentale, de la physique appliquée, de l'instrumentation, du transfert industriel et clinique est une caractéristique exceptionnelle. La politique de valorisation, mariée à un tel panel de recherche fondamentale, est tout à fait remarquable : elle est peut-être aussi unique au monde, et en tout cas en France. Ces deux aspects (pluridisciplinarité et valorisation) peuvent être étudiés de près par les pouvoirs publics et les tutelles car ils doivent servir d'exemple.

L'excellente production scientifique, la reconnaissance et l'attractivité internationales, les collaborations fructueuses avec des équipes renommées, la qualité de la formation par et à la recherche, le succès de la création d'entreprises sont notables. Les thèmes originaux sont nombreux. Le découpage en cinq thèmes avec un responsable est pertinent.

Le soutien des tutelles, le déménagement dans un nouveau bâtiment, qui aidera encore la fusion, l'obtention de moyens des investissements d'avenir sont de grands atouts pour le prochain contrat. Les importantes ressources financières peuvent permettre de continuer à prendre des risques. Le fonctionnement des différentes missions de l'institut a été récemment conforté par l'embauche d'un secrétaire général et d'un ingénieur valorisation.

### Points à améliorer et risques liés au contexte

Sans remettre en cause le choix de recruter les chercheurs sur le critère de l'excellence, il serait utile d'avoir une réflexion plus poussée sur l'avenir des thèmes, et sur les besoins sur plusieurs années en recrutement de personnels techniques, notamment permanents. Toute la place étant occupée dans le bâtiment actuel, c'est un élément à prendre en compte dans la réflexion, de même que l'évolution de la pyramide des âges.

### Recommandations

Il ne sera pas facile d'assurer la succession du directeur actuel, forte personnalité scientifique, passionnée notamment par la valorisation. Le choix pour cette succession semble avoir été mûrement réfléchi, il faudra bien définir le fonctionnement entre « monovirat » et « triumvirat ». Il faudra aussi réfléchir à faire en sorte que la visibilité internationale exceptionnelle du laboratoire ne souffre pas du retrait du directeur en trouvant les moyens de mettre en avant les jeunes qui assurent la relève. Les écoles organisées à Cargèse doivent être poursuivies. L'animation de réseaux européens peut être un moyen efficace. Heureusement, le directeur actuel pourra aider en facilitant la prise effective des responsabilités et en faisant profiter de son expérience.

Une réflexion sur les projets s'impose : la profusion des contrats de toute sorte, en particulier avec l'ANR, si elle a des avantages financiers, porte le risque d'éparpillement des activités. Mieux vaudrait concentrer les recherches sur un plus petit nombre de projets pour éviter l'éparpillement et favoriser la collaboration au sein d'un laboratoire. En ce qui concerne l'Europe, le succès de deux subventions ERC Junior est à souligner. Cependant, la constitution de réseaux serait utile pour féconder les résultats de l'institut, dans la cadre de divers programmes de la Commission Européenne (mais aussi par exemple dans le cadre des COST de l'ESF), et à propos du programme Coopération, une activité plus importante pour la définition des appels et pour y participer serait bénéfique. Du côté de l'enseignement, la participation au programme Erasmus Mundus est encouragée.

Il convient de trouver un juste équilibre entre la conservation de l'avance sur certains sujets et la collaboration avec d'autres laboratoires, notamment dans la phase de recherche fondamentale. Il n'y a pas de recette miracle, mais il faut y réfléchir.

On peut aussi recommander aux jeunes chercheurs de s'impliquer davantage dans la vie scientifique internationale (sociétés savantes, organisation de colloques, comités de rédaction de revues, etc.).



Concernant la taille de l'institut, le comité approuve globalement le choix de croissance maîtrisée, mais cette question sera discutée de façon plus détaillée dans la suite du rapport. Elle est liée à la taille du bâtiment, qui d'ores et déjà fait réfléchir la direction.

La question de la promotion des personnels est une question légitime. Il faut espérer que les sections du comité national (CoNRS), très réceptives pour les recrutements avec une vision ouverte des disciplines, le seront autant pour les promotions de directeurs de recherche. Comme il est justement analysé dans le projet de l'institut, [...] la culture large des physiciens qui composent l'Institut Langevin les conduit à s'intéresser à des domaines qui ne relèvent pas de la section du CNU ou du CoNRS dans laquelle ils ont été recrutés, ce qui peut les pénaliser pour leur avancement de carrière. Nous soutenons les efforts de la direction dans ses discussions avec les tutelles, tout en rappelant que l'essaimage peut se traduire par un renforcement et non un affaiblissement de l'Institut : ceci ne vaut pas que pour les entreprises, mais aussi pour la recherche elle-même, en permettant le développement de nouvelles collaborations.

Il y a un effort à faire sur la communication. Afin de mieux promouvoir la recherche qui se fait dans l'institut au niveau international, le site web devrait avoir les pages traduites en anglais. Il y a effectivement un onglet « anglais - français », mais il y a seulement la première page qui est traduite. En plus, même en français, la page Web de certaines équipes n'est pas homogène et ne donne pas toutes les informations.

Il reste à proposer des recommandations aux tutelles : l'Institut Langevin est un modèle pour la valorisation, et le fonctionnement actuel avec le CNRS semble à la fois très satisfaisant et exemplaire. Il est certes compliqué, mais hautement souhaitable, que la création des SATT ne vienne pas détériorer ce qui fonctionne bien. Il serait de ce point de vue efficace d'organiser un comité de pilotage regroupant l'ensemble des personnes en charge de la recherche dans les différentes tutelles.



### 3 • Appréciations détaillées

#### Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

La production scientifique est abondante et de grande qualité (300 articles dans les revues à comité de lecture, 100 actes de congrès internationaux, 13 chapitres d'ouvrages, 1 ouvrage). Ces chiffres peuvent être rapportés au nombre des chercheurs et enseignant-chercheurs (35, on note un seul non publiant). Les revues internationales sont celles d'optique, d'acoustique, de physique, et on peut noter un fort ancrage récent dans les revues à dominantes médicales. 25 articles ont été publiés dans des revues très prestigieuses (Physical Review Letters, Nature, Science). Si on simplifie les spécialités de l'institut en trois pôles (acoustique, optique, imagerie), on constate que les articles dans ce type de revues émanent bien des trois pôles.

Les citations sont nombreuses ; on remarque en particulier deux articles tout récents, parus en 2010, concernant la mesure de la matrice de transmission optique à travers un milieu complexe, cité déjà 64 fois (Web of Science), ou la mesure des tissus musculaires par imagerie de cisaillement, cité 43 fois. Près d'une dizaine d'articles signés par des membres du laboratoire dépassent les 100 citations.

Le retournement temporel, spécialité « historique » du LOA qui a donné lieu à d'importants développements par les mathématiciens de la propagation en milieu aléatoire, reste d'actualité, et notamment le contrôle spatio-temporel des ondes en régime de diffusion multiple. L'optique de champ proche et des milieux diffusants, comme la nano-optique sont aussi des spécialités de premier niveau international. La dualité onde-corpuscule ou la focalisation sub-longueur d'onde sont des sujets fondamentaux prometteurs. L'élastographie en temps réel, le Doppler ultra-rapide, l'OCT (tomographie à cohérence optique) plein champ, l'imagerie acousto-optique ouvrent la voie à des applications médicales nombreuses, tout en donnant des pistes de nouvelles recherches.

On note également 231 conférences invitées, dont la moitié à l'étranger, allant de l'invitation à des sessions d'un congrès à des « keynote lectures », montre un important retentissement international des résultats.

#### Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

Dans les points forts, on remarque le succès de deux jeunes chercheurs pour un contrat ERC Junior. Outre la participation à un projet STREP européen, on note la participation à 33 projets ANR, et une dizaine d'autres projets (Plan Cancer notamment). Il faut ajouter le Labex Wifi obtenu par l'Institut, et l'Equipex Ultrabrain dont l'objectif est l'exploration du cerveau.

Plusieurs chercheurs sont animateurs de GDR (3 pour l'ensemble du laboratoire), et participent activement à des sociétés savantes, des fondations, des clubs, des observatoires et des comités scientifiques de colloques internationaux. L'institut organise régulièrement des écoles d'été. Plusieurs de ses membres sont rédacteurs associés de revues internationales, et la plupart des chercheurs sont experts pour de nombreuses revues de grande qualité. Il faut évidemment mentionner l'appartenance à l'Académie des sciences et à celle des technologies du directeur, titulaire de la chaire d'innovation technologique du Collège de France. Un des professeurs est membre de l'IUF.

Les prix et récompenses sont très nombreux, à commencer par la médaille de l'innovation du CNRS pour le directeur et une médaille de bronze pour un jeune chercheur ; 7 membres de l'institut ont reçu des prix nationaux ou internationaux. L'attractivité se mesure notamment à la qualité des recrutements : cinq chercheurs ont été recrutés au CNRS, dans 4 sections différentes, depuis 2009, en plus de l'accueil en mobilité d'un CR1 et d'un professeur. Les collaborations internationales ont donné lieu à 37 articles dans les revues à comité de lecture signés avec des collègues européens, et 35 hors-Europe, soit un quart des publications.



## Appréciation sur l'interaction avec l'environnement social, économique et culturel

Une très grande originalité de l'Institut est sa politique de valorisation via la prise de brevets et les créations d'entreprises. 32 brevets prioritaires ont été déposés depuis 2007, et 12 ont été étendus (en général à l'Europe et les Etats-Unis). Si peu d'entre eux donnent lieu à des licences, l'important est qu'une moitié ait été déposée par les entreprises créées par l'Institut, dont plusieurs connaissent un grand succès ou ont été rachetées. 5 start-ups ont été créées (230 personnes), et il y a 4 projets en cours. Par ailleurs une quinzaine de familles de brevets d'avant 2007 sont encore entretenus, et certaines rapportent des royalties non négligeables au CNRS. Les principales applications sont médicales : 500 machines « Aixplorer™ » ont été vendues de par le monde par Supersonic Imagine, contribuant à la renommée de l'institut. Il n'est pas exagéré de dire que l'institut (et avant lui le LOA) contribue à la renaissance de l'industrie médicale française. Mais d'autres entreprises produisent des objets pour d'autres applications.

Une fois ces entreprises créées, elles donnent lieu à de nombreuses collaborations avec les chercheurs de l'institut. En outre les produits commercialisés permettent à l'institut de poursuivre des recherches en conservant une longueur d'avance. On doit noter aussi des collaborations avec des grandes entreprises, comme l'Oréal ou SNECMA, et quelques contrats doctoraux CIFRE ou équivalent : le nombre en est assez limité, ce qui peut se comprendre étant donnée la politique de l'institut. Le recrutement d'un ingénieur valorisation vient à son heure, et renforce le caractère d'exemple que l'institut revêt en ce qui concerne la valorisation.

L'impact social et culturel de l'institut doit enfin être jugé par une intense participation à des émissions de télévision, des revues de vulgarisation, des actions de formation de professeurs de physique, etc.

## Appréciation sur l'organisation et la vie de l'unité

Le point majeur est de toute évidence la fusion de deux laboratoires d'optique et d'acoustique, qui permet d'obtenir des vues et méthodes plus générales sur les ondes, pour la recherche fondamentale aussi bien qu'appliquée, sans oublier les interactions opto-acoustiques. La structuration en cinq thèmes reflète encore l'origine de la fusion, mais la possibilité de rattachement à plusieurs thèmes permet des évolutions, et on peut déjà constater que pour plusieurs thèmes, plusieurs types d'ondes sont effectivement étudiés, y compris les micro-ondes ou les ondes à la surface de l'eau (à ce propos, on peut souligner que la direction est consciente de l'importance de hiérarchiser l'importance des types d'ondes étudiés, l'optique et l'acoustique restant prioritaires). Parmi les projets ambitieux (et risqués), on peut citer la « Brain » machine ultrasonore non invasive.

L'exemple de l'article déjà mentionné sur la matrice de transmission a été cosigné par quatre auteurs ayant un rattachement principal à des thèmes différents, et issus pour moitié du laboratoire d'optique et pour moitié du laboratoire d'acoustique. Ceci montre la pertinence du rapprochement des deux laboratoires et de l'organisation en thèmes adoptée par le laboratoire, c'est-à-dire l'évitement du cloisonnement. Les nouveaux locaux permettent un mélange fécond des personnels, et notamment des doctorants. Les séminaires, hebdomadaires, avec des orateurs internes ou extérieurs, ont une bonne audience. Le parcours du nouvel entrant est en vigueur. Un plan de formation est régulièrement discuté en conseil de laboratoire. Les promotions des personnels sont un souci pour beaucoup, et notamment pour la direction. Les soutenances d'HDR sont en nombre satisfaisant, compte tenu de la structure des âges des personnels.

Les thèmes sont assez proches de ce qu'on appelle souvent équipe, avec un responsable qui participe au conseil de direction. Le conseil de laboratoire se réunit régulièrement, Les personnels consultés (enseignants-chercheurs, chercheurs, ingénieurs et personnels administratifs) ont exprimé leur satisfaction sur son fonctionnement.

L'accès aux ressources financières ne pose pas de problème majeur, car elles sont nombreuses. Il faut néanmoins souligner l'intérêt du Labex, qui permet à la direction d'avoir une politique scientifique incitatrice.

Il reste que dépendre de cinq tutelles est fort compliqué, même si la bonne volonté de chacune est présente. Il semble que les personnels administratifs réussissent à s'en accommoder, on ne peut qu'espérer que les évolutions du paysage académique de la région parisienne permettront des simplifications plutôt que des complications. Le recrutement d'un secrétaire général est certainement une partie de la solution pour l'institut. L'ESPCI soutient très fortement l'institut, exemple de laboratoire tourné vers l'innovation, comme le CNRS et l'INSERM. Le comité a notamment apprécié la clarté des objectifs présentés par le vice-président recherche de l'Université Pierre et Marie Curie, mais en aurait souhaité davantage de la part de l'Université Diderot.



Les nouveaux locaux ont une surface suffisante pour le personnel d'aujourd'hui (110 personnes environ), mais la direction pense demander une extension avec la construction d'un nouveau bâtiment. Le déménagement a créé une dynamique positive, à la satisfaction de tous les personnels, et rien n'interdit de penser à de nouveaux recrutements, même si une étape de consolidation de la fusion est tout à fait compréhensible.

### Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

Il existe un aspect très positif au grand nombre de tutelles : les membres de l'institut jouent un rôle d'animation en physique des ondes et applications médicales dans de nombreux masters d'universités et d'écoles, y compris au-delà des tutelles. Les chercheurs participent aussi à l'enseignement. Les responsabilités dans l'organisation des masters et des écoles doctorales par les enseignant-chercheurs et chercheurs de l'institut sont nombreuses. Ceci vaut en particulier pour le master « Acoustique physique » de l'Université Diderot, et les écoles doctorales ED518 « Matière condensée et interfaces » et ED389 « P2MC, La physique de la particule à la matière condensée ». Le nombre de stagiaires de niveau master accueillis dans l'unité pendant 4 ans dépasse la centaine, leur origine étant les universités parisiennes et les grandes écoles. 21 thèses ont été soutenues, pour 18 habilités à diriger les recherches. La durée est tout à fait correcte, les publications qui en sont issues aussi.

