



**HAL**  
open science

## PMC - Laboratoire de physique de la matière condensée

Rapport Hcéres

► **To cite this version:**

Rapport d'évaluation d'une entité de recherche. PMC - Laboratoire de physique de la matière condensée. 2014, École polytechnique - X, Centre national de la recherche scientifique - CNRS. hceres-02033415

**HAL Id: hceres-02033415**

**<https://hal-hceres.archives-ouvertes.fr/hceres-02033415>**

Submitted on 20 Feb 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



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

Section des Unités de recherche

Évaluation de l'AERES sur l'unité :

Laboratoire de Physique de la Matière Condensée

PMC

sous tutelle des

établissements et organismes :

École Polytechnique

Centre National de la Recherche Scientifique - CNRS





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

Section des Unités de recherche

*Pour l'AERES, en vertu du décret du 3  
novembre 2006<sup>1</sup>,*

- M. Didier HOUSSIN, président
- M. Pierre GLAUDES, directeur de la section  
des unités de recherche

*Au nom du comité d'experts,*

- M. Xavier MARIE, président du comité

---

<sup>1</sup> Le président de l'AERES « signe [...], les rapports d'évaluation, [...] contresignés pour chaque section par le directeur concerné » (Article 9, alinea 3 du décret n°2006-1334 du 3 novembre 2006, modifié).



# Rapport d'évaluation

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.

Nom de l'unité :	Laboratoire de Physique de la Matière Condensée
Acronyme de l'unité :	PMC
Label demandé :	UMR
N° actuel :	UMR-7643
Nom du directeur (2013-2014) :	M. François OZANAM
Nom du porteur de projet (2015-2019) :	M. Mathis PLAPP

# Membres du comité d'experts

Président : M. Xavier MARIE, LPCNO, INSA de Toulouse

Experts :

- M. Eric BEAUREPAIRE, IPCMS Strasbourg
- M. Jean-Marc DI MEGLIO, LMSC Paris Diderot (représentant du CoNRS)
- M. Stéphane JOBIC, IMN Nantes
- M. Vincent MAURICE, IRCP Paris
- M. Alain POCHÉAU, IRPHE Marseille

Délégué scientifique représentant de l'AERES :

M. Marc DRILLON

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

M. Giancarlo FAINI, Institut de Physique du CNRS

M. Patrick LE QUERE, École Polytechnique



## 1 • Introduction

### Historique et localisation géographique de l'unité :

Le laboratoire PMC a été créé il y a une cinquantaine d'années à Paris. Ses activités étaient initialement axées sur la résonance magnétique et la physique des semi-conducteurs. Il est installé aujourd'hui sur le centre de recherche de l'École Polytechnique à Palaiseau.

### Équipe de direction

L'équipe de direction, bien adaptée à la taille du laboratoire et à son interdisciplinarité, est constituée du directeur, du directeur adjoint et des quatre responsables de thèmes :

Electrons, photons, surfaces

Physique de l'irrégularité

Electrochimie et couches minces

Chimie du solide

Nomenclature AERES : ST2

### Effectifs de l'unité

Effectifs de l'unité	Nombre au 30/06/2013	Nombre au 01/01/2015
<b>N1</b> : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés		1
<b>N2</b> : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés	20	18
<b>N3</b> : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)	16	16
<b>N4</b> : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)	1	
<b>N5</b> : Autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.)	14	7
<b>N6</b> : Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)		
<b>TOTAL N1 à N6</b>	<b>51</b>	<b>42</b>



Effectifs de l'unité	Nombre au 30/06/2013	Nombre au 01/01/2015
Doctorants	24	
Thèses soutenues	35	
Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	7	
Nombre d'HDR soutenues	5	
Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	22	20

## 2 • Appréciation sur l'unité

### Avis global sur l'unité

Le laboratoire PMC est le lieu d'une recherche de pointe dans les domaines des nanosciences/nanomatériaux et de la physique de l'irrégularité. Sa production scientifique d'excellent niveau est le résultat d'un très bon équilibre entre recherche fondamentale, valorisation et collaborations industrielles. Le laboratoire est caractérisé par une très forte culture interdisciplinaire à l'interface physique/chimie avec des projets transversaux ambitieux et un enrichissement mutuel à la fois au niveau thématique et instrumental. Cette dynamique, qui est portée par l'ensemble des personnels du laboratoire (chercheurs, doctorants/post-doctorants et ITA), est exemplaire en France.

### Points forts et possibilités liées au contexte

Chaque thématique du laboratoire occupe une position de leader international dans un ou plusieurs domaines ; ceci est attesté par les prix internationaux, les conférences invitées et de manière globale par l'excellente production scientifique.

Le laboratoire PMC possède une très forte culture interdisciplinaire.

Le nombre de contrats industriels et de brevets déposés sur la période de référence est remarquable pour un laboratoire de cette taille. En outre le lien entre recherche fondamentale et recherche appliquée va bien au delà de la volonté de transfert des connaissances et de valorisation. Les thématiques industrielles sont une source d'inspiration et de renouvellement original des sujets fondamentaux.

Le laboratoire est caractérisé par une très forte cohésion de tous ses personnels et une grande convivialité, propices à la créativité et à l'émergence de nouveaux projets.

Bien que de petite taille, le laboratoire est impliqué dans de nombreux dispositifs locaux d'animation ou de soutien à la recherche (notamment trois labex) et bénéficie de l'attractivité de l'École Polytechnique.

### Points faibles et risques liés au contexte

On note sur la période de référence un très faible recrutement de chercheurs permanents. Outre un déséquilibre de la pyramide des âges, cette tendance pourrait nuire au développement de certains projets à moyen terme.

Le laboratoire ne compte qu'un seul enseignant-chercheur en activité, ce qui peut nuire à la représentation de PMC au niveau local, notamment dans le Département Recherche et Enseignement de l'École Polytechnique.



Dans le cadre des évolutions liées à la mise en place de l'Université Paris-Saclay, la taille modeste du laboratoire et sa très forte multidisciplinarité pourraient nuire à sa visibilité.

### Recommandations

Il est suggéré d'intensifier les efforts dans le domaine de la communication : mise à jour régulière du site Web avec une présentation des réussites et faits marquants, communiqués de presse, etc. Ceci permettra de mieux mettre en avant les atouts réels de PMC et d'améliorer sa visibilité.

Le développement de nouvelles collaborations intra-laboratoire entre la thématique Physique de l'irrégularité et les autres thématiques est encouragé, notamment dans le domaine des nanomatériaux.

Une plus grande participation à des schémas de financement européens permettrait d'accompagner et de soutenir les projets scientifiques ambitieux de PMC. Des candidatures à des projets du type ERC doivent également être envisagées et soutenues.

Les demandes de PMC en terme de locaux supplémentaires devraient être prises en compte sachant que l'ensemble du personnel est mobilisé pour l'optimisation des surfaces actuelles mais que ce processus a ses limites.

Il est important de veiller au respect des visites annuelles de la médecine du travail



### 3 • Appréciations détaillées

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

Le laboratoire PMC a une production scientifique de très haut niveau avec près de 300 articles publiés dans des revues à comité de lecture, dont une fraction significative dans des journaux à fort impact à la fois en physique et en chimie. La reconnaissance internationale est attestée par un nombre remarquable de conférences invitées (près de 150 sur la période). Outre des réussites obtenues grâce à des collaborations fructueuses entre les quatre thèmes, on observe de très belles avancées reconnues par la communauté internationale dans des domaines spécifiques développés dans chaque thème (cf. analyse thème par thème).

