

Groupe de Travail “Physique des Solides”

Le groupe de travail “Physique des Solides” comprend 10 chercheurs et ingénieurs de l’IPNO (2) et du CSNSM (8). Nous nous sommes réunis et avons échangé sur les points mentionnés par la lettre de cadrage, mais également plus généralement sur la structure que nous souhaiterions voir mise en place dans les années à venir.

La thématique de “Physique des Solides” s’articule autour de trois thèmes principaux : la Spectroscopie optique appliquée à la science des matériaux, les Dispositifs électroniques mésoscopiques et les Systèmes fortement corrélés et/ou de basse dimensionnalité. Le détail de la cartographie peut-être trouvée dans les tableaux donnés en fin de document. Nous tenterons ici d’en faire une synthèse.

1 Présentation de la thématique

Au CSNSM, la Physique des Solides a un lien historique fort à la fois avec la plateforme SCALP et avec le développement d’une instrumentation pour des expériences d’Astroparticules (détection directe de matière noire, étude du fond cosmologique diffus, détection de la décroissance double beta sans émission de neutrino). En effet, les concepts de Physique des Solides fondamentale ont souvent été mis au services de percées technologiques notamment dans le domaine des détecteurs cryogéniques. À partir de cette histoire, le groupe a ensuite développé une recherche en physique des solides propre, ayant sa propre finalité, sans pour autant abandonner les passerelles avec la physique appliquée. Ceci explique que les chercheurs, ingénieurs et enseignants-chercheurs du CSNSM impliqués dans cette thématique aient une formation de Physiciens des Solides (section 3 du CNRS, section 28 de la CNU).

A contrario, l’IPNO aborde la Physique des Solides au travers de ses applications aux cavités supraconductrices. Ce sont donc des physiciens des accélérateurs qui, par nécessité de leur thématique, émergent à ce domaine.

1.1 Activités en cours

Comme mentionné, les activités en cours peuvent être divisés en trois thèmes :

- la Spectroscopie optique appliquée à la science des matériaux
- les Dispositifs électroniques mésoscopiques
- les Systèmes fortement corrélés et/ou de basse dimensionnalité

Le premier thème est le plus récent (4 ans) et vise à étudier les propriétés optoélectroniques de matériaux, notamment ceux utilisés dans le domaine du photovoltaïque.

L’étude de dispositifs électroniques mésoscopiques est menée avec le double objectif de développer de nouveaux terrains de jeu pour la physique de la matière condensée et pour appliquer cette nouvelle électronique à la détection ultra-sensible, notamment en lien avec des expériences d’astroparticules.

Enfin, l’étude des systèmes fortement corrélés et/ou de basse dimensionnalité, qui concernent la quasi-totalité des chercheurs et ingénieurs de la thématique, se déclinent en un volet fondamental – compréhension de ces systèmes pour eux-mêmes – et en un volet appliqué, notamment pour les applications aux cavités supraconductrices.

1.2 Objectifs

Comme on le voit, la Physique des Solides est une thématique assez équilibrée entre recherche fondamentale et visées applicatives. Les objectifs de ces deux volets sont évidemment différents : le volet fondamental vise à continuer de développer une recherche reconnue internationalement en physique de la matière condensée ; le volet applicatif voit, quant à lui, ses objectifs fixés par son domaine d’application. On peut citer de manière non-exhaustive : le développement de multi-couches supraconductrices pour remplacer le Nb des cavités accélératrices, le développement de détecteurs supraconducteurs de type KIDs¹, le développement de thermomètres supraconducteurs haute-impédance², ou encore le développement de l’oxytronique³.

2 Dynamiques RH et finances

Le volet fondamental du thème est financé sur projet, principalement par l’ANR, l’IUF, les PICS, PHOM, le labex PALM. Le volet applicatif bénéficie de financements du labex P2IO, de l’ANR et d’AP de l’IN2P3.

Ces financements ont notamment permis d’alimenter en personnel les différents axes de la thématique. Par ailleurs, on notera que c’est une thématique très jeune : 2 recrutements CR en 2010 et 2016 (section 3) au CSNSM, 1 recrutement MCF en 2015 (section 28) au CSNSM.

1. Kinetic Inductance Detectors.

2. Type Transition Edge Sensors.

3. Électronique à base d’oxydes de métaux de transition fonctionnalisés.