Le nombre de thèses en cours (40) indique une forte accélération. Outre les deux ED mentionnées ci-dessus, les doctorants sont aussi rattachés à l'ED 447 (Ecole Polytechnique), et à l'ED 391 (Sciences mécaniques, acoustique, électronique & robotique, Paris 6). Près d'un tiers sont étrangers, ce qui souligne l'attractivité. Les doctorants rencontrés sont satisfaits, car notamment ils peuvent participer facilement à de nombreux congrès. La dose de risque dans les sujets leur semble raisonnable. Tous suivent des cours sur la valorisation et la création d'entreprises.

L'avenir des doctorants semble tout à fait satisfaisant, partagé entre post-docs, postes dans la recherche et l'enseignement supérieur public, et le privé. Les post-docs présents à l'institut sont pour les deux tiers issus d'autres laboratoires.

Un projet de réseau Marie-Curie a été déposé. Les membres de l'institut participent à de nombreuses écoles, et organisent régulièrement une école d'été à Cargèse sur la physique des ondes dans les milieux complexes, ce qui joue un rôle important pour la formation des doctorants qui y participent.

### Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

L'originalité du projet repose sur la poursuite de l'activité actuelle centrée sur les recherches conjointes en acoustique et optique. On ne ressent pas de projet beaucoup mieux défini que la continuité, la consolidation et le développement de l'existant, mais ceci ne fait pas l'objet de critique de la part du comité. En effet la capacité de l'institut à générer de nouveaux thèmes scientifiques, à contribuer à leur expansion dans le monde et à leur valorisation est un atout majeur de l'Institut Langevin. La politique « élitiste » de recrutement, revendiquée, est très probablement un bon moyen d'impulser la naissance de nouveaux thèmes. La politique de valorisation est poursuivie, avec déjà 4 projets de créations d'entreprises.

Un aspect essentiel du projet est la succession de l'actuel directeur. Approuvé à l'unanimité par le conseil de laboratoire, le nouveau directeur proposé est Arnaud Tourin, professeur à l'ESPCI, qui sera secondé par deux adjoints, Rémi Carminati, également professeur à l'ESPCI et Michaël Tanter, Directeur de recherche INSERM. Les compétences scientifiques de ces trois chercheurs autant que leur complémentarité représentent une garantie sérieuse de succès aux yeux du comité.

La future direction n'envisage pas de croissance de l'institut dans les années à venir. Le comité pense cependant qu'on ne peut pas s'interdire de croître pour atteindre une masse critique sur un sujet particulier, et que le thème Imagerie, détection et évaluation pourrait être renforcé, ne serait-ce que parce qu'il est le plus porteur d'applications non médicales. Une stratégie concernant la combinaison de deux types d'ondes pour les applications médicales mériterait aussi d'être réfléchi. Mais l'équilibre entre les thèmes n'appelle pas de remarques particulières, sinon que le découpage des thèmes pourrait être repensé, ce type de réflexion devant être mené à échéances régulières. Pour certains thèmes, on a pu remarquer le risque de dispersion de sujets d'étude, compte tenu du petit nombre de personnes concernées.

Le comité reconnaît globalement la pertinence de l'analyse SWOT, tant en ce qui concerne l'unité que son environnement.



## 4 • Analyse thème par thème

**Thème 1 :** Ondes acoustiques et électromagnétiques en milieux complexes (OMC)

**Nom du responsable :** M. Julien DE ROSNY

**Effectifs** 19,75

Effectifs du thème en Équivalents Temps Plein	Au 30/06/2012	Au 01/01/2014
ETP d'enseignants-chercheurs titulaires	3,75	3,75
ETP de chercheurs des EPST ou EPIC titulaires	4	4
ETP d'autres personnels titulaires n'ayant pas d'obligation de recherche (IR, IE, PRAG, etc.)	1,4	1,6
ETP d'autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)		
ETP de post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	2	
ETP d'autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, etc.) hors post-doctorants		
ETP d'autres personnels contractuels n'ayant pas d'obligation de recherche	0,6	0,4
ETP de doctorants	8	
<b>TOTAL</b>	19,75	9,75



## • Appréciations détaillées

### Production et qualité scientifique

Ce thème est l'héritier principal de la thématique phare du LOA depuis sa création par Mathias Fink, montrant à quel point le concept de retournement temporel s'est révélé fructueux dans ses développements notamment par sa généralisation aux ondes électromagnétiques ainsi qu'aux ondes sismiques ou plus récemment aux ondes à la surface de l'eau. La production scientifique, pour chaque axe de recherche, donne régulièrement lieu à des publications de grande qualité, soit à caractère fondamental dans des journaux de renom comme PRL, PRB, PRB ou encore Nature, Science, soit de nature plus appliquée comme dans IEEE ou J. Appl. Phys. Dans les axes développés ces dernières années au sein de ce thème comme dans leurs prolongations présentées dans le projet, pratiquement tous les types d'ondes classiques (non quantiques) sont explorés, donnant naissance à un nombre croissant de collaborations fructueuses nationales (LPMMC ou IST de Grenoble, LAUM du Mans, Institut Fresnel à Marseille, etc.), aussi bien qu'internationales (John Page, Univ. of Manitoba, John Pendry, Imperial College, R. Weaver, Univ. Of Illinois, etc.).

Sur la période d'évaluation, pas moins de 57 articles à comité de lecture ont été publiés dans le cadre de ce thème et ces recherches ont donné lieu à 81 conférences invitées, ce qui place ce thème au 2e rang derrière le thème Physique des Ondes pour la Médecine.

On notera également la régularité avec laquelle les axes de ce thème sont au cœur de brevets portant sur la focalisation sub-longueur d'onde ou de nouveaux concepts d'antennes.

Pour ce thème qui a peut-être moins vocation que d'autres thèmes de l'institut (POM ou IDE) à mettre l'effort sur la valorisation, on compte 4 brevets sur la période d'évaluation.

Parmi les idées fortes nées de ces thèmes ces dernières années, on notera celle d'un double codage spatial et temporel pour la focalisation à travers un milieu multiplement diffusant. Une approche large bande est la clé qui a permis les progrès récents des axes liés à la focalisation d'ondes mais aussi à l'approche matricielle de la propagation en régime de diffusion multiple ou les métalentilles.

### Projet à 5 ans et stratégie

Les objectifs de recherche fondamentale sont ambitieux : une approche statistique de la matrice de propagation en régime de localisation d'ondes, le contrôle spatio-temporel en régime de diffusion multiple, une prise en compte du couplage entre résonateurs de petite taille tant dans le domaine électromagnétique que dans celui des vibrations de plaques, l'utilisation mimée des plasmons de surface par des ondes de surfaces élastiques à la surface de matériaux micro-structurés afin de réaliser de l'imagerie sub-longueur d'onde acoustique, la compétition entre non-linéarité et diffusion multiple, la transposition de l'extraction des fonctions de Green de milieux complexes par corrélation de bruit aux ondes électromagnétiques, l'extension des « savoir-faire » du thème à l'acoustique des milieux granulaires (liée à l'arrivée récente d'un chercheur confirmé).

Non moins ambitieux sont les objectifs applicatifs : repousser les limites actuelles de l'OCT par la méthode de séparation entre diffusion simple et diffusion multiple, la réalisation de nouvelles métalentilles de nature magnétique avec application à l'IRM, la diffusion multiple dans l'os poreux, l'application de la corrélation de bruit à l'imagerie passive de défauts ou à la sismologie. On notera à cette occasion les fortes interdépendances des thèmes OMC et IDE.