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

Le fort rayonnement international de PMC peut se mesurer par les prix académiques prestigieux obtenus par ses membres dans les quatre thèmes du laboratoire. Ils ont été décernés à la fois à des jeunes chercheurs, des responsables de thème ou des chercheurs émérites, ce qui montre que les talents sont bien répartis dans la pyramide des âges.

L'attractivité de PMC sur les doctorants de haut niveau est excellente. Le laboratoire exploite de manière remarquable les avantages du site de l'École Polytechnique ; la qualité de l'encadrement au quotidien des doctorants et la préparation de leur insertion professionnelle y contribuent également beaucoup. D'autre part PMC attire chaque année plusieurs chercheurs de haut niveau sur des postes invités et a organisé sept conférences ou workshops internationaux sur la période.

La participation de PMC à des projets collaboratifs ANR est de bon niveau. On peut souligner que les financements par projet de ce type encouragent les partenariats scientifiques avec d'autres laboratoires au détriment d'une stratégie scientifique interdisciplinaire intra-laboratoire telle que celle développée à PMC.

Les membres de PMC sont fortement impliqués dans de nombreuses instances régionales ou nationales : RTRA Triangle de la physique, C'nano Ile-de-France, trois labex (Nanosaclay, Palm, Charmat), GDRs, etc.

Le rayonnement de PMC devrait lui permettre d'intensifier à l'avenir sa participation à des projets européens.

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

Le laboratoire a une politique exemplaire au niveau de l'articulation entre recherche fondamentale, valorisation et collaborations industrielles. On note près de 40 contrats industriels sur la période avec 15 entreprises différentes, résultat remarquable pour un laboratoire qui publie en plus chaque année dans PRL, JACS, Nature Nanotech, Langmuir, etc.

On peut noter que les chercheurs de PMC ont également joué un rôle clé pour la mise en place de deux chaires : « Sciences des matériaux et construction durable » avec Lafarge et « Sciences des matériaux et surfaces actives » avec Saint-Gobain. Outre leur impact dans le domaine de la formation au niveau Master à l'École Polytechnique, ces chaires ont également des retombées très positives au niveau de la recherche (contrats de post-doctorants, organisation de colloques...).

Ces relations industrielles sont en plus la source d'inspiration pour de nouvelles thématiques de recherche fondamentale.

Le laboratoire participe de manière significative à des actions de vulgarisation scientifique dans le cadre de manifestations du type « Fête de la Science », « Portes ouvertes », etc.

PMC fait également de gros efforts pour protéger et valoriser ses résultats : 12 brevets ont été déposés sur la période et 2 prix de l'innovation ont été obtenus.





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

Le comité d'experts a été particulièrement impressionné par l'excellente cohésion de tous les personnels de PMC et par la convivialité qui règne au sein du laboratoire. PMC a mis en place une culture remarquable du travail en commun et une très forte mutualisation des ressources. Ces caractéristiques qui font la force du laboratoire permettent un croisement des disciplines (notamment physique et chimie) et l'émergence de sujets de recherche originaux. Le comité d'experts souligne la très grande qualité du travail réalisé par la direction actuelle.

On note dans les effectifs la présence de six chercheurs émérites de grande envergure scientifique dont les activités sont bien intégrées aux travaux de chaque thème ; leur expérience et leur réseau bénéficient à l'ensemble du laboratoire.

Les chercheurs regrettent la multiplication des financements par projet, souvent de trop courte durée, générant un travail administratif de plus en plus important au détriment du cœur de métier de la recherche. Les difficultés liées au recrutement de jeunes chercheurs CNRS et les inquiétudes liées à la mise en place de l'Université Paris Saclay ont également été soulignées. Une communication régulière sur cette opération d'envergure apparaît indispensable. PMC a tous les atouts (interdisciplinarité physique/chimie, recherche fondamentale d'excellence couplée à des partenariats industriels remarquables) pour jouer un rôle moteur et constructif.

Les personnels ITA, dont les effectifs ont été fortement renouvelés sur la période, sont très bien intégrés à la dynamique globale du laboratoire. Au cours de la visite, le comité d'experts a pu apprécier la qualité du travail qu'ils effectuent au quotidien. Les préoccupations liées à l'hygiène et à la sécurité sont le souci de tous avec des ACMOs bien identifiés. Compte tenu du très bon fonctionnement actuel, le comité d'experts reconnaît la pertinence d'avoir des services de proximité (mécanique, électronique...) et non centralisés au niveau du site. Une mutualisation inter-laboratoires sur le site de l'École Polytechnique pourrait avoir du sens pour certaines activités relevant de l'informatique ; la concertation constructive avec les personnels concernés doit se poursuivre.

Au niveau des structures d'organisation, PMC a un fonctionnement classique pour une UMR de sa taille : un comité de direction qui se réunit une fois par mois, quatre réunions du conseil de laboratoire par an et l'organisation occasionnelle d'assemblées générales.

L'animation scientifique est de très bon niveau avec l'organisation d'un séminaire hebdomadaire bien suivi et des séminaires réguliers de doctorants.

La communication vers l'extérieur pourrait être améliorée ; ce point faible a été identifié par le laboratoire et des mesures ont été prises (mise en place d'un groupe de travail, mise à jour du site web...).

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

PMC ne compte qu'un seul enseignant-chercheur à l'École Polytechnique. Cependant l'implication globale dans la formation par la recherche est très importante : plus de 50 % des chercheurs CNRS effectuent des enseignements dans des masters co-habilités par l'École Polytechnique ou l'École Nationale des Ponts et Chaussées ; ils enseignent également pour un volume d'heures très significatif dans le cycle ingénieur de l'École Polytechnique. A ce titre, on compte parmi les personnels de PMC un professeur associé aux départements de physique et chimie, un professeur chargé de cours et un chargé d'enseignement au département de physique.

Au delà des cours dispensés, les chercheurs de PMC ont une activité importante et stratégique au niveau de la responsabilité de Masters de l'École Polytechnique : « Science des matériaux et nano-objets », « Dispositifs quantiques » et « Nanosciences ». Les chercheurs de PMC ont également participé à la mise en place du Master « Modélisation multi-échelles et multi-physiques des matériaux et des structures » et contribuent à l'enseignement du Master « Sciences des matériaux pour la construction durable » et au Master franco-vietnamien de mathématiques appliquées.

Enfin on peut noter que le directeur actuel de PMC dirige également le département de chimie de l'École Polytechnique ; il a contribué avec ses collègues de PMC à l'élargissement thématique de l'enseignement de la chimie au sein du département jusqu'à présent dédié à la chimie moléculaire avec une ouverture aux matériaux et à la chimie du solide.



Au delà de cette implication remarquable au niveau Master, les chercheurs CNRS de PMC se sont aussi fortement investis dans l'École Doctorale 447 de l'École Polytechnique. Un chercheur de PMC l'a en particulier dirigé jusqu'en 2011. Le laboratoire est également moteur dans la construction de l'ED Interfaces dans le cadre de la création de l'Université Paris Saclay.