3 Interactions

3.1 Besoins techniques

En ce qui concerne le CSNSM, l'essentiel des besoins techniques concerne le bureau d'étude et l'atelier mécanique du laboratoire. Les besoins sont d'ores et déjà pourvus de manière satisfaisante.

Les besoins en micro-fabrication nécessaires au développement de dispositifs mésoscopiques sont assurés par des collaborations avec le CEA (SPEC) et le C2N.

Des besoins en électronique FPGA, non pourvus à ce jour, ont été mentionnés pour un sous-thème.

3.2 Interactions avec les plateformes

Les chercheurs et ingénieurs de l'IPNO font valoir des liens avec les plateformes SUPRAtech et PANAMA. Les chercheurs et ingénieurs du CSNSM maintiennent le lien historique avec la plateforme SCALP.

3.3 Principaux réseaux et collaborations

Si on excepte la collaboration déjà existante entre l'IPNO et le CSNSM sur les cavités supraconductrices⁴, les principales collaborations de ce thème ont lieu **en dehors des laboratoires concernés par le projet de refondation** (CSNSM, IMNC, IPNO, LPT, LAL). Suivant les sous-thèmes, les laboratoires sont variés, mais sont essentiellement des laboratoires de matière condensée en France, ou alors des laboratoires étrangers.

3.4 Lien avec d'autres thèmes

Comme il a été précédemment mentionné, le lien avec d'autres thématiques est étroit. L'activité menée à l'IPNO se fait en lien avec la R&D accélérateurs, tandis que celle déployée au CSNSM se fait en lien direct avec les développements de détecteurs cryogéniques pour des expériences d'astroparticules.

3.5 Formation et valorisation

Le thème comporte 4 enseignants-chercheurs. À ce titre, il est très impliqué dans la formation, avec des participations aux M2 Grands Instruments, OSAE, au Magistère de Physique Fondamental d'Orsay, etc... Par ailleurs, l'accueil régulier de stagiaires de tous niveaux, et l'encadrement de thèses et de post-doctorants⁵ contribuent à l'activité de formation.

Parmi les activités de valorisation, on note le brevet déposé concernant les cellules photovoltaïques.

4 Perspectives

Les perspectives à court et moyen termes sont assez bien déterminées par les projets en cours. Il s'agit de continuer dans les thématiques développées plus haut et de continuer à s'affirmer comme des experts de rang international dans nos domaines⁶.

Nous souhaitons pouvoir continuer à financer post-docs et/ou thèses dans nos sujets de recherche, comme nous l'avons fait jusqu'à présent. Côté RH, un manque de personnel est mentionné dans les activités "Cavités supraconductrices" (chercheurs et support technique) et "Physique mésoscopique appliquée à la détection" (chercheurs).

Si on tente de déterminer les caractéristiques de l'environnement de travail "idéal" souhaité par les membres du groupe de travail "Physique des Solides", on peut mentionner :

- Une structure administrative souple et moins lourde qu'à présent, afin de favoriser la créativité et libérer plus de temps pour nos activités de recherche.
- Le sous-groupe "Cavités supraconductrices" mentionne souhaiter avoir la possibilité de travailler partiellement hors projet. Ils souhaiteraient notamment que l'aspect RH ne soit pas conditionné uniquement par les projets.
- Il serait également appréciable d'avoir une continuité dans les financements.
- Avoir plus d'échanges transversaux au sein de nos laboratoires. Ceci pourrait se faire par l'organisation de séminaires communs entre les différentes parties. Avoir un canal commun d'information serait également appréciable.
- Une structure plus flexible qu'actuellement, qui permette, par exemple, d'avoir des AP conjointes entre plusieurs laboratoires ou l'échange de moyens techniques.
- Un environnement où les différentes "cultures" scientifiques – accélérateur, physique des particules, matière condensée, physique nucléaire, astrophysique, physique des matériaux, R&D, ... – soient représentées. C'est cette pluridisciplinarité qui nous semble particulièrement féconde.

4. Projet P2IO entre les deux laboratoires, représentés par Guillaume Martinet et Franck Fortuna.

5. Entre 2013 et 2017, les chercheurs de la thématique au CSNSM ont encadré 5 thèses soutenues (3 sont en cours) et 4 post-docs.