Tous ces projets sont inscrits dans un contexte tel que les élargissements disciplinaires requis ne devraient pas poser de réel problème, la faisabilité de certains reposant sur les atouts majeurs que constituent la multiplicité et la complémentarité thématique aussi bien que technique de l'institut.

Un point de réflexion d'amélioration pour ce thème pourrait concerner l'environnement du laboratoire et la présence dans les locaux de sismologues de renom à l'IPG. La terre est par excellence un milieu complexe dans lequel nombre de concepts développés dans ce thème pourraient trouver des applications aux ondes sismiques.



**Thème 2 :** Nanooptique des milieux diffusants (NAOMI)

**Nom du responsable :** M. Yannick DE WILDE

**Effectifs** 25,5

<b>Effectifs du thème en Équivalents Temps Plein</b>	<b>Au 30/06/2012</b>	<b>Au 01/01/2014</b>
ETP d'enseignants-chercheurs titulaires	4	4
ETP de chercheurs des EPST ou EPIC titulaires	2	2
ETP d'autres personnels titulaires n'ayant pas d'obligation de recherche (IR, IE, PRAG, etc.)	2,4	2,6
ETP d'autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)	0,5	0,5
ETP de post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	4	
ETP d'autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, etc.) hors post-doctorants	1	1
ETP d'autres personnels contractuels n'ayant pas d'obligation de recherche	1,6	1,4
ETP de doctorants	10	
<b>TOTAL</b>	<b>25,5</b>	<b>11,5</b>



## • Appréciations détaillées

Le thème de l'optique dans les milieux diffusants est extrêmement actif et compétitif en ce moment. En particulier, les travaux initiaux de Vellekoop et Mosk en 2007 ont relancé beaucoup d'intérêt dans ce domaine en montrant qu'il est possible d'utiliser le milieu diffusant pour manipuler la lumière, par exemple pour focaliser la lumière au travers de milieu fortement diffusant et pour l'imagerie au travers de ces milieux.

Les travaux sur la détermination de la matrice de transmission d'un milieu fortement diffusant et de son inversion est un résultat d'une très grande importance. Il faut remarquer l'obtention d'une ERC Starting Grant par un de chercheurs de la thématique Naomi en 2011. L'article de Phys. Rev. Lett. en 2010 déjà mentionné témoigne de l'importance des travaux de ce thème.

La méthode matricielle a aussi été appliquée dans les fibres multimodes. La fibre est considérée comme un milieu diffusant dont la connaissance de la matrice de transmission permet de manipuler la lumière de façon nouvelle. Cette méthode a été appliquée avec de la lumière monochromatique. Cependant, l'équipe a démontré une focalisation temporelle à travers un milieu diffusant avec un contrôle temporel et naturellement, des recherches sont en cours pour trouver la matrice spatio-temporelle, ce qui constituerait un développement important pour l'imagerie à deux photons ou des thérapies à impulsions ultra-courtes à travers des milieux diffusants.

La détermination de la matrice est pour l'instant réalisée en ayant accès « à l'autre côté » du milieu diffusant. Pour avoir un impact pratique dans l'imagerie dans les milieux diffusants, cette matrice devrait être déterminée seulement depuis un seul côté et très rapidement (plus vite que la décorrélation du milieu biologique par exemple, qui est de quelques ms). Il y a donc beaucoup d'aspects théoriques et pratiques à découvrir et à approfondir dans ce domaine.

L'équipe travaillant sur ce thème a un rayonnement international et un impact important. Cette équipe peut s'appuyer aussi sur les connaissances et savoir-faire acoustiques de l'Institut afin d'enrichir l'imagerie dans les milieux diffusants.

La caractérisation de champ proche sur des objets métalliques de dimensions nanométriques à l'aide de l'holographie numérique est un domaine intéressant. Une publication récente montre que l'équipe arrive à déterminer la localisation de nanoparticules en 3D avec une précision nanométrique à l'aide d'un microscope holographique à champ lointain. Les perspectives d'utiliser le mouvement Brownien comme « actuateur » mécanique naturel pour les nanoparticules afin d'étudier la diffusion des nanoparticules dans un milieu et d'en tirer une cartographie sont très intéressantes (et originales) pour des applications en nano-biologie (toxicologie des nanoparticules, diffusion de nanoparticules dans les cellules).

Le développement d'un nouveau microscope est proposé, reposant sur une combinaison de SAF (supercritical angle fluorescence) et de fluorescence classique ainsi que de self-interférence qui permettrait de produire des images de type OCT mais avec des résolutions nano-échelles. Ces développements, semble-t-il encore à l'état embryonnaire, paraissent très prometteurs.

La thématique de la génération électrique de plasmons de surface à des longueurs d'onde dans le proche infrarouge est d'actualité pour des applications dans la circuiterie plasmonique et la caractérisation SNOM de ce type de nanostructures est tout à fait pertinente. En outre les méthodes de caractérisation SNOM sont transverses car elles ont été développées dans les deux laboratoires qui constituent l'Institut Langevin. Ces activités sont soutenues par deux projets ANR et elles commencent déjà à donner des résultats intéressants. Il faut remarquer aussi l'organisation d'un symposium sur la plasmonique infrarouge et terahertz à META'12, une des conférences internationales les plus importantes dans la nano-optique.

La thématique sur le développement de nanoantennes pour l'interaction matière-lumière est très intéressante et abordée par de nombreuses équipes dans le monde. L'approche de fabrication des nanoantennes par la technique d'assemblage, développée par l'équipe Naomi est très novatrice et pratique car elle ne nécessite pas de techniques lourdes et chères de salle blanche. Leur évident dynamisme est démontré par la publication d'articles dans Nature Communications et ACS Nano en 2012 et dans NanoLetters en 2011.



## Conclusion

- *Points forts et possibilités liées au contexte :*

Les impressions globales du comité sont très bonnes et on recommande vivement de continuer de soutenir le groupe NAOMI. L'équipe a une bonne reconnaissance au niveau national et international. Elle dispose d'un bon soutien financier pour mener à bien les différentes activités car elle porte et/ou participe à de nombreux projets nationaux ainsi qu'une ERC starting grant. Elle a une bonne production scientifique dans de très bons journaux (PRL, Opt. Lett., APL, Nature Comm, Optics Express).

- *Points à améliorer :*

Un point de danger pourrait venir de la grande quantité de thématiques de recherche (5) sur lesquelles l'équipe travaille car il n'y a que 6 permanents.

Il n'y a pas beaucoup de conférences invitées, ce qui est lié à la jeunesse des membres de l'équipe. Il faudrait être vigilant sur ce point.



**Thème 3 :** Mésoscopie et théorie des ondes (METHEO)

**Nom du responsable :** M. Rémi CARMINATI

**Effectifs 10**

*Les effectifs seront donnés en ETP.*

<b>Effectifs du thème en Équivalents Temps Plein</b>	<b>Au 30/06/2012</b>	<b>Au 01/01/2014</b>
ETP d'enseignants-chercheurs titulaires	1	1
ETP de chercheurs des EPST ou EPIC titulaires	3	3
ETP d'autres personnels titulaires n'ayant pas d'obligation de recherche (IR, IE, PRAG, etc.)	1,4	1,6
ETP d'autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)		
ETP de post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	1	
ETP d'autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, etc.) hors post-doctorants		
ETP d'autres personnels contractuels n'ayant pas d'obligation de recherche	0,6	0,4
ETP de doctorants	3	
<b>TOTAL</b>	<b>10</b>	<b>6</b>



## • Appréciations détaillées

### Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

Les participants au thème METHEO ont défini une problématique scientifique originale qui sert de fil rouge dans l'ensemble de ses activités de recherche : l'étude de l'interaction lumière-matière dans les milieux aléatoires avec la prise en compte des effets locaux à l'échelle sub-longueur d'onde. Le thème se situe ainsi à l'interface entre deux communautés : l'optique de champ proche et l'optique en milieux complexes. Cette thématique se décline sur plusieurs systèmes : les films semicontinus, les milieux aléatoires diélectriques, les lasers aléatoires, la propagation dans les gaz froids.