Concernant plus spécifiquement l'encadrement des doctorants, tous semblent se féliciter de la disponibilité de leurs encadrants et de la volonté de ceux-ci à les aider dans leur quête d'emploi après la thèse. Un membre du laboratoire a d'ailleurs créé les « Doctoriales » et les a animées jusqu'en 2011. On note un très bon suivi de l'insertion professionnelle des docteurs formés par PMC qui montre qu'une majorité d'entre eux intègrent le monde de l'entreprise. Les doctorants soulignent que les nombreuses collaborations industrielles de PMC ainsi que le forum des entreprises organisé chaque année par les élèves de l'École Polytechnique constituent un véritable atout.

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

Le projet présenté par le laboratoire pour les cinq prochaines années est solide. Il est basé sur le développement des sujets d'excellence dans chaque thème tout en encourageant l'émergence de sujets aux interfaces (cf. analyse thème par thème). La stratégie gagnante reposant sur un bon équilibre entre sujets fondamentaux et coopérations industrielles est conservée.

L'organisation du laboratoire est maintenue avec les mêmes responsables de thème à l'exception de Physique de l'irrégularité dont le responsable actuel est proposé pour la direction du laboratoire ; le directeur adjoint actuel deviendrait alors le responsable du thème. Un directeur adjoint (chimiste) complètera le dispositif (il n'a pas encore été identifié). Le comité d'experts juge très positivement ces évolutions.

Au niveau de la nécessité de recrutement de jeunes chercheurs ou enseignant-chercheurs permanents, le comité d'experts partage le point de vue du laboratoire sur son caractère stratégique. Aucune priorisation n'a cependant été présentée dans le projet. Une réflexion rapide sur ce sujet est nécessaire.

Au niveau des moyens expérimentaux, PMC souhaite maintenir et développer ses points forts tout en s'intégrant dans une politique de mutualisation appréciée par le comité d'experts, notamment dans le domaine de la microscopie électronique et les rayons X.

Le comité d'experts encourage les personnels à développer les outils de communication vers l'extérieur (une commission a été mise en place récemment) ; il s'agit d'un point à ne pas négliger dans le cadre de la mise en place de l'Université Paris-Saclay.



## 4 • Analyse thème par thème

**Thème 1 :** Electrons-Photons-Surfaces

**Nom du responsable :** M. Jacques PERETTI

### Effectifs

Effectifs du thème en Équivalents Temps Plein	Au 30/06/2013	Au 01/01/2015
ETP d'enseignants-chercheurs titulaires		
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	1
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	2	2
ETP d'autres personnels contractuels n'ayant pas d'obligation de recherche		
ETP de doctorants	5	
<b>TOTAL</b>	13	7

### • Appréciations détaillées

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

L'activité est issue d'une thématique traditionnelle liée à la physique du spin dans les semi-conducteurs qui a donné lieu à une instrumentation originale au niveau national et international (l'équipe a été pendant longtemps la seule en France à maîtriser la mesure du spin électronique en ultravide).

Les thématiques actuelles sont déclinées selon quatre axes : la physique des électrons polarisés en spin, les propriétés physico-chimiques des surfaces III-V, le transport dans les dispositifs semi-conducteurs, la nanostructuration optique de films photochromiques. Ces axes sont dynamisés par des collaborations en interne, aux niveaux national ou international. Le nombre de publications est satisfaisant, les publications sont de bon niveau et plusieurs faits marquants sont à relever pour la période d'évaluation.



Bilan scientifique par axe :

#### A) Physique du spin dans les semi-conducteurs

Le pompage optique est étudié dans le silicium par analyse directe du spin des électrons photo-émis dans le vide pour des surfaces en affinité négative. On trouve une polarisation significative pour une excitation proche du gap direct (+16%) ; cette mesure inédite permet une comparaison directe aux règles de sélection optique qui aujourd'hui sont encore discutées. Ce résultat (non encore publié semble-t-il) ouvre de nouvelles voies pour l'étude du spin électronique dans le silicium, ce qui a été peu étudié du fait de la présence d'un gap fondamental indirect. Le comité d'experts encourage les chercheurs de cette thématique à valoriser davantage ces résultats novateurs et d'actualité (publication dans des revues et présentations dans des conférences internationales de forte audience).

Une expérience originale de micro-luminescence en lumière polarisée a été développée pour l'étude de la diffusion de spin dans les semi-conducteurs III-V. L'étude des profils de polarisation en fonction de la température et de la puissance laser donne des informations sur les diffusions de spin et de charge. Les effets du blocage de Pauli sur la diffusion dépendante du spin dans un gaz d'électron dégénéré sont observés pour la première fois dans GaAs.

L'injection de spin dans un métal ferromagnétique d'électrons générés par pompage optique est étudiée dans une géométrie de type AFM. La mise au point de l'instrument a nécessité des efforts technologiques de micro-fabrication (IEMN) en liaison avec des industriels (Alcatel, Thalès). L'analyse des données de l'asymétrie en spin du photo-courant en fonction de la tension appliquée donne des informations pertinentes sur l'injection de charge et de spin dans les jonctions métal/isolant/semi-conducteur.

Les effets de filtres à spin de jonctions métal ferromagnétique/semi-conducteur sont étudiés par injection d'électrons polarisés de haute énergie. L'asymétrie de spin est mesurée soit en collectant le courant au niveau du substrat (prolongement d'études précédentes) soit en mesurant la luminescence de puits quantiques d'InGaAs (ce qui permet d'analyser de manière optique la transmission d'électrons chauds polarisés en spin). Globalement les asymétries mesurées sont faibles (ce qui met en question l'efficacité pour la détection de spin) et il est difficile d'accéder actuellement au régime de très faible énergie qui serait particulièrement intéressant pour la compréhension des dispositifs. Ce sujet est d'un intérêt fondamental certain mais un bilan devrait être effectué en fonction des résultats obtenus après les optimisations envisagées sur le design des structures à puits quantiques et sur le système expérimental.

Au final, cet axe, qui représente le cœur de métier de la thématique, souffre de la concurrence des techniques résolues en temps qui donnent, quelquefois à tort, une certaine hégémonie à d'autres équipes sur la physique du spin dans les semi-conducteurs ; les résultats obtenus sont contrastés mais on relève des faits marquants de premier plan grâce au développement de techniques expérimentales originales (effets du blocage de Pauli sur la diffusion dépendante du spin, orientation optique dans le silicium).

#### B) Physico-chimie des surfaces III-V

Il s'agit d'une activité récurrente sur la passivation de surface du GaAs et son influence sur la dynamique de spin électronique en combinant la spectroscopie de photoémission sur synchrotron et les techniques de laboratoire (absorption infra-rouge in-situ...). Les mesures de micro-photoluminescence donnent des informations sur les processus de recombinaison de surface. Ce sujet semble avoir atteint ses limites et ne se retrouve pas, à juste titre, dans le volet projet pour laisser place à des orientations nouvelles.

#### C) Transport dans les dispositifs semi-conducteurs

La piézorésistance est étudiée pour le silicium massif et dans des micro/nanostructures. Des développements particulièrement intéressants et novateurs ont été obtenus qui ouvrent la voie à des nouvelles approches thématiques (type NEMS). Les résultats originaux, basés sur des mesures sous forte contrainte, améliorent la compréhension des propriétés des nanostructures à base de silicium et remettent en question l'existence de piézorésistance géante dans les nanofils.