6. En témoignent les journaux dans lesquels sont publiés nos travaux, les collaborations (nationales et internationales) auxquelles nous participons ou que nous initions, ou encore les invitations en conférences internationales.

- Ne pas être noyés dans une grande structure. Cela nous paraît primordial pour maintenir et défendre notre singularité thématique ainsi que la pluridisciplinarité qui nous caractérise. Ce point nous paraît particulièrement important pour que nous puissions continuer à offrir des solutions de R&D originales pour les expériences d’astroparticules par exemple, basées sur la physique de l’état condensé.
- Une structure qui ne nous empêche pas d’émarger à des financements pluri-laboratoires, comme l’ANR ou les LABEX.
- Une structure organisée de telle sorte à ce que nos projets ne soient pas bridés par la/les direction(s). Nous tenons à notre indépendance en matière de thématiques de recherche et une politique scientifique “top-down” imposée et castratrice serait dévastatrice pour notre thématique. Elle pourrait notamment avoir pour conséquence une hémorragie des personnels vers d’autres laboratoires.
- Une structure qui ne nous soit pas imposée à marche forcée.

Il est donc peu surprenant que les participants à ce Groupe de Travail se soient *unanimentement* prononcés :

- Pour une collaboration et un dialogue accrus entre l’IPNO et le CSNSM dans notre domaine.
- Comme ne comprenant pas l’intérêt scientifique d’une re-définition des périmètres ou d’un mouvement géographique des équipes pour nos thématiques.
- Contre une fusion en un unique laboratoire du CSNSM, IMNC, IPNO, LAL et LPT.
- Comme partagés concernant la possibilité d’une fédération entre le CSNSM, l’IMNC, l’IPNO, le LAL et le LPT.

Thèmes	Spectroscopie optique appliquée à la science des matériaux	Dispositifs électroniques mésoscopiques	
Sous-thèmes		Physique mésoscopique appliquée à la détection	Fonctionnalisation de matériaux corrélés
Personnel	1 MCF (CSNSM)	- 1 Chercheur CNRS (CSNSM)	- 1 Chercheur CNRS (CSNSM) - 1 IR (CSNSM)
Thématiques	<ul style="list-style-type: none"> - Perovskites hybrides organique-inorganique - Apport de l'irradiation ionique pour étudier l'impact des défauts sur les propriétés optoélectroniques - Photoluminescence à basse température pour étudier les excitons dans ces structures - Matériaux luminescents (oxydes de terres rares, ...) - Cristaux scintillants pour les bolomètres 	<ul style="list-style-type: none"> - Développement de dispositifs quantiques utilisés pour la détection de lumière, de chaleur et de charge dans des expériences d'astrophysique, astroparticules et cosmologie - Physique mésoscopique et physique des solides associées à ces développements: circuits supraconducteurs de haute impédance, micro-ondes quantiques, circuits supraconducteurs non linéaires, étude des propriétés micro-ondes de nouveaux matériaux supraconducteurs - Ambition: repousser les limites de la détection et de l'amplification par l'utilisation de circuits quantiques ultrasensibles. 	<ul style="list-style-type: none"> - Activité récente (2 ans) - Manipulation des gaz d'électrons 2D formés à la surface d'oxydes de métaux de transition - Fonctionnalisation des matériaux à base d'oxydes de transition
Besoins financiers & humains	<ul style="list-style-type: none"> - Label PALM - Mission pour l'interdisciplinaire au CNRS - Pas d'aide technique en interne 	<ul style="list-style-type: none"> - ANR (JCIC et collaboratif) - Triangle de la Physique - AO interlabex - Besoins techniques futurs : soutien technique très avancé sur le codage FPGA et l'algorithmique associée au traitement du signal RF en temps réel - Besoins techniques: cryogénie (pourvu en interne au CSNSM), dépôts couches minces et lithographie sub-μm en salle blanche (ressources accessibles actuellement au CEA-SPEC et au C2N) 	<ul style="list-style-type: none"> - Un atelier, disponible au CSNSM
Coll. Labos vallée			
Coll. Autres	LAC, LPICM	CEA Saclay (SPEC), C2N Orsay (ex IEF), institut Néel, Université Rome Sapienza, UCSB, SRON, CEA Grenoble (PHELIQS)	LPS, C2N
Plateformes	SCALP		
Lien avec autres thèmes	<ul style="list-style-type: none"> - Etude de cristaux luminescent pour la désintégration double beta sans émission de neutrino 	<ul style="list-style-type: none"> - Instrumentation spécifique de pointe pour matière noire, désintégration double beta sans émission de neutrino, fond diffus cosmologique 	
Intégration	<ul style="list-style-type: none"> - IRS (Initiative de Recherche Stratégique) MOMENTOM (Molécules and Materials for the Energy of Tomorrow) - GDR HPERO 	<p>Les sujets abordés et les thématiques principales de ce travail font parties des enjeux importants dans le domaine de la physique mésoscopique et de la physique quantique, sur lesquels travaillent plusieurs groupes à Paris-Saclay (LPS, SPEC, C2N etc) et en France (Paris, Grenoble, Marseille, Bordeaux etc). Leur application à la détection avancée pour les astroparticules et la cosmologie est l'exclusivité du CSNSM (1 CR)</p>	
Evolution		<p>Sans support en personnel cette activité est vouée à disparaître des labos de la vallée tel qu'elle est implantée à l'heure actuelle (1 CR ETP, pas de support technique disponible, aucune visibilité auprès des étudiants ayant le bon profil pour l'activité)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Demandes ANR prévues
Formation & Valorisation	<ul style="list-style-type: none"> - 1 brevet - Encadrement de thèse et stages - Charge de MCF 	<ul style="list-style-type: none"> - Encadrement de post-docs, stagiaires, une thèse en co-tutelle avec C2N en cours - Participation à la fête de la science, visite de labo pour étudiants en CPGE 	<ul style="list-style-type: none"> - Encadrement de stagiaires

