

Annexe 1 :

Contributions détaillées des Pôles et Actions Transverses de PhOM

21 septembre 2015

Pôle 1 : Cohérence et corrélations quantiques	3
Pôle 2 : Matière diluée, neutre ou ionisée : de l'atome à la molécule et aux plasmas	28
Pôle 3 : Matière et systèmes complexes.....	78
Pôle 4 : Lumière extrême.....	120
Pôle 5 : Nano-physique.....	171
Pôle 6 : Optique	232
Pôle 7 : Matériaux : élaboration et propriétés.....	261
Actions transverses : Valorisation, Relations avec les industriels	307
Actions transverses : Formation et relations avec les Ecoles Doctorales.....	315
Actions transverses : Plateformes Instrumentales	320
Actions transverses : Physique théorique, numérique et modélisation	340

Pôle 1 : Cohérence et corrélations quantiques

PhOM, pole 1: Coherence and Quantum Correlations

Quantum physics is at the heart of research in three directions that form the basis of this pole:

- Quantum coherence, which manifests itself both in condensed matter and at the atomic scale
- Quantum information, exploring the possibilities to exploit the resources of quantum mechanics (entanglement, states superposition) for data processing, and its implementation in physical systems
- Emergent electronic and magnetic states, in connection with correlations, spin-orbit coupling, as found in strongly correlated materials, multifunctional oxides or topological matter.

222 physicists (25% women), in 50 research groups belonging to 18 laboratories of Paris-Saclay, are actors of these very active research areas, using a large variety of physical systems.

SWOT Analysis:

Strengths:

- Scientific excellence, illustrated by the following facts:
 - o 17 ERC grants (6 advanced, 7 starting, 4 consolidators)
 - o Very strong impact of publications: the analysis of the number of citations of all published articles in the period 2010-2013 shows that 27% belong to the world top 10%; and that 3.8% are in the top 1%. The average impact factor of the reviews in which the articles were published is also very high: 5-6.
- Very good synergy between experiments and theory
- Concentration of several theory teams, in particular for the quantum calculation of the physical properties of materials
- Facilities for samples fabrication: national fabrication labs (LPN, IEF), several clean rooms; chemists
- Concentration of large instruments
- Good links to teaching

Weaknesses:

- Lack of manpower
- Programmed stop of the neutron source Orphée at LLB

Opportunities:

- Quantum information is internationally well supported

Threats:

- Lack of job opportunities in academics
- Geographical situations of Paris-Saclay (students prefer to go to Paris center)
- Disappearance of “white” financial support
- Competition with labs having a very strong financial support in Quantum information (IBM, Microsoft, Google...)

Strategy:

Three main research directions have been identified:

- Quantum coherence at the mesoscopic scale: basic research needs to be conducted on quantum coherence in a large variety of systems, from dilute cold gases or photonics to condensed matter systems. Several hybrid systems are of particular interest, both within condensed matter or in conjunction with optics, mechanics, atoms, ... Quantum simulation is another promising area of research
- Quantum engineering: the goal is to exploit the resources of quantum physics to develop tools for quantum information, quantum computation and quantum logics; to develop quantum simulation; to build quantum limited amplifiers. Quantum-limited measurements will allow developing new probes at microscopic scales.
- Emergent electronic and magnetic states: exploring new states, manipulate them with external stimuli, combining materials opens the possibility to develop new concepts and applications. Of particular interest are non-conventional superconductors; Mott insulators; oxide heterostructures; Dirac and topological matter; correlated matter, effects of spin-orbit coupling; frustrated materials

Requested actions:

- Support young researchers to start research carrier: financial support for post-docs and newly employed physicists; partial relief of teaching obligations in the first years
- Support emerging subjects
- Support existing platforms (fabrication, cryogenics)
- Ease the transfer of persons (students, physicists, engineers) and of equipment between the labs: create a Paris-Saclay Passport
- Create a pole for the synthesis of novel materials and growth of single crystals, based on the existing facilities.