Grâce à une collaboration fructueuse avec l'Université de Santa Barbara en Californie, les techniques maîtrisées par l'équipe (photoémission de faible énergie dans les semi-conducteurs) sont mises à profit pour l'étude des dispositifs DEL de GaN et montrent le rôle des électrons Auger dans l'efficacité d'émission lumineuse. Cette étude à fort impact illustre la bonne fertilisation croisée recherche appliquée/fondamentale et ouvre la voie vers des collaborations importantes avec des leaders académiques et industriels du domaine.



#### D) Nano-structuration optique de films minces photochromiques

Les films minces photochromiques sous éclairage en face arrière sont étudiés par des techniques de champ proche (SNOM) permettant de mesurer simultanément le profil d'éclairage et la topographie. Des phénomènes et des questions nouvelles sont posés concernant le transport de matière dans les polymères photochromiques. Des prolongements sont possibles pour la nano-fabrication et la manipulation des nanomatériaux. Il existe une très bonne collaboration avec le groupe de chimie du solide de PMC sur ce sujet.

Au final, on note plusieurs développements instrumentaux originaux, les résultats les plus significatifs et originaux étant liés aux nouvelles thématiques de l'équipe.

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

Le rayonnement et l'attractivité académiques sont d'un bon niveau. L'activité a été soutenue par cinq projets ANR (dont trois portés par le thème), auxquels s'ajoutent des projets locaux (C'Nano, Labex...). Quatre thèses de doctorat ont été soutenues sur la période et six sont en préparation dont deux en co-encadrement avec un autre thème du laboratoire ; il s'agit d'un point très positif. Des relations internationales soutenues sont entretenues avec la Russie (Institut Ioffe, St-Petersbourg ; Institute of Semiconductors, Novosibirsk) et les Etats-Unis (UCSB). Des chercheurs ont de plus été distingués par un prix international et un honorariat. On peut en revanche déplorer l'absence de contrat européen et le nombre limité d'invitations dans des manifestations internationales.

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

L'activité scientifique a donné lieu à quatre dépôts de brevets et deux contrats industriels, ce qui est remarquable compte tenu du caractère fondamental des recherches. Par ailleurs, les résultats les plus marquants (ex. transport d'électrons chauds dans les DELs) ont fait l'objet de nombreuses communications dans la presse professionnelle et vers le grand public.

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

La thématique « Electrons Photons Surfaces » propose un projet de très bon niveau qui est fortement ancré sur ses spécificités scientifiques (orientation optique, physique du spin dans les semi-conducteurs, transport dans les dispositifs semi-conducteurs) et techniques (photoémission de très basse énergie, imagerie en champ proche, analyse de spin). Les problématiques qui seront abordées permettront un recentrage sur des thèmes actuels, elles marient de façon harmonieuse les aspects développés ci-dessous :

- l'approfondissement d'activités précédemment engagées et à très forte visibilité au niveau international, telles que la spectroscopie du transport d'électrons chauds dans le GaN, l'orientation optique dans le silicium étudié par des mesures magnéto-optiques, ou l'étude de la piézorésistance des nanostructures à base de silicium. Les résultats remarquables obtenus demandent en effet des travaux plus systématiques qui mettront en œuvre des collaborations nationales et internationales ;

- des activités transversales et structurantes au niveau du laboratoire. La nano-structuration de couches minces photochromiques mise en évidence dans la période précédente en interaction avec la thématique « Chimie du Solide » sera utilisée pour manipuler des nano-objets, étudier leurs propriétés d'émetteurs individuels et contrôler les interactions avec leur environnement. De plus, il est prévu d'étudier le transfert de polarisation induit optiquement des électrons d'un semi-conducteur vers les spins nucléaires dans un liquide. Ce projet, qui nécessite une synergie avec les thématiques Electrochimie (élaboration de semi-conducteurs poreux) et Physique de l'Irrégularité (RMN des liquides), représente un véritable défi pour lequel le laboratoire est bien armé et qui pourra déboucher sur la spectroscopie RMN à bas champ et haute résolution ainsi que l'imagerie RMN à bas champ magnétique.



## Conclusion

L'activité « Electrons-Photons-Surfaces » a produit plusieurs résultats importants et remarquables par la communauté scientifique. La production scientifique est d'un très bon niveau international. Ces résultats sont le fruit d'une démarche originale, basée sur une instrumentation de qualité.

Le recentrage des activités sur des thèmes actuels et porteurs doit être encouragé. Il a été amorcé et devra se poursuivre sur la période à venir. Il faudra veiller à la visibilité internationale qui doit se manifester par exemple par des conférences invitées et la participation à des projets européens.

Afin de pérenniser cette activité sur le moyen terme, il est important de procéder au recrutement de jeunes chercheurs pendant la période à venir.



**Thème 2 :** Physique de l'irrégularité

**Nom du responsable :** M. Mathis PLAPP

### Effectifs

Effectifs du thème en Équivalents Temps Plein	Au 30/06/2013	Au 01/01/2015
ETP d'enseignants-chercheurs titulaires		
ETP de chercheurs des EPST ou EPIC titulaires	7	6
ETP d'autres personnels titulaires n'ayant pas d'obligation de recherche (IR, IE, PRAG, etc.)	1	1
ETP d'autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)		
ETP de post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	5	
ETP d'autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, etc.) hors post-doctorants	2	2
ETP d'autres personnels contractuels n'ayant pas d'obligation de recherche		
ETP de doctorants	5	
<b>TOTAL</b>	<b>20</b>	<b>9</b>

## • Appréciations détaillées

### Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

Le thème Physique de l'Irrégularité a pour champ d'étude la complexité géométrique, qu'elle soit imposée ou spontanément créée, et ses conséquences sur les propriétés des systèmes. Ce concept, largement transversal, l'amène à s'intéresser à des systèmes très divers allant des matériaux à la biophysique, dans un cadre souvent interdisciplinaire. En particulier, les avancées scientifiques sur ces sujets aux interfaces requièrent souvent des percées méthodologiques ou conceptuelles, ou la maîtrise de techniques éprouvées. C'est ce qu'ont fort bien réussi les chercheurs du thème dans le cadre respectivement des méthodes de simulation de champ de phase, des études sur l'origine du phénomène de localisation des ondes ou de l'approche multi-échelle de la dynamique de la respiration, ainsi que dans l'expertise des diagnostics RMN, IRM, DRMI.

Le thème est structuré en quatre activités : Morphogénèse et croissance, Dynamique multi-échelle de fluides complexes, Localisation des ondes et vibrations, Interface avec les sciences du vivant. Il présente une production tout à fait remarquable de 144 articles dans des revues pour la plupart de meilleur niveau international. Une très large part de cette production se rapporte à la collaboration d'un membre du thème avec des chercheurs extérieurs sur une base souvent internationale. Ceci témoigne d'une large ouverture, d'une forte dynamique et d'une grande reconnaissance et attractivité.



L'activité « Morphogenèse et croissance » inclut des travaux en solidification, en écoulement de fluides complexes et en dynamique de fracture qui reposent sur une maîtrise reconnue d'une méthode puissante de simulation de dynamique d'interface : la méthode de champ de phase dont un des chercheurs du thème a participé à la genèse. Ceci permet aux chercheurs du thème d'être aux avant-postes de l'avancée de ces sujets. Les travaux sur l'altération de verres borosilicatés par l'eau par diffusion aux petits angles ou par diffusion de neutrons ont débouché sur la mise en évidence de restructuration et de fermeture de porosité ainsi que sur l'explication de leur dépendance à la composition des verres. Ces avancées sont importantes pour le stockage des déchets nucléaires. Les travaux sur la croissance dendritique en électrochimie ont permis de caractériser deux régimes, leur transition et les caractéristiques de leurs dépôts. Ces résultats fournissent des informations importantes pour l'optimisation du fonctionnement des piles électrolytiques.