Ce positionnement a conduit l'équipe à obtenir de nombreux résultats originaux parmi lesquels on peut citer la réinterprétation de la corrélation  $CO$ , l'étude de la densité d'états dans les milieux aléatoires et le lien avec la longueur d'extinction, l'étude des conditions de laser aléatoire dans les gaz d'atomes froids. Sur le plan expérimental, on peut citer les premiers travaux de mesure de la durée de vie d'émetteurs sur un film d'or fractal.

Ces travaux sont parus dans les meilleures revues du domaine et ont été très remarqués et fortement cités par la communauté.

### Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

Les activités du thème sont très reconnues au sein de la communauté nationale et internationale comme en attestent plusieurs invitations à des congrès internationaux, la participation à un projet européen et de nombreuses responsabilités au sein des GDRs français. Deux chercheurs très prometteurs avec des profils complémentaires ont été recrutés récemment au sein du thème. Enfin l'arrivée d'un chercheur confirmé renforce considérablement l'expertise dans le domaine des milieux complexes et des lasers aléatoires.

### Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

Le positionnement stratégique du thème est très clair et tout à fait pertinent compte tenu des forces du laboratoire. Le projet de recherche est remarquable par son ambition et sa cohérence. Les effectifs du thème se sont considérablement étoffés lors des quatre dernières années. Il est d'ores et déjà très structuré par la formalisation de plusieurs projets et collaborations avec le CRPP, l'équipe de R. Kaiser, l'équipe de C. Vanneste, l'équipe de S. Rotter et l'équipe de J. Zyss.

Ce positionnement à l'interface entre deux communautés entraîne des difficultés spécifiques. Il est difficile de rester présent au sein des deux communautés. Ceci est réussi au plan national par le biais d'une présence active au sein de deux GDRs bien identifiés. Il faudra veiller à maîtriser la politique de relations internationales du groupe.

### Conclusion

En conclusion, le thème METHEO a choisi un positionnement original qui se décline en plusieurs projets. Il a d'ores et déjà obtenu de très beaux résultats au meilleur niveau international. Les recrutements récents donnent au thème une ossature équilibrée qui va lui permettre de se développer. Dans cette perspective, le comité émet deux recommandations : veiller à maîtriser la croissance et entreprendre des actions susceptibles d'asseoir la visibilité internationale de l'équipe telles que l'organisation d'écoles internationales, de congrès internationaux, de réseaux européens, etc.



**Thème 4 :** Imagerie, détection et évaluation (IDE)

**Nom du responsable :** M<sup>me</sup> Claire PRADA

**Effectifs 16,25**

*Les effectifs seront donnés en ETP.*

Effectifs du thème en Équivalents Temps Plein	Au 30/06/2012	Au 01/01/2014
ETP d'enseignants-chercheurs titulaires	4,25	4,25
ETP de chercheurs des EPST ou EPIC titulaires	1	1
ETP d'autres personnels titulaires n'ayant pas d'obligation de recherche (IR, IE, PRAG, etc.)	2,4	2,6
ETP d'autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)		
ETP de post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	1	
ETP d'autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, etc.) hors post-doctorants	1	1
ETP d'autres personnels contractuels n'ayant pas d'obligation de recherche	0,6	0,4
ETP de doctorants	6	
<b>TOTAL</b>	16,25	9,25



## • Appréciations détaillées

### Analyse du bilan

Ce thème, qui a une forte vocation à s'intéresser aux applications, s'appuie en particulier sur des compétences historiques du laboratoire sur le retournement temporel et sur les ultrasons-laser.

On peut distinguer différents sujets :

- La métrologie optique (thermo et photo-réflectance, interférométrie pour des mesures de déformations, détermination de la rugosité à l'intérieur de fibres optiques).

Ce sujet est mené en relation étroite avec l'industrie (FUI avec Dassault, SNECMA, FUI avec 3S Photonics, Orange...), grâce à un projet R&D du 7ème PCRD (Mode Gap) et à la participation à plusieurs projets ANR. Des résultats importants ont été obtenus sur la mesure des propriétés thermiques de films de diamant et sur la détection de fissures. Des développements "bas coût" sur la détection de réactions électrochimiques et biologiques de surface grâce à des mesures de réflectivité sont en cours.

- Les ultrasons-laser pour le contrôle non destructif.

Ce sujet est étudié depuis de nombreuses années à l'Institut Langevin. Des approches originales ont été étudiées récemment en exploitant les résonances correspondant à des modes à vitesse de groupe nulle (ZGV). Ces résonances étroites ont permis de caractériser des structures multicouches (couche mince sur une plaque épaisse). Une étude menée en partenariat avec Saint-Gobain a montré l'utilité de cette technique pour caractériser les couches de protection des miroirs d'argent. Il est également possible, avec cette approche, de déterminer les constantes élastiques des matériaux comme le Zircaloy (collaboration avec le CEA). On peut également noter que cette thématique est soutenue par la société SAFRAN au travers d'une chaire.

- L'imagerie multi-éléments par retournement temporel.

Il s'agit d'un des sujets fer-de-lance de l'Institut Langevin mené en acoustique et en électromagnétisme. On peut citer les travaux en acoustique sous-marine pour notamment la détection de bassins à sédiments (REI DGA avec Altran), l'observation d'échos dans le sous-sol (ANR Trecod) pour les problèmes de stockage de CO2 et l'étude des réarrangements des milieux granulaires et, dans le domaine électromagnétique, la détection de personnes à travers des parois (REI avec l'ONERA, le LEAT, le LSEET).

- L'imagerie à l'aide d'un nombre limité de capteurs et la parcimonie.

Ce sujet vise d'une manière générale à diminuer le nombre de mesures pour réduire la complexité des dispositifs expérimentaux et du traitement des informations. Ce sujet a notamment bénéficié de l'arrivée d'un spécialiste de traitement du signal. Des résultats ont été obtenus sur l'échantillonnage compressif au travers de la participation à deux projets ANR pour la localisation, la séparation de sources dans un milieu réverbérant et pour l'holographie acoustique en champ proche.

### Conclusion

Le nombre important de publications de qualité dans des revues internationales prestigieuses, le nombre de brevets déposés, les projets en relation avec l'industrie, ainsi que la reconnaissance internationale des chercheurs sont des éléments objectifs qui attestent de la grande qualité des recherches menées sur le thème IDE. On peut également remarquer les fortes interactions de ce thème, qui mélange l'acoustique, l'optique et, plus généralement, l'électromagnétisme avec les autres thèmes du laboratoire. A ce titre ce thème est une bonne illustration de la spécificité de l'Institut Langevin.



## Recommandations

L'arrivée d'un spécialiste de traitement du signal est un point très positif qui a permis de développer une activité sur la parcimonie (sparsity). Cette expertise, sur un thème fortement orienté vers les applications et la métrologie, s'avèrera très utile. Sur ce point, il pourra être intéressant d'utiliser de manière plus importante les outils de la théorie de l'estimation. Ceci afin de quantifier encore plus précisément et de manière plus objective les améliorations apportées par les techniques développées.