Pôle 1 : cohérence et corrélations quantiques

Document de synthèse (8 juillet 2015)

Composition du bureau du pôle 1 : Jacqueline Bloch (LPN), Philippe Bourges (LLB), Thierry Debuisschert (Thalès TRT), Frédéric Grosshans (LAC), Philippe Mendels (LPS), Hugues Pothier (SPEC, responsable), Laurent Sanchez-Palencia (LCF, co-responsable), Christophe Texier (LPTMS), Javier Villegas (UMR CNRS/Thalès).

Table des matières

1. État de l'art	7
a) Enjeux	7
b) Synthèse du potentiel de recherche	7
c) Positionnement international	8
d) Positionnement par rapport à SNR, H2020, et stratégies des établissements	14
2. Définition d'une stratégie partagée	14
a) Identification d'objectifs	15
I. Cohérence quantique à l'échelle mésoscopique	16
II. Ingénierie quantique	16
III. États électroniques et magnétiques émergents	18
b) Propositions de moyens et actions	21
ANNEXES	23
Faits marquants	23
Liste ordonnée des sujets du pôle 1	26

1. État de l'art

a) Enjeux

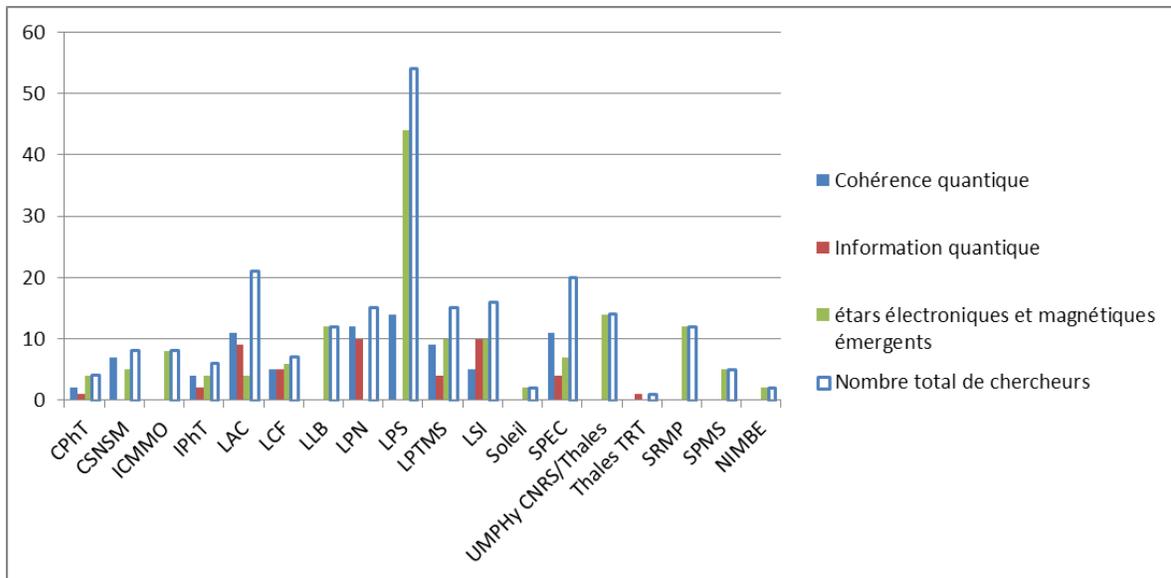
La physique quantique est au cœur de la recherche dans trois grandes directions qui forment le socle de ce pôle :

- La cohérence quantique, qui se manifeste maintenant autant à l'échelle atomique qu'en matière condensée. La physique mésoscopique couvre une grande partie de cette première thématique, avec des recherches fondamentales sur la supraconductivité, l'effet Hall quantique, le couplage lumière-matière, les gaz quantiques ultra-froids, les atomes de Rydberg, les capteurs quantiques...
- L'information quantique, qui explore la possibilité d'exploiter les ressources de la mécanique quantique (l'intrication, la superposition d'états) pour le traitement de l'information (calcul et cryptographie quantique) et son implémentation dans des systèmes physiques (qubits supraconducteurs, photons, polaritons, défauts localisés dans les cristaux, atomes de Rydberg, capteurs quantiques...) ;
- Les états électroniques et magnétiques émergents liés notamment aux effets spin-orbitaux et/ou aux corrélations, que l'on rencontre dans les matériaux à fortes corrélations quantiques, les oxydes multifonctionnels, ou encore la matière topologique.