L'activité « Dynamique multi-échelle de fluides complexes » combine admirablement des méthodes de détermination de structure (tomographie X) avec des mesures de dynamique (RMN). Des résultats importants ont été obtenus en particulier sur la dynamique de transport de l'eau dans les ciments ainsi que des contributions théoriques importantes faisant appel aux concepts les plus avancés d'intermittence et de temps de premier passage. L'abondance de résultats résulte très certainement de la rencontre - unique en un même laboratoire - de compétences expérimentales dans l'étude des milieux divisés avec des compétences théoriques fortement empreintes d'analyse géométrique.

L'activité « Localisation des ondes et vibrations » porte sur des propriétés fondamentales des ondes, indépendamment de la nature du substrat. Elle constitue donc un sujet transversal sur lequel le thème apporte plusieurs résultats remarquables. Sur la lancée des succès obtenus en acoustique des murs anti-bruit, un phénomène de localisation à une interface irrégulière entre deux milieux a été identifié. Il conduit à un amortissement accru par rayonnement. Une autre application de la localisation a été identifiée lors de la transmission au travers d'une jonction entre deux métaux. Dans le cadre des vibrations de plaques minces, un mécanisme universel de localisation des vibrations selon leur fréquence a été découvert en régime linéaire. Il est promis à des transferts et des applications dans des contextes divers et est donc dès à présent sujet à de nombreuses interactions internationales et à un fort impact dans la communauté.

Enfin, le comité d'experts a fortement apprécié les recherches menées sur le fonctionnement des poumons, depuis leur description géométrique, en passant par l'étude de leur dynamique impliquant des études hydrodynamiques de type fluide-structure jusqu'aux étapes ultimes des échanges gazeux. Ces recherches, menées à l'interface de la physique et de la biologie, associant des équipes de médecins sont exemplaires et approchent maintenant aussi l'étude de la morphogenèse du système respiratoire et de son évolution.

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

Outre la participation à plusieurs GDR ou CDR, les chercheurs du thème participent aux bureaux thématiques du "Triangle de la Physique" RTRA et du LabEx Palm tandis qu'un de ses membres codirige le GDR Méthode de Champ de phase. On note également des activités d'éditeur de revue de premier plan et d'organisation de conférences internationales et nationales.

Plusieurs membres du thème ont été distingués par des prix (médaille de bronze du CNRS, Société française d'acoustique, prix de thèse de l'École Polytechnique, Fondation des Ponts) ou des sélections (programme Fulbright) sur les sujets relatifs à la localisation, la morphogénèse ou la RMN. Plusieurs invités de forte réputation internationale ont par ailleurs été reçus par l'équipe.

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

De manière générale, le thème est soucieux de se placer aux interfaces entre études fondamentales et appliquées. Il en découle de nombreuses collaborations avec les milieux médicaux ou industriels qui conduisent à un soutien d'une quinzaine de contrats ANR ou européen impliquant des entreprises ainsi qu'à des contrats industriels avec l'IFP, Schlumberger, CEA, Renault, Total, CSTB, Air Liquide... dans les domaines des matériaux, de l'acoustique, de la santé. Ces partenariats industriels ont ainsi soutenu six thèses CIFRE et un post-doc. Ils ont de plus abouti au dépôt de deux brevets sur l'utilisation de la RMN et sur les batteries Li-ion.

Plusieurs sujets du thème portent sur des questions d'importance sociétale avérée, entre autres : batteries Li-ion, stockage des déchets nucléaires, matériaux cimentaires, respiration.





Des conférences grand public et des articles de vulgarisation par un membre du thème participent de la diffusion de la culture scientifique vers un large public. L'ouverture du thème se concrétise également par la participation aux journées "portes ouvertes" et aux "nuits des chercheurs" de l'École Polytechnique.

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

Le projet présente un bon équilibre entre la poursuite des actions où la compétence des acteurs est reconnue, l'amplification de celles où ils sont en position de leader et l'ouverture vers de nouvelles collaborations ou sujets. Ainsi, l'approfondissement des méthodes de champ de phase et leur extension vers la fracturation ou les fluides complexes ainsi que le développement des études sur la localisation sont à l'évidence judicieux. L'accueil d'une équipe d'expérimentateurs en morphogenèse de systèmes biologiques équilibrerait bien les activités théoriques et numériques du thème. La poursuite des études de transport multi-échelle hydrique devra relever le déficit induit par le départ d'un chercheur du laboratoire. Les travaux sur la physique de la respiration bénéficieront des compétences et de la notoriété accumulées sur ce sujet. Les travaux sur la dynamique des protéines et sur les phénomènes statistiques en science du vivant sont bien positionnés à l'interface entre physique et biologie. Les développements vers l'étude biophysique du placenta sont avisés pour valoriser les compétences du thème en analyse et simulation du transport et des échanges dans un milieu de géométrie complexe.

L'analyse SWOT est lucide sur les capacités et le contexte de l'équipe, notamment sur l'opportunité de développer les collaborations internes, par exemple sur la fracturation, en complément des nombreuses interactions externes du thème. L'ensemble fournit ainsi un projet cohérent et judicieux, tant en termes de positionnement scientifique que dans les possibilités d'interaction avec les milieux sociétaux ou industriels.

### Conclusion

#### ▪ *Points forts et possibilités liées au contexte*

Le thème se compose de chercheurs de grande qualité dont le dynamisme et l'autonomie sont avérés. Ils bénéficient d'une forte reconnaissance individuelle et d'une très bonne insertion dans les réseaux relatifs à leurs thématiques, non seulement sur le plan académique mais aussi pour beaucoup sur le plan du partenariat avec le monde industriel. L'ensemble conduit à une forte productivité en publications et à des flux conséquents de thèses et de stages postdoctoraux de qualité. Par ailleurs, la large diversité thématique du thème est un gage de dynamisme, d'adaptabilité et d'interactivité, essentiels pour la prospective. Au total, les acteurs du thème disposent ainsi des atouts pour s'adapter aux évolutions rapides du contexte et du paysage de la recherche.

#### ▪ *Points faibles et risques liés au contexte*

Le départ d'un membre du laboratoire affaiblit de manière notable l'activité sur les études par RMN des systèmes colloïdaux et du transport dans les milieux poreux. Une réflexion devrait être menée sur les conséquences à moyen terme de cette situation. La majeure partie des travaux et des publications est effectuée en collaboration avec des chercheurs extérieurs au thème et à l'unité. Si cela est bénéfique à la productivité globale qui est excellente, cela peut faire manquer des opportunités scientifiques intéressantes dans le thème et dans le laboratoire. La large diversité des sujets, si elle participe de la notoriété du groupe, peut conduire à une représentativité sous-critique dans certaines instances ou structures.

#### ▪ *Recommandations*

Un renfort des collaborations internes dans le thème et avec les autres thèmes du laboratoire devrait être recherché en poursuivant les réflexions déjà engagées.

Une réflexion prospective sur les études par RMN du transport et des systèmes colloïdaux devrait être effectuée.

Un recrutement pourra être recherché pour accompagner le développement du thème et assurer la continuité à moyen terme de sa dynamique.