Le projet sur le thème IDE semble être dans le prolongement direct de ce qui a été réalisé lors de ce quadriennal, avec en plus des développements sur la dynamique de la focalisation à travers des plaques (participation à l'ANR Platon avec les chercheurs du thème METHEO). Le nombre de sujets traités au sein du thème IDE peut toutefois faire craindre un risque de dispersion. Compte tenu de la diversité et du nombre de sujets il conviendra, dans le but de maintenir l'expertise et garantir le niveau élevé de l'activité, d'envisager des recrutements.



**Thème 5 :** Physique des Ondes pour la Médecine (POM)

**Nom du responsable :** M. Mickael TANTER

**Effectifs 35,5**

*Les effectifs seront donnés en ETP.*

<b>Effectifs du thème en Équivalents Temps Plein</b>	<b>Au 30/06/2012</b>	<b>Au 01/01/2014</b>
ETP d'enseignants-chercheurs titulaires	4	5
ETP de chercheurs des EPST ou EPIC titulaires	6	6
ETP d'autres personnels titulaires n'ayant pas d'obligation de recherche (IR, IE, PRAG, etc.)	2,4	3,6
ETP d'autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)	1,5	0,5
ETP de post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	3	
ETP d'autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, etc.) hors post-doctorants	1	1
ETP d'autres personnels contractuels n'ayant pas d'obligation de recherche	2,6	2,4
ETP de doctorants	15	
<b>TOTAL</b>	<b>35,5</b>	<b>18.5</b>



## • Appréciations détaillées

La thématique de recherche de l'équipe POM concerne les applications ultrasonores et optiques en médecine. Elle regroupe des chercheurs de ces deux domaines et bénéficie positivement du rapprochement des laboratoires fondateurs LOA et du LOP de l'ESPCI travaillant sur des thématiques médicales.

Cette restructuration de l'équipe assure un très solide savoir-faire dans de nombreux domaines de compétence allant de la physique des ondes appliquée à la médecine (ultrasons et optique principalement), au développement de dispositifs médicaux, ainsi qu'au transfert clinique et industriel. Ce thème offre une excellente cohérence thématique par rapport à l'activité de l'Institut Langevin et sa labellisation en ERL INSERM sur le dernier quinquennal justifie son évaluation en tant qu'équipe porteuse du thème POM (c'est-à-dire avec notation). L'organisation de l'Institut Langevin en cinq thèmes décloisonnés ne permet pas de définir un périmètre exact de l'équipe POM mais permet une très grande adaptation scientifique en fonction des besoins.

### Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

Sur la période 2008-2012, les résultats obtenus et la production scientifique de l'équipe sont excellents : 139 articles dans les revues à comité de lecture dont 19 cosignés avec les autres thèmes, de très nombreux actes de congrès internationaux, 6 chapitres d'ouvrages. Les articles ont été publiés dans les meilleures journaux de spécialité en acoustique, optique et imagerie médicale (IEEE UFFC, JASA, Opt Letters, Appl Phys Let., Ultr. Med. Biol., Magn. Res. Med...) et aussi dans des revues générales très prestigieuses (Nature Methods, Nature Physics, Physical Review Letters, PNAS).

On note également 109 conférences invitées, allant de l'invitation à des sessions d'un congrès à des « keynote lectures », qui montrent un important retentissement international des résultats.

La qualité scientifique est à l'image de la recherche menée dans ce thème. De cette recherche est née une réputation internationale amplement méritée de la plupart des membres de l'équipe.

### Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

On remarque le succès de 2 jeunes chercheurs de l'équipe pour un contrat ERC Young Investigator. L'équipe POM a une très forte participation à des projets ANR (au total 14 contrats ANR dont 4 Tecsan, 2 Blanc, 6 Jeune Chercheur et 2 Emergence), et à d'autres projets (1 Plan Cancer, 1 AAPM Inserm, 1 DGA, 2 Pôle de compétitivité Medicen, 2 Fondation FUS). Il faut ajouter l'Equipex Ultrabrain obtenu par l'équipe en collaboration avec l'Institut de Cerveau et de la Moelle (ICM) dont l'objectif de la thématique concerne les applications des ultrasons au cerveau (imagerie et thérapie).

Plusieurs chercheurs participent activement à des sociétés savantes, des fondations, des GDR, des observatoires et des comités scientifiques de colloques internationaux. Cette équipe organise tous les 2 ans une école d'hiver aux Houches sur les Ultrasons Thérapeutiques. Plusieurs de ses membres sont rédacteurs associés de revues internationales, et la plupart des chercheurs sont experts pour de nombreuses revues de grande qualité.

Les prix et récompenses sont très nombreux, à commencer pour le directeur de l'équipe mais aussi une médaille de bronze CNRS pour un jeune chercheur de l'équipe ; 5 membres de l'institut ont reçu des prix nationaux ou internationaux.

L'attractivité se mesure notamment à la qualité des recrutements : 2 chercheurs CNRS et 1 INSERM ont été recrutés sur la période 2008-2012.

L'équipe de ce thème POM a évolué au cours des dernières années en élargissant ses coopérations nationales et internationales et en diversifiant fortement ses sources de financement.



## Appréciation sur l'interaction avec l'environnement social, économique et culturel

Concernant l'environnement socio-économique, le thème POM est à l'image de l'Institut, un bel équilibre (i) de physique fondamentale et de physique appliquée, (ii) de valorisation industrielle par un nombre important de dépôts de brevets (13 brevets déposés sur la période 2008-2012) et de créations d'entreprises et (iii) d'applications médicales. Cette équipe est à l'origine de plusieurs dispositifs commercialisés tel que l'Aixplorer™, échographe-élastographe ultrarapide de nouvelle génération commercialisé par la société Supersonic Imagine, ou le Light-CT™ scanner optique de la startup LLTECH qui met en œuvre une approche originale de l'OCT (« Optical Coherence Tomography ») plein champ.

Les entreprises créées donnent lieu à de nombreuses collaborations avec les chercheurs de l'équipe. En outre, les produits commercialisés permettent de poursuivre les recherches vers la clinique (on note en effet 27 collaborations cliniques dont 3 à l'étranger : CHU Heidelberg, All. ; MD Anderson Center, Tx ; Cornell Weil, NY). L'équipe garde un lien privilégié avec les équipes de R&D de ces sociétés et bénéficie d'un accès aux données brutes dans un mode « recherche ». Ainsi, l'équipe conserve une longueur d'avance (ex : le doppler 3D rapide a ouvert la voie de l'imagerie fonctionnelle ultrasonore du cerveau, cf. Projet) pour le développement de nouvelles idées.

Dans un domaine de très fort dynamisme et en compétition internationale, l'équipe a su se positionner sur plusieurs avancées de premier plan que ce soit en imagerie (quantification temps réel du module d'Young ouvrant la voie à de multiples applications cliniques, « Ultrafast » Doppler, OCT plein champ, imagerie acousto-optique pour ne citer que les plus importantes), soit en thérapie ou en développement de nouveaux agents de contraste. Dans ces thématiques, la vitalité en termes de dépôts de brevets et de transfert industriel est remarquable.

L'Institut doit enfin beaucoup à l'impact social et culturel issu de ce thème, qui doit être jugé par une intense participation à des émissions de télévision, des revues de vulgarisation, des articles de presse spécialisée et grand public et des actions médiatiques de formation.

## Appréciation sur l'organisation et la vie de l'unité

L'équipe POM est totalement intégrée dans l'unité avec la participation au comité de direction, au conseil de laboratoire des membres de l'équipe. Elle bénéficie ainsi des supports méthodologiques et théoriques des autres équipes. Il ne semble pas exister de conflits d'attribution de budget (l'équipe est très bien dotée en financements externes). Outre « l'école d'hiver aux Houches », des réunions régulières sont organisées. L'équipe dispose d'une surface importante et suffisante pour le développement de la recherche. Volontairement, l'équipe ne comprend pas de médecin, le transfert et les applications cliniques se font dans le cadre de collaborations.

## Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

Cette partie reprend l'argumentaire exposé dans l'évaluation globale de l'Institut Langevin en réactualisant les données relatives à l'équipe.

L'équipe Pom est fortement impliquée dans la formation par les enseignements à travers différents masters : l'European Master of Molecular Imaging, Paris 6(EMMI), le Master Biomedical Engineering de Paris5/ParisTech, le Master d'Imagerie médicale de Paris 11, le Master "Biomolécules et Thérapies Expérimentales" de Paris 13 et le Master Sciences Technologie et Santé (Spécialité Bio-Imagerie) de l'Université Victor Segalen Bordeaux II ; ainsi que dans le DES national de radiologie - Module "Technologies Avancées"

Le nombre de thèses en cours dans l'équipe (17) indique une forte accélération de ce thème (13 soutenues depuis 2008). Les doctorants rencontrés sont satisfaits et bien intégrés dans l'Institut. Les sujets de thèse comprennent un risque raisonnable et des solutions de repli sont envisagées.

L'avenir des doctorants semble tout à fait satisfaisant, partagé entre post-docs, postes dans la recherche et l'enseignement supérieur public, et le privé. Les post-docs présents à l'institut sont pour les deux tiers issus d'autres laboratoires.

Les membres de l'équipe participent à de nombreuses écoles, et organisent régulièrement une école d'hiver aux Houches sur les ultrasons thérapeutiques.



## Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

Le projet de recherche de ce thème s'inscrit dans la continuité du savoir-faire acquis par cette équipe lors du quinquennal précédent qui a démontré une réussite et un équilibre entre les applications et la recherche théorique.

Le projet est ambitieux et la restructuration en 3 thématiques est pertinente. Il permet de regrouper des projets extrêmement proches et complémentaires en offrant un potentiel de valorisation considérable des travaux récents émergeant actuellement de l'équipe.

Dans la thématique « Nouvelles méthodes d'imagerie biomédicales pour le diagnostic et la prévention », on retrouve bien sûr majoritairement la poursuite des actions engagées dans le domaine de l'imagerie quantitative d'élasticité. Cette thématique va permettre de consolider et améliorer les performances de l'Explorer, échographe unique vendu à plus de 500 exemplaires, qui constitue le cœur du savoir-faire de l'équipe, tant au niveau technologique que clinique. Bien loin d'avoir atteint sa maturité scientifique, cette technologie peut encore énormément évoluer et de nouveaux concepts d'imagerie vont émerger à partir de nouveaux projets originaux.

De nombreux projets sont déjà bien identifiés combinant risque et originalité. A titre d'exemple en acoustique, un projet concernant la tractographie ultrasonore par mesure d'anisotropie élastique devrait permettre d'imager les fibres dans la matière blanche pour mettre en évidence les voies neuronales. Cette technique est originale et compétitive par rapport à l'IRM. Les projets concernant l'imagerie d'élasticité et la quantification de la contractilité (cardiaque, utérine, artérielle,...) ont été évalués dans le cadre d'un projet ERC junior obtenu par un chercheur de l'équipe en 2012. Les solutions pour remonter à la non-linéarité élastique des tissus mous afin de mesurer de manière non invasive et à distance la pression physiologique locale des organes (par exemple la pression intra-oculaire ou la pression cérébrale) a déjà fait l'objet de résultats prometteurs. L'extension du domaine de l'élastographie à la très haute résolution ouvrira cette technologie aux recherches sur le petit animal. Et enfin un des projets majeurs proposé par l'équipe dans cette thématique consistera à explorer les applications des ultrasons dans le domaine de l'imagerie fonctionnelle cérébrale qui semble très innovante et qui a un potentiel très important. Dans le cadre de la fusion avec le laboratoire d'optique, on retrouve à côté de la tomographie optique plein champ, des projets innovants sur des approches originales, tel celui sur l'holographie hétérodyne qui a donné lieu à un autre projet ERC Junior ou encore celui sur les nano-antennes optiques liées par des brins d'ADN qui a déjà fait l'objet de publications dans des revues prestigieuses. Enfin, le rapprochement des thématiques ultrasons et optique ouvre la voie de travaux en imagerie acousto-optique, en opto-élastographie et photoacoustique dans lesquels les techniques ultrarapides développées dans le laboratoire seront subtilement utilisées.

La thématique « Nouvelles approches thérapeutiques fondées sur l'utilisation innovante d'ondes ultrasonores ou optiques » est la suite logique de travaux amorcés il y a quelques années sur la thérapie du cerveau avec des transferts dans un environnement clinique prévus. Ces travaux devraient déboucher sur des résultats très prometteurs pour le traitement de pathologies neurologiques tels que les tremblements essentiels, les TOCs, les tumeurs cérébrales focales, ou encore l'ouverture de la barrière hémato encéphalique. Au vu des approches proposées, on peut penser que l'équipe POM de l'Institut Langevin deviendra rapidement un leader de cette thématique même si les travaux effectués outre Atlantique dans ce domaine (Harvard, Sunybrook) sont déjà bien avancés. La mise en place d'une preuve de concept d'une « Brain Machine ultrasonore non-invasive » est encore plus originale et innovante, bien que fort risquée en raison de la concurrence des multiples approches non-ultrasonores existantes. Ce projet est bien structuré de par le savoir-faire de l'équipe en neurostimulation et en imagerie fonctionnelle ultrasonore, et la mise en place de collaborations cliniques avec l'ICM ne peut être que bénéfique à cette thématique supportée par l'équipex UltraBrain.

La thématique « Nouveaux agents de contraste et nouvelles modalités d'imagerie de contraste » repose majoritairement sur le développement de gouttelettes à transition de phase. C'est en effet un moyen pertinent de délivrer des drogues sous contrôle ultrasonore et bien que plusieurs groupes travaillent sur le sujet à l'international, l'expertise de l'Institut Langevin dans ce domaine est déjà reconnue. L'originalité ici vient de la possibilité de délivrance localisée de drogues sous contrôle US et de l'approche pluridisciplinaire combinant physique US, imagerie pour le suivi, chimie pour la formulation et production des vecteurs. Il existe quand même le risque que comme tout nouvel agent, celui-ci va demander de longs développements et études PK avant de pouvoir passer en usage clinique, contrairement à des approches reposant par exemple sur l'utilisation d'agents de contrastes ultrasonores pour améliorer l'extravasation qui a priori ne demande pas de développement pharmacologique.



## Conclusion

- *Avis global sur le thème :*

Le projet proposé par l'équipe POM est dans sa très grande majorité original, ambitieux et présente un bon équilibre entre continuité de travaux bien établis lors du précédent quinquennal et prise de risque sur de nouvelles thématiques. Il permet un recentrage judicieux à la fois structurellement (ultrasons et optique sur les mêmes thématiques) et scientifiquement (sur des domaines à haute valeur scientifique) ainsi qu'un élargissement des compétences du laboratoire vers les techniques alliant imagerie et thérapie.

- *Points forts et possibilités liées au contexte :*

L'équipe impliquée dans ce thème possède une très solide renommée et attractivité nationale et internationale dans les domaines des ultrasons et de l'optique. La pluridisciplinarité (ou plutôt transdisciplinarité) alliant physique fondamentale, physique appliquée, instrumentation, transfert industriel et clinique est un atout majeur de cette recherche translationnelle. L'ancrage de ce thème dans l'industrie est excellent et associé à une vitalité en termes de valorisation. Les chercheurs ont su fortement diversifier leurs sources de financement avec une grande vitalité en termes de participation à des appels d'offre nationaux et internationaux.