Une cinquantaine d'équipes de recherche, tant théoriques qu'expérimentales, réparties sur 18 laboratoires de Paris-Saclay sont les acteurs de cette recherche extrêmement active sur des systèmes physiques très divers. Une liste ordonnée de tous les sujets se trouve à la fin de ce document.

b) Synthèse du potentiel de recherche

Nombre de chercheurs impliqués (certains sont impliqués dans les 3 axes, la colonne "total" ne correspond donc pas à la somme des trois premières mais bien au nombre réel de chercheurs).



Total: **222 physiciens** (personnes identifiées).

La **proportion de femmes** est de 25%, ce qui pour la physique est au-dessus de la moyenne (pour comparer, en 2008, selon l'[article de C. Thibault et al.](#) dans *Reflets de la Physique* n° 14: 19% de physiciennes au CNRS, 21% à l'université)

17 bourses ERC obtenues par des acteurs du pôle 1 (toutes années confondues):

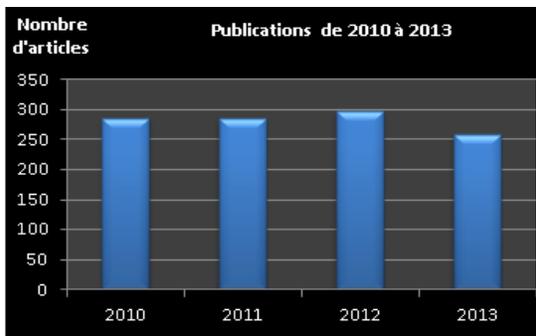
- 6 Advanced : P. Grangier (LCF), A. Aspect (LCF), G. Shlyapnikov (LPTMS), C. Glattli (SPEC), L. Reining (LSI), A. Barthélémy (UMPhy)
- 7 Starting: A. Browaeys (LCF), L. Sanchez-Palencia (LCF), F. Pierre (LPN), C. Bena (IPHT), O. Parcollet (IPHT), P. Senellart (LPN), D. Comparat (LAC)
- 4 Consolidators: P. Bertet (SPEC), S. Biermann (LSI), M. Bibes (UMPhy), J.E. Villegas (UMPhy)

c) **Positionnement international**

o **Analyse des publications**

L'analyse bibliométrique portant sur 1161 publications pour la période 2010-2013, réalisée par M.-A. Leriche de l'IST au CEA-Saclay et présentée ci-dessous, illustre l'excellence de la production scientifique de Paris-Saclay dans les sujets du pôle 1. On retiendra en particulier que le nombre de citations moyen est le double de la moyenne mondiale en physique; que **27% des publications sont par leur nombre de citations dans le top 10% mondial, 3.8% dans le top 1%**. Le facteur d'impact moyen des revues dans lesquels sont publiés ces articles est entre 5 et 6, ce qui est une valeur très élevée.

Nombre de publications pour la période 2010-2013 ; répartition géographique des co-publants