### Thème 3

Electrochimie et couches minces

Nom du responsable

M. Philippe ALLONGUE

Effectifs

Effectifs du thème en Équivalents Temps Plein	Au 30/06/2013	Au 01/01/2015
ETP d'enseignants-chercheurs titulaires		
ETP de chercheurs des EPST ou EPIC titulaires	5	5
ETP d'autres personnels titulaires n'ayant pas d'obligation de recherche (IR, IE, PRAG, etc.)	1	1
ETP d'autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)		
ETP de post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité		
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		
ETP de doctorants	6	
<b>TOTAL</b>	13	7

### • Appréciations détaillées

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

Les recherches développées sur le thème « Electrochimie et couches minces » démontrent une expertise aigüe couvrant le domaine de l'électrochimie de l'interface solide/liquide appliquée à l'électrodéposition de couches métalliques ultraminces et nano-structurées et le domaine de la chimie de surface en phase liquide appliquée à la fonctionnalisation de surface et au greffage moléculaire sur silicium et à l'élaboration de dispositifs en couches minces. La marque de fabrique de l'activité consiste à accompagner l'élaboration par voie humide de caractérisations fines le plus souvent in situ (microscopie à champ proche, spectroscopie IR, mesures magnéto-optiques, diffraction des RX...), permettant des études rigoureuses et détaillées sur des échantillons de grande qualité, avec un contrôle de la structure et des interfaces similaire à ceux obtenus pour des croissances sous ultravide.

L'ensemble de la production scientifique sur la période est de très haut niveau. La diffusion est exclusivement internationale dans des supports éditoriaux de référence tels que J. Phys. Chem. C, Langmuir, Electrochimica Acta, J. Power Sources, J. Mat. Chem. ou Biosensors and Bioelectronics, ou dans des journaux plus généralistes tels que Adv. Mater., JACS, Chem. Mater. ou PRL. On note également la publication de chapitres d'ouvrages. La notoriété internationale des travaux et leur impact sont attestés par un grand nombre de conférences invitées (43 sur la période), dont des plénières dans des congrès internationaux de référence en électrochimie tel que le congrès de l'International Society of Electrochemistry réunissant plus de 2000 participants.



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

Outre le grand nombre de conférences invitées mentionné ci-dessus, le fort rayonnement international du thème est attesté par les prix et distinctions obtenus par deux des membres (Prix de la division Electrodeposition de l'Electrochemical Society et Médaille Volta de l'Electrochemical Society) et par l'implication régulière de ses membres dans la co-organisation de réunions internationales de référence en électrochimie (Fisher Symposium) et les comités scientifiques de symposia de congrès internationaux majeurs (congrès annuel de L'International Society of Electrochemistry). Au niveau national, les chercheurs sur ce thème sont actifs dans diverses opérations : Labex Charmmat, RTRA Triangle de la Physique, projet DIM de la région Ile-de-France, expertise de projets sur le synchrotron SOLEIL.

L'attractivité académique est attestée par un flux constant de doctorants (9 thèses soutenues sur la période et 5 en cours) et de post-doctorants (5 sur la période), et la grande qualité de ceux-ci par l'obtention de deux prix de thèse, un de l'École Polytechnique et un de ParisTech, sur la période.

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

Les recherches développées couvrent un large spectre allant du contrôle des interfaces à l'échelle de la fraction de monocouche atomique jusqu'à la réalisation de dispositifs fonctionnels en couches minces. Certaines trouvent écho auprès de partenaires industriels pour les propriétés de reconnaissance moléculaire pour des applications biocapteurs ou des propriétés de stockage de l'énergie pour des applications batteries Li-ion. Huit contrats ont été réalisés sur la période avec SAFT, Renault, Saint-Gobain Recherche, Genewave. Le souci du développement vers l'appliqué, adossé aux connaissances scientifiques nouvellement acquises, se manifeste par le dépôt de quatre demandes de brevet sur la période, dont un avec un partenaire industriel (SAFT). On remarque en outre l'obtention d'un prix de l'innovation de l'École Polytechnique pour les travaux sur les biopuces. Du point de vue culturel, on note une participation continue sur la période aux débats, manifestations et conférences publiques.

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

Le projet, particulièrement cohérent et réfléchi, reste articulé selon les trois axes structurant l'activité sur la période évaluée. Toutefois, tout en s'appuyant sur le très haut niveau des compétences et de l'expertise acquises, il va au-delà de la poursuite des efforts engagés et propose de nouveaux développements thématiques à même de pérenniser, voire renforcer, le très haut niveau de notoriété et reconnaissance de l'activité. On note la volonté de développer les moyens instrumentaux de caractérisation in situ, déjà un point fort de ce thème, notamment la spectroscopie Raman in situ avec exacerbation de la sensibilité par effet SERS induit par des nanoparticules encapsulées dans les systèmes interfaciaux, la microscopie MOKE in situ pour l'imagerie des domaines magnétiques et la microscopie de force magnétique (MFM) in situ. Les avancées sur les couches métalliques et nanostructures électro-déposées portent sur la compréhension et la manipulation des effets magnéto électriques dans les couches magnétiques et sur l'étude étendue des interactions atomiques dans les systèmes bimétalliques. Celles sur l'organisation et la reconnaissance moléculaire sur les surfaces montrent la volonté de s'orienter vers des mesures locales par AFM des interactions sonde/cible et vers la détection multiplexe d'agent pathogène au moyen de sondes capables de repliement tridimensionnel de leur structure pour l'activité relative aux biocapteurs. Sur les surfaces commutables, l'effort portera sur l'approfondissement de la compréhension et des moyens de contrôle des propriétés de commutation, photo- ou électro-induite. Enfin, les avancées sur les couches minces fonctionnelles incluent l'élaboration d'architecture multiferroïques (où l'expertise sur la fonctionnalisation de surface peut constituer un atout majeur), la fonctionnalisation de surface de nitrure de silicium pour des verres hydrophobes, et l'étude approfondie des mécanismes de vieillissement par fissuration de matériaux d'électrode pour batteries Li-ion.

Le projet est largement ouvert sur des collaborations académiques externes et inclut également des partenariats industriels. Il s'adapte à l'évolution de l'environnement en s'intégrant dans les thématiques soutenues par les réseaux académiques locaux (Labex). On remarque également la volonté d'actions communes en interne à PMC et associant les thématiques « Chimie du solide » ou « Physique de l'irrégularité ». Le projet avec la « Physique de l'irrégularité » pour la compréhension des mécanismes de vieillissement par fissuration de matériaux d'électrode pour batteries Li-ion apparaît comme une opportunité judicieuse d'aborder une problématique appliquée majeure par une approche multidisciplinaire emblématique de PMC.



## Conclusion

### ▪ *Avis global sur le thème :*

Les recherches sur ce thème sont nourries par une expertise remarquable et largement reconnue en électrochimie et en chimie de surface en phase liquide et sont porteuses d'avancées novatrices tant sur la compréhension fine des systèmes étudiés et de leurs propriétés que sur les méthodologies et stratégies analytiques mises en œuvre pour leur élaboration et leur caractérisation. Ces recherches assurent aux travaux réalisés une position de tout premier plan international.

### ▪ *Points forts et possibilités liées au contexte :*

Les trois thématiques affichées structurent judicieusement la stratégie de recherche et l'intégration de l'activité dans l'environnement en s'appuyant sur des collaborations académiques et/ou extra académiques pour tous les projets de recherche. Les développements méthodologiques et analytiques et les nouvelles actions de recherche proposés sur tous les axes thématiques sont à même de renforcer le déjà très haut niveau d'expertise et la notoriété internationale du thème.