- *Points à améliorer et risques liés au contexte :*

Ce thème ayant fortement pris de l'ampleur au cours du précédent quinquennal, il faudra veiller à éviter une trop grande dispersion sur les applications et se concentrer sur ses nombreuses spécificités et ses forces.

- *Recommandations :*

Il pourrait être demandé au porteur de ce thème d'être vigilant à la grande diversité des projets étudiés par les chercheurs de son équipe. Celle-ci démontre un très grand dynamisme dans ce domaine et la grande majorité des projets de ce thème sont très innovants. Cependant, cette grande majorité pourrait bénéficier d'encore plus d'efficacité en délaissant quelques rares sujets qui manquent de positionnement clair par rapport à la compétition internationale.



## 5 • Déroulement de la visite

### Dates de la visite :

Début : 19 décembre 2012 à 8h30

Fin : 20 décembre 2012 à 18h0

### Lieu de la visite :

Institution : IPG

Adresse : 1 rue Jussieu, 75005 Paris

Locaux spécifiques visités : Les plateformes expérimentales. (laboratoires, plateformes, services de soutien, etc.)

### Programme de visite :

Le premier jour et le début du second ont permis d'écouter le directeur et les responsables de thèmes, et de visiter les locaux expérimentaux et de calcul numérique. Le second jour a permis l'audition des différentes catégories de personnels, des tutelles, et de l'actuel directeur et la future direction. La fin de la réunion a consisté en une discussion à huis clos du comité ;

### Programme détaillé de la visite :

#### Mercredi 19 décembre

- 8h30 - 9h : Réunion du comité à huis clos
- 9h - 10h : Exposé du directeur (bilan et projet)
- 10h - 10h30 : Discussions sur l'exposé du directeur
- 10h30 - 11h : Pause
- 11h - 12h30 : Exposés des responsables de thèmes 1
- 11h - 11h45 : Exposé de M. Julien De Rosny, chargé de recherches au CNRS, responsable du thème « Ondes Acoustiques et électromagnétiques en milieux complexes » (OMC)
- 11h45 - 12h30 : Exposé de M<sup>me</sup> Claire PRADA, directrice de recherches au CNRS, responsable du thème « Imagerie, Détection et Evaluation » (IDE)
- 12h30 - 13h30 : Déjeuner
- 13h30 - 16h15 : Visites et exposés
- 13h30 - 14h30 : Visite du laboratoire : thèmes OMC et IDE
- 14h45 - 15h30 : Exposé de M. Rémi CARMINATI, Professeur à l'ESPCI, responsable du thème « Optique Mésoscopique et Théorique » (METHEO)
- 15h30 - 16h15 : Exposé de M. Yannick DE WILDE, Directeur de recherches au CNRS, responsable du thème « Nanophotonique et Optique des Milieux Diffusants » (NAOMI)



16h15 - 16h30 : Pause

16h30 - 17h30 : Visite du laboratoire : thèmes METHEO et NAOMI

17h30 : Réunion du comité à huis clos

#### Jeudi 20 décembre

8h30 - 10h30 : Exposés, visites

8h30 - 9h30 : Exposé de M. Mickael TANTER, Directeur de recherches à l'INSERM, responsable du thème « Physique des Ondes pour la Médecine (POM) » (ERL INSERM U979)

9h30 - 10h30 : Visite du laboratoire : thème POM

10h30 - 10h45 : Pause

10h45 - 12h15 : Rencontre du comité avec les représentants des chercheurs et enseignants chercheurs, puis des représentants des personnels administratifs et techniques, puis des représentants des doctorants.

12h15 - 13h15 : Discussions du comité avec les tutelles

13h-15 - 14h15 : Déjeuner ( du comité à huis clos)

14h15 - 15h : Discussion du comité avec le directeur

15h - 18h : Réunion finale du comité à huis clos

L'accueil et l'organisation ont été parfaits, et ont permis au comité de travailler dans les meilleures conditions.



## 6 • Statistiques par domaine : ST au 10/06/2013

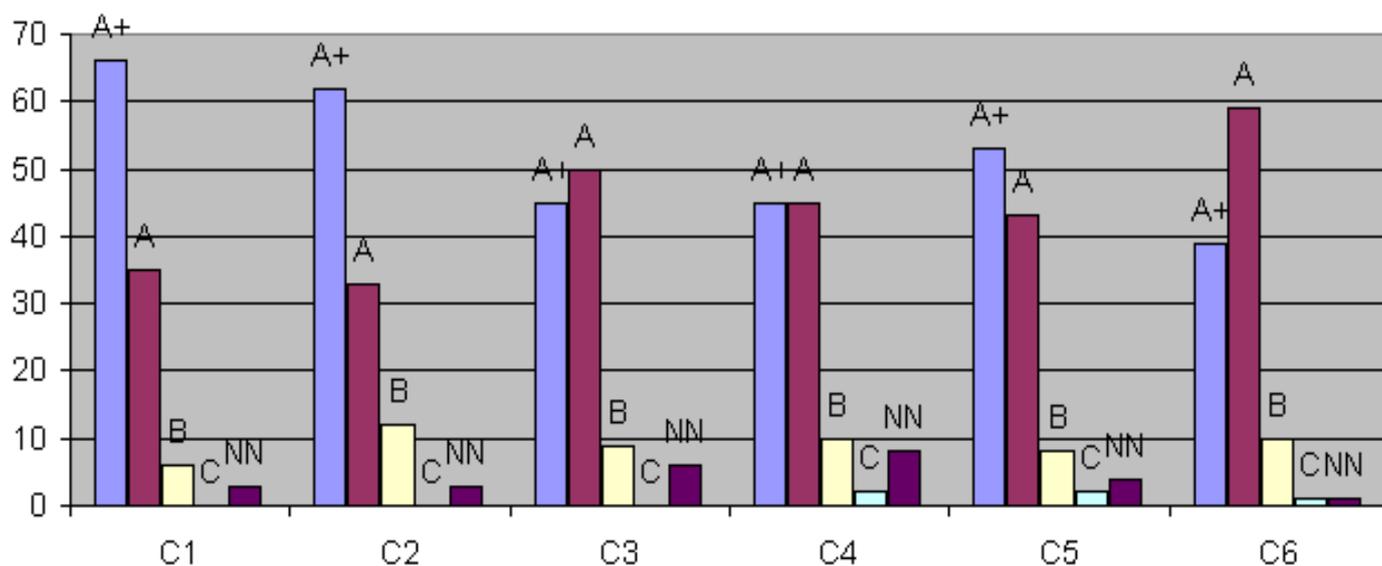
### Notes

Critères	C1 Qualité scientifique et production	C2 Rayonnement et attractivité académiques	C3 Relations avec l'environnement social, économique et culturel	C4 Organisation et vie de l'entité	C5 Implication dans la formation par la recherche	C6 Stratégie et projet à cinq ans
A+	66	62	45	45	53	39
A	35	33	50	45	43	59
B	6	12	9	10	8	10
C	0	0	0	2	2	1
Non Noté	3	3	6	8	4	1

### Pourcentages

Critères	C1 Qualité scientifique et production	C2 Rayonnement et attractivité académiques	C3 Relations avec l'environnement social, économique et culturel	C4 Organisation et vie de l'entité	C5 Implication dans la formation par la recherche	C6 Stratégie et projet à cinq ans
A+	60%	56%	41%	41%	48%	35%
A	32%	30%	45%	41%	39%	54%
B	5%	11%	8%	9%	7%	9%
C	0%	0%	0%	2%	2%	1%
Non Noté	3%	3%	5%	7%	4%	1%

Domaine ST - Répartition des notes par critère





## 7 • Observations générales des tutelles

L'unité n'a pas souhaité formuler d'observations de portée générale sur ce rapport.