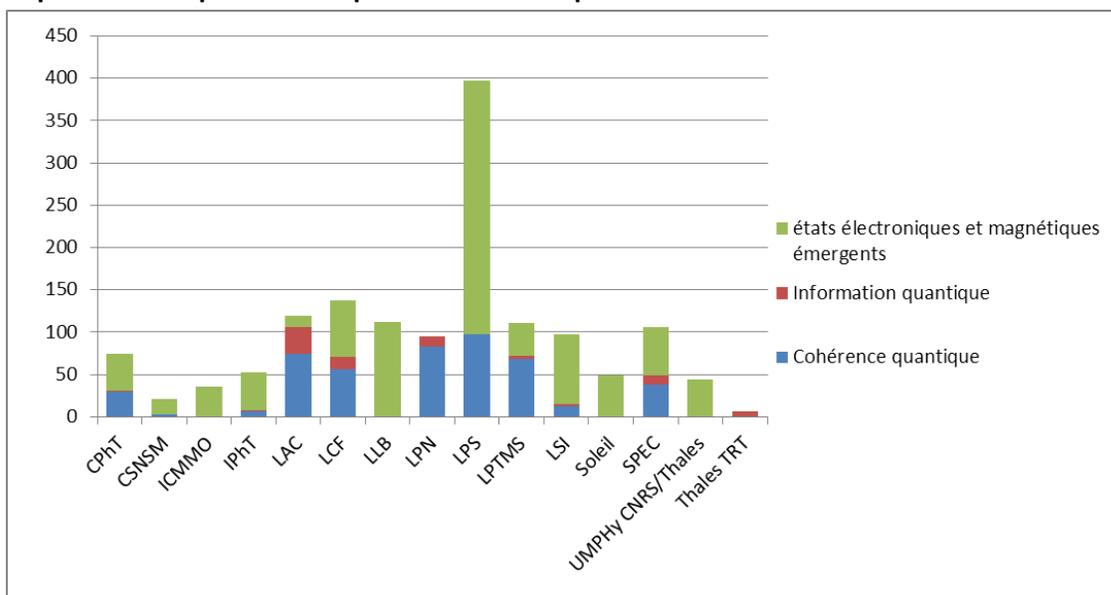


total: 1161

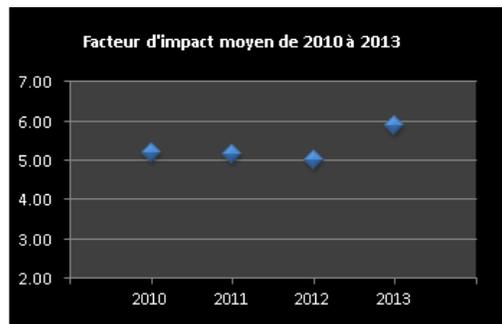
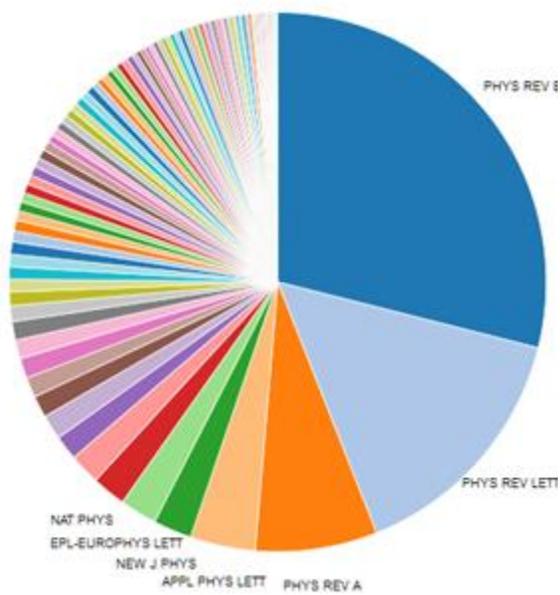
	2010	2011	2012	2013
Amér. Latine	5	10	14	14
Amér. Nord	46	47	33	48
Asie	24	30	26	34
Europ. hors UE	49	45	50	43
France	284	283	296	257
Moyen Orient	4	0	0	4
Océanie	5	5	6	5
UE 28	104	116	99	82
Afrique	0	0	0	2

Parmi ces publications, **13% sont des co-publications entre au moins 2 laboratoires de PhOM. 36% ont un au moins un co-auteur européen (hors France), et 39% un co-auteur du reste du monde.**

Répartition des publications par laboratoire et par axe



Reuves et facteur d'impact des revues correspondant à ces publications:



Analyse des citations (au 9 mars 2015)