### ▪ *Points faibles et risques liés au contexte :*

La diminution du nombre de permanents pourrait impacter l'activité à court ou moyen terme.

### ▪ *Recommandations :*

L'extension du champ des collaborations, ou la structuration de celles déjà existantes, en projets fédérateurs de type ANR ou européens serait profitable en termes de sources de financement propre et d'augmentation des moyens humains en chercheurs non permanents. Le comité d'experts recommande également d'intégrer le besoin de modélisation ab initio de certains des systèmes étudiés formulé pour ce thème dans le cadre de projets fédérateurs nationaux ou internationaux.



**Thème 4 :** Chimie du solide

**Nom du responsable** M. Thierry GACOIN

### Effectifs

Effectifs du thème en Équivalents Temps Plein	Au 30/06/2013	Au 01/01/2015
ETP d'enseignants-chercheurs titulaires		1
ETP de chercheurs des EPST ou EPIC titulaires	4	3
ETP d'autres personnels titulaires n'ayant pas d'obligation de recherche (IR, IE, PRAG, etc.)	2	2
ETP d'autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)	1	
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		
ETP de doctorants	8	
<b>TOTAL</b>	16	6

## • Appréciations détaillées

### Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

Les activités relatives au thème "Chimie du Solide" ont trait à la synthèse par chimie douce de matériaux fonctionnels nanostructurés qui présentent pour la plupart des propriétés optiques ou magnétiques. Ces activités sont rassemblées actuellement en quatre thématiques qui se déclinent respectivement en "chimie des matériaux hybrides et fonctionnalisation de nano-objets", "synthèse et propriétés de nanoparticules", "couches minces nano-structurées pour l'optique" et "matériaux actifs". Pour l'ensemble des actions, la philosophie de recherche reste la même. La synthèse de nouveaux matériaux nanostructurés à partir de précurseurs organique ou organométallique est mise en avant tout comme leur caractérisation, leurs propriétés et leur(s) application(s) potentielle(s). L'objectif est ici clairement d'aboutir à des propriétés spécifiques à partir de matériaux dans un état nano-structuré, cette nano-structuration étant parfaitement maîtrisée.

Les études concernent entre autres la détermination des effets de la microstructure sur les propriétés de luminescence, le contrôle de la cristallinité de nanoparticules via la mise au point d'une méthode très prometteuse de recuit protégé, la stabilisation de clusters luminescents de type Cu4I4 qui s'avèrent être thermo- et mécano-chromes, la préparation de solutions colloïdale à base de bâtonnets de LaPO4 avec des propriétés de type cristal liquide. Les activités du thème sont donc multiples mais toutes sont traitées avec beaucoup d'à-propos.



L'ensemble des recherches a conduit à une production scientifique écrite très abondante (74 articles dans des revues internationales à comité de lecture). La très haute qualité des recherches se traduit par des articles publiés dans des journaux d'audience moyenne à forte, voire très forte (Small, Adv. Mater., JACS, ACS Nano, Adv. Func. Mater....) avec des taux de citations élevés (valeurs pouvant avoisiner 100 pour certaines publications pourtant très récentes). Ceci témoigne clairement de l'impact sur la scène internationale des recherches menées.

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

La thématique "Chimie du Solide" s'est clairement positionnée au meilleur niveau national et international. Les personnes impliquées sont présentes dans plusieurs réseaux, à savoir le RTRA "Triangle de la Physique", un réseau Domaine d'Intérêt Majeur (DIM C'Nano) labellisé par le Conseil régional de la Région Ile-de-France, le Labex NanoSaclay, et participent au comité de pilotage du réseau DIM Oxymore (Réseau d'excellence francilien sur les Oxydes multifonctionnels), et du Labex Chammatt. Au simple énoncé de ces cinq items, il apparaît de façon évidente que l'entité "Chimie du Solide" s'investit énormément dans la structuration des activités de recherches sur les matériaux "nano" porteurs de propriétés spécifiques avec des prises de responsabilités "administratives" ou "organisationnelles" notoires.

Cette forte implication dans les différents organes de structuration de la recherche va de concert avec une grande capacité à l'obtention de financements, notamment au travers de l'ANR (5) et de contrats académiques (14). Les travaux sont menés pour certains en collaborations internes à l'unité de recherche, mais de nombreuses collaborations avec des laboratoires français et étrangers (e.g. UC Santa Barbara, Univ. Amsterdam, Univ. Florida, Nihon Univ. Tokyo) existent également. Cela témoigne d'un très grand dynamisme.

Le bon développement de la thématique conduit naturellement à l'accueil au laboratoire d'un nombre important d'étudiants étrangers en thèse ou pour des stages de périodes diverses (de 2 à 6 mois). Ceci atteste sans conteste de la bonne perception des activités sur ce thème à l'extérieur et de sa forte attractivité. D'ailleurs, dix thèses ont été soutenues dans le cadre de la présente évaluation tandis que 12 sont en cours (dont 5 en codirection avec des chercheurs des thèmes EPS, ECM ou PI de l'unité de recherche). On peut noter l'obtention du prix de thèse de l'École Polytechnique pour l'un des étudiants ayant soutenu en septembre 2011. Les travaux effectués ont donné lieu à 10 conférences invitées.

Enfin, la Chaire St Gobain a rendu possible l'invitation de chercheurs de renommée internationale. Cinq scientifiques reconnus dans le domaine de la science des matériaux ont effectué des séjours de 2 à 6 mois dans ce cadre.

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

Les travaux menés relèvent à la fois de la recherche fondamentale et de la recherche appliquée. Une parfaite synergie entre ces deux types d'actions existe, les deux se nourrissant mutuellement. Ce savoir faire est mis en pratique de façon quasi systématique pour conduire à une application industrielle potentielle. Les nombreux contrats industriels (19 avec Rhodia, St Gobain, Essilor, SAFT) en témoignent et donnent lieu à des encadrements de thèses (e.g. 5 thèses CIFRE) ou des stages de durées diverses. Outre les retombées financières et sociaux-économiques, cette forte connexion favorise le recrutement des jeunes doctorants dans l'industrie. Les travaux effectués sont donc reconnus à la fois par le monde académique et le monde industriel.

Concernant les brevets, six demandes (dont deux résultent d'une collaboration entre les thèmes CS et EPS) ont été faites sur la période évaluée (trois par l'École Polytechnique et le CNRS, deux par d'Essilor et un par la SAFT). Ces brevets ne se limitent pas à leur simple dépôt. Une démarche de valorisation avec réalisation de prototypes et recherche d'applications est mise en place pour aller de l'avant. Dans ce cadre, l'étude sur les couches minces biréfringentes est un exemple avec embauche de personnel grâce à un soutien de l'École Polytechnique.

La chaire a certainement contribué à la structuration de ces actions en faisant bénéficier le thème d'un partenariat privilégié avec St Gobain et l'ESPCI. Dans ce cadre, rappelons la forte implication du responsable du thème qui a un rôle moteur en tant qu'animateur et conseiller scientifique, rôle qui a évidemment des retombées bénéfiques sur la thématique "Chimie du Solide" et l'ensemble du laboratoire.

Le thème participe enfin à des actions de vulgarisation scientifique dans le cadre de manifestations du type "Fête de la Science", "Portes ouvertes"...