Thèmes	Systèmes fortement corrélés et/ou de basse dimensionnalité		
Sous-thèmes	Propriétés spectroscopiques et électroniques d'oxydes corrélés	Systèmes désordonnés de basse dimensionnalité	Cavités supraconductrices
Personnel	- 1 Chercheur CNRS (CSNSM) - 3 MCF (CSNSM) - 1 IR (CSNSM)	- 2 Chercheurs CNRS (CSNSM) - 1 MCF (CSNSM)	- 1 Chercheur CNRS (IPNO) - 3 IR (CSNSM, IPNO) - 2IE (IPNO), 1T (IPNO), 1(2) thésards - Groupe SUPRAtech
Thématiques	- Spectroscopie (photoémission) de systèmes d'électrons fortement corrélés et/ou confinés à basse dimension - Transport électronique de systèmes d'électrons fortement corrélés et/ou confinés à basse dimension	- Supraconductivité à basse dimensionnalité - Transition métal-isolant - Transition supraconducteur-isolant	- Amélioration des performances des cavités supraconductrices - Outils de diagnostic des pertes RF & caractérisation de blindages magnétiques (projet HELOISE) - Etude des performances des couches de Nb pour les cavités (projet HELOISE) - Développement de multi-couches supraconductrices pour remplacer le Nb dans les cavités (projet ECOMI)
Besoins financiers & humains	- Missions synchrotron - 10 à 15k€/an pour des missions - Nous développons à présent une expérience de photoémission de labo. Nous aurons de plus en plus besoin des services techniques pour le dessin et la réalisation de la cryogénie et les logiciels de contrôle. Et nous aurons aussi besoin de plus de budget pour consommables.	- 10 à 15 k€ par an financés sur projets propres ou par des collaborations - Besoins ponctuels de l'atelier, pourvu par le CSNSM	HELOISE HELOISE • Période 2012-2016: détection de quench 1 IR, 1CR, 1 IE, 2AI, 1T Budget AP: 25 k€/an. A ce jour on a utilisé des thermomètres industriels. Le développement de capteurs type TES, KIDS ou supraconducteurs avec les compétences du CSNSM permettrait une maîtrise complète par l'IN2P3 de la chaîne instrumentale (capteur et électronique associée) en thermométrie cryogénique rapide et à haute sensibilité. Besoin de support technique (T ou AI) pour le montage et préparation des expériences. Ce support fait cruellement défaut. • Depuis 2017 (HELOISE) Crédit (AP) 2017 alloué par l'IN2P3: 33 k€. Ces crédits ont servis au développement (mécanique et instrumentation) d'un banc de mesure de conductivité thermique et aux tests. Le soutien AP-IN2P3 étant étalé sur ~3-4ans, l'activité sera soutenue si de bons résultats sont obtenus. Besoin de support technique (T et AI ou IE) : montage, préparation des expériences et tests systématiques sur échantillons. Ce support fait cruellement défaut. Un thésard disposant d'un financement permettrait des avancées significatives : on doit examiner la possibilité d'une thèse co-encadrée IPNO-CSNSM sur la thématique. ECOMI - 2013-2015 : soutien P2IO 1 post-doc 2 ans, soutien R&D 70 k€ (CSNSM, IPNO, IRFU), AP IN2P3 - 2016-2017 : Expériences sur cavités SRF soutenues par les AP IN2P3. - 2017 - ... : besoin d'un ingénieur/physicien pour conception de couches. Soutien des AP IN2P3 pour les expériences.