PHOM-pole 1	2010	2011	2012	2013	total
Nombre d'articles ISI	294	296	311	277	1178
Nb de citations	6680	4595	2775	1852	15902
Moy cit° ESI Physique	10,3	7,9	5,7	2,9	
Nombre moyen de citations par article	22,7	15,5	8,9	6,7	13,5
Nombre d'articles non cités	23	19	37	42	121
	8%	6%	13%	15%	10%
Seuils de citations des Top 10% ESI Physique	23	18	13	8	
Top 10% Nb et part d'articles > seuils des 10% d'articles les plus cités au monde en Physique	88	72	80	75	315
	30%	24%	26%	27%	27%
Seuils de citations des Top 1% ESI Physique	88	65	46	25	
Top 1% Nb et part d'articles > seuils des 1% d'articles les plus cités au monde en Physique	11	10	5	19	45
	3.7%	3.4%	1.6%	6.9%	3.8%

o Analyse SWOT

FORCES :

- **Excellence scientifique** (cf. [analyse des publications](#), [bourses ERC](#), [faits marquants](#))
- grande **variété des compétences**, et bonne **synergie théorie/expérience**
- **Communauté nombreuse et bien structurée** par des GDR (physique mésoscopique, information quantique, graphène, MICO Matériaux et interactions en compétition, Atomes froids), par le Triangle de la physique, par les labex Palm (axe 1 : «Quantum matter : from elementary to the strongly correlated ») et NanoSaclay
- concentration de plusieurs **équipes théoriques de haut niveau**, notamment dans le domaine du calcul de propriétés physiques en théorie quantique :
 - o théorie quantique à plusieurs corps: NIMBE (2 personnes), LSI (3), LPS (3), LLB (3), IPhT (2), CPHT (2), LCF (1)
 - o théorie quantique basée sur la théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT) étendue parfois à la science des matériaux, DFT dépendante du temps (TDDFT et TDDFPT) pour le calcul des plasmons, théorie de perturbation de la DFT (DFPT) pour les phonons, le couplage électron-phonon et phonon-phonon: SRMP (12), SPMS (5), LSI (10), LPS (2), CPHT (2), LEM(1), IEF (1), ICMMO (2)
- présence de la **maison de la simulation** (soutien pour le développement des codes) et du nœud île de France du « [Centre Européen de Calcul Atomique et Moléculaire](#) » (workshops)
- dans le futur : le projet de **l'institut Pascal**, qui devrait permettre d'attirer des workshops et visiteurs de longue durée
- bons chimistes et physiciens pour **l'élaboration des nouveaux matériaux** (oxydes à l'IEF et à l'UMPhy). Notamment le laboratoire de chimie au SPEC, qui participe au nombre de publications le plus élevé pour le pôle 1 sur les années considérées (47 publications, publications communes avec labos CEA, avec LPS, Polytechnique, Soleil, Thales,...). Mais pas assez nombreux pour subvenir aux besoins de tous les chercheurs.
- bons **moyens techniques de fabrication** (IEF, LPN, ... mais aussi tous les labos qui fabriquent leurs couches minces) qui suscitent de nombreuses collaborations au-delà de Paris-Saclay et notamment avec Paris Centre.
- concentration de **grands instruments** (TGIR en RMN à [l'institut de Chimie des Substances Naturelles](#), sources laser, Soleil, neutrons au LLB...) mais nécessité d'améliorer l'accessibilité de ces sources pour les activités du pôle 1
- **Ancrage dans l'enseignement** de tous niveaux offrant une visibilité de la recherche au monde étudiant, notamment de la matière condensée, optique et matière diluée
- **Master renommés** sur le site : ICFP (concepts fondamentaux de la physique), en particulier les parcours « physique quantique » (responsable : Christophe Texier) et Physique de la matière condensée (resp. : Marc Gabay) ; M2 Nanosciences (Univ. Paris-Sud, ENS Cachan, Polytechnique, Institut d'Optique Graduate School, Université

Versailles-Saint Quentin, Centrale, Supélec) ; M2 "[L.O.M. \(Laser, Optique, Matière\)](#)" (ENS Cachan, IOGS, Polytechnique, P1, UPMC, ESPCI, UVSQ, Telecom)