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

Le projet à cinq ans propose de nouveaux développements aux travaux réalisés au cours de la période actuelle. L'objectif affiché est de tirer profit des avancées considérables des dernières années tout en approfondissant les champs d'expertise pour maintenir une position de leader international dans un domaine très concurrentiel. Trois axes de recherche seront privilégiés: i) la synthèse, la fonctionnalisation et l'étude de nano-objets de structures complexes, ii) l'élaboration de couches minces nano-structurées pour l'optique, et iii) la mise au point de matériaux actifs aux propriétés sensibles à leurs environnement ou à l'application de sollicitations externes. Concrètement, les objectifs visés sont le contrôle de la microstructure de nanoparticules d'oxydes, l'application du concept de recuit protégé à des systèmes luminescents, magnétiques et ferroélectriques, l'étude du couplage molécules/particules, la réalisation d'hétéro-structures multifonctionnelles, la manipulation de nano-objets à l'échelle individuelle, la structuration de couches pour l'absorption et l'extraction de lumière, l'optimisation de couches biréfringentes, la synthèse de composés actifs sous pression, le contrôle de l'anisotropie de dérivés du Bleu de Prusse par le biais de la géométrie de l'architecture... Notons ici la volonté affichée de renforcer les collaborations existantes au sein du laboratoire notamment avec les thèmes "Electrochimie et Couches Minces" (matériaux et structures à aimantation contrôlables, matériaux photostrictifs et piézo-magnétiques), et "Electrons, Photons, Surfaces" (études de nanoparticules de TiO<sub>2</sub> décorées d'agrégats d'argent métallique). Pour cette dernière, la thématique "Physique de l'Irrégularité" pourrait apporter son savoir-faire pour comprendre et rationaliser les phénomènes de percolation de l'argent. Ces collaborations reflètent la détermination de l'ensemble des équipes du laboratoire à travailler en synergie dans le cadre de thématiques définies et ainsi favoriser l'émergence de recherches à l'intersection de champs disciplinaires différents.

## Conclusion

La thématique "Chimie du Solide" démontre une activité soudée et une dynamique construite sur des bases solides qui ont conduit à sa renommée nationale et internationale. Ses collaborations industrielles sont nombreuses et fructueuses. Son implication dans les différents organes de structuration de la Région Ile-de-France est très importante. Sa capacité à attirer des étudiants pour favoriser l'éclosion de ses actions de recherche est indéniable. Sa forte implication dans les différents départements d'enseignement est exemplaire. Elle ne peut donc constituer qu'un terrain d'épanouissement pour ses différents membres.

Reste néanmoins à prendre en considération à terme deux départs, l'un d'un professeur émérite et membre fondateur du "groupe", et l'autre, pour raison personnelle, d'une jeune chargée de recherche au CNRS. Ces départs, seulement partiellement comblés par le recrutement d'une jeune professeure sur la chaire financée par Saint-Gobain, pourraient être préjudiciables à l'activité sur ce thème si aucun recrutement de personnels permanents (chercheur ou enseignant-chercheur) n'avait lieu dans les prochaines années.



## 5 • Déroulement de la visite

### Dates de la visite

Début : Jeudi 23 janvier 2014, 9h00

Fin : Vendredi 24 janvier 2014, 16h00

### Lieu de la visite

Institution : Laboratoire de Physique de la Matière Condensée, École Polytechnique

Adresse : 91128 Palaiseau cedex, France

### Déroulement ou programme de visite

La première journée a débuté par un exposé du bilan du laboratoire par son directeur. Quatre faits marquants correspondant aux quatre thèmes du laboratoire ont ensuite été exposés et une visite interactive de chaque thème (alternant posters et présentation des équipements expérimentaux) a permis aux membres du comité d'experts de s'immerger dans le cœur des activités de PMC. Ces exposés et les visites animées par tous les personnels du laboratoire (doctorant, ITA, responsables de thèmes...) ont illustré le dynamisme scientifique et la très grande cohésion du laboratoire. Le comité d'experts a pu apprécier la très grande richesse et les effets très positifs à tous les niveaux des collaborations physique/chimie (nouvelles thématiques de recherche, développements instrumentaux originaux, formation doctorale très riche...). Un représentant élu C de la section 05 du CNRS a assisté aux exposés de la journée et a pu s'entretenir avec les personnels ITA du laboratoire.

La journée s'est clôturée par une rencontre avec les représentants chercheurs et enseignants/chercheurs du laboratoire. Au cours de cet entretien une lettre ouverte des chercheurs de PMC a été remise au comité d'experts. Ce document et les échanges qui en ont suivi mettent en avant les caractéristiques qui constituent la force du laboratoire (très forte mutualisation des savoirs, de l'espace et des moyens) et les inquiétudes liées aux évolutions de la recherche au niveau local et national.

Au cours de la deuxième journée, le comité d'experts a rencontré le directeur de l'École Doctorale pluridisciplinaire 447 de l'École Polytechnique (EDX) dans laquelle PMC a toute sa place. Plusieurs membres de PMC se sont fortement investis dans le cadre de la mise en place imminente des EDs de l'Université de Paris Saclay.

La rencontre avec les représentants des ITA a commencé par un exposé où les rôles clés joués par les différents personnels de soutien à la recherche (gestion administrative, mécanique, électronique, chimie, optique...) ont été clairement présentés. Les personnels ITA ont ensuite exposé plusieurs points (médecine du travail, changement de délégation CNRS, projet de mise en place d'UMS pour certains services techniques) qui ont fait l'objet de discussions entre le comité d'experts et les représentants des tutelles dans la réunion suivante.

Lors de la rencontre doctorant/post-doctorant, le comité d'experts a pu juger de la qualité et le dynamisme de la formation doctorale à PMC (encadrement au quotidien, préparation à l'insertion professionnelle...).

La visite s'est terminée par la présentation du projet par le chercheur proposé par PMC pour la future direction de PMC et par un comité d'experts restreint à huis clos pour préparer le rapport d'évaluation.

Les membres du comité d'experts ont apprécié la qualité des documents préparés par le laboratoire PMC pour cette évaluation et la richesse des échanges avec tous les personnels au cours des deux journées de la visite.





## 6 • Observations générales des tutelles



**Patrick Le Quéré**  
Directeur adjoint de l'Enseignement et de la Recherche

**Madame Nathalie Dospital**  
**Déléguée Administrative**  
**Section des unités**  
**AERES**  
**20 rue Vivienne**  
**75002 PARIS**

Objet : Evaluation AERES du PMC  
Référence : DAER /LL/14 – n° 113  
PJ : Réponse au rapport d'évaluation du PMC - E2015-EV-0911568K-S2PUR150008694-006713-RT

Palaiseau, le 19 mai 2014

Chère Madame,

Le PMC (UMR 7643) n'a pas de remarque particulière à formuler sur le rapport AERES.

En tant que co-tutelle du PMC, nous n'avons pas de commentaire particulier à faire, autre que vous faire savoir que nous avons été très sensibles à la qualité du rapport, et vous prions de remercier en notre nom l'ensemble des membres du comité et son président pour le temps qu'ils ont consacré à cette évaluation.

En vous souhaitant bonne réception de la présente, je vous prie de croire, Chère Madame, à l'assurance de mes meilleures salutations.

**Patrick Le Quéré**  
*Directeur adjoint de l'Enseignement et de la  
Recherche*