Coll. Labos vallée			IPNO, CSNSM
Coll. Autres	LPS, C2N, SOLEIL, et le GEMaC à Versailles, plus plusieurs autres collaborations internationales.	LPS, CEA (INAC), Institut Néel, Bar Ilan University	IRFU, LNE, CERN
Plateformes		SCALP, ponctuellement	SUPRAtech : - Préparation, traitement et tests des cavités (à l'IPNO : Spiral2 (88 MHz), ESS et MYRTHE (352 MHz), cavité pill-box (TE011 (3.87 GHz) et TE012 (5.15 GHz), à l'IRFU 1300 MHz) - Expériences de caractérisation à basse température (résistivité électrique, conductivité thermique) - PANAMA : Diffraction des rayons X (contrainte résiduelles), Analyse de surface par SIMS, Microscope confocale (mesure de rugosité), - Besoin d'accès aux mesures d'orientation et de structure des couches (CSNSM)
Lien avec autres thèmes	- Possible futur lien avec la thématique "DéTECTeurs" du CSNSM	- Lien organique avec la détection (matière noire, fond diffus cosmologique, double beta sans émission de neutrino) - Discussions régulières avec la plateforme SCALP	- Fortes synergies et retombées avec la R&D accélérateurs SRF sur les problématiques et les moyens de caractérisation. - Complémentarité des compétences, extension possibles des champs d'investigation (e.g très basses températures), rationalisation et utilisation plus efficace des moyens de caractérisation. Les avancées sur les aspects fondamentaux des phénomènes permettront une meilleure maîtrise des procédés côté applications. - Un soutien ponctuel de la DA existe déjà
Intégration		- Membre de PALM - Membre de PHOM	Forte synergie avec l'IRFU. R&D s'appuyant sur SUPRAtech et PANAMA
Evolution	- Permanents multipliés par 2 en 5 ans - Pic de financement en 2016 (1 ANR blanc, 2 LabEx, IUF, 2 PICS) - Dans le futur proche: Nos gros projets finissent cette année. Il y aura une forte baisse de nos finances. Nos missions pour mesures en synchrotron nécessitent le déplacement d'au moins 2 permanents et un étudiant chaque fois. On aura donc fort besoin financier (10 à 15k€ par an) rien que pour les missions de manips.		HELOISE L'activité est soutenue financièrement (AP). Mais les RH affectées à l'activité, en dehors des tests sur cavités, sont insuffisantes. Cette situation nous pénalise fortement et limite la production scientifique : on consacre beaucoup de temps à des tâches techniques qui pourraient être exécutées par d'autres catégories de personnel (IE, AI, T, AI). Une demande de financement ANR ou européen peut être envisagée conjointement avec l'IRFU : un participation du CSNSM à un tel projet est fortement souhaitée. ECOMI Personnel stable mais trop faible. Renfort fortement souhaité par un physicien des matériaux
Formation & Valorisation	- Encadrement de thèses, postdocs - Charge de MCF	- Encadrement de thèses, postdocs - Charge de MCF - Implication dans M2 Grands Instruments, M2 OSAE, Magistère de Physique Fondamentale	Encadrement de stages IUT mesures physiques d'Orsay, IUT génie thermique Evry, M1 Energie nucléaire, M2 grands instruments.