FAIBLESSES :

- 1) **Manque de personnel** (physique expérimentale des systèmes corrélés; perte de savoir-faire technique)
 - La physique expérimentale des systèmes corrélés (nouveaux états électroniques et magnétiques) souffre d'un manque de personnel chercheur temps plein (CNRS) alors que l'engagement expérimental est lourd (LPS). Ceci est vrai en général dû au nombre décroissant de recrutements de CR par le CNRS. Côté CEA, l'activité sur les systèmes d'électrons corrélés n'est pas du tout soutenue.
 - peu de théoriciens en info quantique
 - Les laboratoires non-universitaires sont souvent déconnectés des lieux d'enseignement (CEA, LPN, ..) Difficulté d'attirer des étudiants au CEA et réduction du nombre de bourses de thèses CFR.
 - Perte de savoir-faire technique. L'intégration dans un cadre plus vaste pourrait permettre de réaliser des projets pour lesquels un laboratoire de grande taille comme le LPS n'est plus en mesure de faire face de façon satisfaisante (méca-cryo)
- 2) **Activités menacées :**
 - Arrêt programmé de la source de neutron (Orphée) au LLB (fonctionnement réduit à 120 jours à partir de 2016 et arrêt dès 2019). Aucune source de neutrons envisagée ensuite sur le plateau de Saclay pour les thématiques du pôle 1.
 - manque d'analyse spectro de champ proche (STM), de spectroscopie Raman Haute Résolution résolution (mesure basse énergie) avec un environnement échantillon intéressant le pôle 1 (basse T, sous pression, sous champ magnétique).

OPPORTUNITÉS :

- contexte international favorable à l'information quantique (voir [ci-dessous](#))
- Il faut accentuer le lien avec les chimistes et recréer une synergie autour de sujets émergents dans le domaine des matériaux massifs.

MENACES :

- **Manque d'attractivité** due à 1) l'absence de perspectives d'emploi académiques, dans un domaine où c'est le débouché principal ; 2) la difficulté d'accès (moyens de transport défectueux, temps de transport depuis des endroits où on peut/veut vivre) ;
- **Concurrence de Paris-centre pour attirer des étudiants** (aussi excellents labos, plus accessibles). En revanche, la proximité de ces laboratoires offre des possibilités de collaboration et une émulation stimulante.
- **Disparition des programmes blancs** pour garder la diversité des sujets. Les modalités de financement sur projets ne favorisent pas la prise de risque scientifique

- **Difficulté de faire émerger des projets purement théoriques** autres que les programmes d'excellence type ERC, dont l'obtention a jusqu'à maintenant été souvent conditionnée par des résultats préliminaires obtenus grâce à des financements blancs nationaux.
- En information quantique, **concurrence de labos avec des moyens considérables** (Google, IBM, Microsoft, Programme « UK Quantum Technology » : 270 M€ pour les labos britanniques sur l'info quantique ; Création d'un centre commun néerlandais entre Tu-Delft et TNO sur l'information quantique). Même problème pour les centres NV et certainement d'autres sujets, concurrence de gros laboratoires allemands, suisses, etc... ayant d'énormes moyens humains et matériels. Nous arrivons encore à collaborer, mais ont-ils réellement besoin de nous ?

d) **Positionnement par rapport à SNR, H2020, et stratégies des établissements**

Contexte international : l'info quantique a le vent en poupe (implication de Microsoft à [Copenhague](#), Google à [Santa Barbara](#), IBM, ... ; programme Horizon 2020 FET Proactive sur '[Quantum simulation](#)', call ICT 2015 - [Information and Communications Technologies](#) includes «activities related to modelling and simulation: e.g. quantum and atomic scale effects » & « New computing paradigms like quantum computing and neuromorphic computing with a focus on their future integration with Si technologies », FET-OPEN - NOVEL IDEAS FOR RADICALLY NEW TECHNOLOGIES “Quantum Simulation”)

FET Flagship “Graphene” de H2020

A l'échelle régionale, une partie des sujets du point 3) “ états électroniques et magnétiques émergents ”, notamment concernant les oxydes (bulk, surface), systèmes en forte interaction, sont soutenues par le DIM “Oxymore” de la région IdF.

Soutien de quelques projets d'information quantique par le DIM Nano-K

2. Définition d'une stratégie partagée

- La prospective de [PALM](#) (présentation P. Pillet GT 13 (20 janvier 2015)) dégage des thèmes qui concernent le pôle 1 (équivalence avec “thème 1” de PALM) :

Prospective thème 1

- » **Rapprochement entre AMO et Matière Condensée**
 - Reste un processus de long haleine
- » **La continuité**
 - Ingénierie Quantique
 - Systèmes hybrides (ex: circuits supra + centres NV)
 - Simulation quantique (réseaux optiques, réseaux de circuits supra)
 - Systèmes fortement corrélés
 - Oxydes (cuprates, titanates, iridates, vanadates...); Transitions de phase exotiques
 - Frustration magnétique
 - Rare-earth heavy-fermion materials
- » **Tendances nouvelles, nouveaux concepts, applications**
 - Études de phases topologiques
 - États de bord dans les oxydes et dans des atomes froids...
 - La supraconductivité haute Tc
 - Pseudogaps...
 - Ferroélectricité et magnétisme
 - Applications: NV-magnétisme, états de bord
- » **Nouveau nom: Quantum Matter: from the elementary to the strongly correlated**

- L'appel à projet Nanosaclay pour 2016-2019 contient plusieurs « défis » qui concernent le pôle 1: ceux numérotés 1, 3, 4, 5 ci-dessous.

Challenge	Titre du défi
1	Doter le territoire Paris Saclay d'une source de graphène à l'état de l'art mondial
2	Réaliser des nanocomposants multifonctionnels pour développer des architectures de calcul en rupture
3	Réaliser des hétérostructures d'oxydes fonctionnels sur de grandes surfaces
4	Vers une convergence de la nanophotonique et de l'information quantique
5	Les nanostructures au service des dispositifs photoniques
6	Traitements à base de nanomédicaments et nano-bio-détection à haute performance
7	Vers de nouvelles méthodes de mise en forme des matériaux hybrides

- Perspectives communes avec le pôle 7 « matériaux » :

- Hybridation des matériaux (épitaxie hybride, hybrides organiques/semiconducteurs, organiques/inorganiques, semiconducteurs/oxydes)
- Matériaux à fortes corrélations électroniques, topologiques (matériaux 2D, 3D)
- Matériaux multifonctionnels (multiferroïques, ...)

a) Identification d'objectifs

Partant de ces éléments, nous proposons trois grandes directions de recherche, détaillées dans les pages qui suivent:

- e) Cohérence quantique à l'échelle mésoscopique
- f) Ingénierie quantique

g) Etats électroniques et magnétiques émergents

I. Cohérence quantique à l'échelle mésoscopique

La compréhension des effets de la cohérence quantique est un enjeu fondamental dans l'étude de nombreux milieux, des gaz dilués ultra-froids aux électrons dans la matière condensée, en passant par les systèmes photoniques et/ou hybrides. Il s'agit à la fois de mieux comprendre et mettre en évidence des effets quantiques, au moyen de systèmes aux propriétés quantiques contrôlables, utilisables aussi en ingénierie quantique (voir [paragraphe II](#)).

- Étude théorique et expérimentale de **systèmes hybrides** (systèmes opto-mécaniques, couplage atomes-supraconducteurs, etc.) permettant de mettre en évidence des effets quantiques en combinant les propriétés de systèmes élémentaires.

- **Cohérence quantique en matière condensée** (transport cohérent et aspect topologique, cohérence et couplage spin-orbite), en particulier supraconductivité mésoscopique (liens faibles supraconducteurs, systèmes hybrides avec boîtes quantiques, graphène, matériaux ferromagnétiques); transport hors d'équilibre, bruit quantique

- **Mise en évidence d'effets quantiques aux échelles méso- et macroscopiques** (effets du blocage de Rydberg, effets multi-atomiques sur des nuages, localisation d'Anderson)

- **Transfert de méthode entre domaines différents de la physique mésoscopique** (application de méthodologie de la matière condensée aux gaz froids dilués, de l'optique atomique à des ions et centres colorés dans des matrices solides, ou expériences d'optique quantique reproduite dans des circuits supraconducteurs par exemple). Développement d'un langage commun entre ces différents domaines.

- Au-delà de la poursuite des méthodes d'investigations classiques, expérimentales et théoriques, un enjeu important est le **développement de la simulation quantique**, utilisant une approche d'ingénierie quantique (cf. [paragraphe II](#)) pour créer des systèmes quantiques bien contrôlés (vapeurs atomiques ou tout système utilisable en information quantique) reproduisant les propriétés élémentaire d'une grande variété de systèmes physiques (système corrélés en matière condensée, champs de jauge, échantillonnage bosonique), difficiles à simuler sur un ordinateur classique.

-

II. Ingénierie quantique

- Construire des **outils pour l'information, le calcul et la logique quantique** utilisant les électrons, les photons et les plasmons, ou les ondes de spin.

- Développer la **simulation quantique** en créant (à partir de gaz d'atomes ou de qubits) des réseaux de systèmes quantiques en interaction qui reproduisent la structure

microscopique de matériaux. Simuler matériaux à fortes corrélations, simuler des champs de jauge par interaction laser-matière

- **Amplificateurs à la limite quantique** (→circuits supra pour ESR sur spin ou molécule unique, astronomie, processeurs quantiques,) ; "quantum sensing" dont une des tendances consiste à exploiter des techniques de l'information quantique comme les codes correcteurs d'erreurs quantiques pour augmenter la sensibilité des capteurs et dépasser la limite habituelle de l'évolution en \sqrt{N} du rapport signal sur bruit.

- **Mesures à la limite quantique**

- développer des capteurs combinant un mécanisme de lecture fonctionnant à la limite quantique avec un élément de mesure de haute performance.

- a) Système hybride employant un capteur quantique pour lire le signal d'un transducteur (éventuellement classique) d'une molécule unique spécifique.

- b) Capteur fonctionnant à un niveau de sensibilité ou un niveau de consommation tel que les effets quantiques doivent être pris en compte ou peuvent être exploités pour améliorer les performances.

- Exploiter la taille atomique des capteurs quantiques pour atteindre des résolutions spatiales d'échelle nanométrique. Des exemples de telles techniques sont :

- a) Utilisation de sources lumineuses nanoscopiques pour imager sous la limite de diffraction.

- b) Manipulation et couplage de spins uniques avec des techniques de contrôle avancées.

- Développement de nouvelles méthodes théoriques pour augmenter le rapport signal sur bruit des protocoles de mesure quantique en employant les techniques développées pour l'information quantique :

- a) Utilisation des méthodes de correction d'erreurs pour les mesures quantiques

- b) Utilisation des méthodes de découplage dynamique

- c) Protocoles d'amplification basés sur des schémas d'information quantique

- d) Utilisation de l'intrication pour les mesures et la métrologie avancées : exploitation des états non-classiques comme les états squeezés de spin ou les états NOON.

⇒ Cohérence avec prospective PALM et NanoSaclay, voir ci-dessus

⇒ Initiatives dans ce style à l'étranger ([UK](#), [Pays-Bas et Danemark](#))

⇒ En phase avec appels H2020

- texte sur les [Technologies quantiques](#) sur le site de l'Europe (consultation pour FET Proactive)

- FET Proactive 'quantum simulation'

- Appel ICT (Information and Communication Technologies): «activities related to modelling and simulation: e.g. quantum and atomic scale effects » « New computing paradigms

like quantum computing and neuromorphic computing with a focus on their future integration with Si technologies »

III. États électroniques et magnétiques émergents

La présentation des projets est regroupée suivant 4 grands axes représentant pour chacun plusieurs thématiques très en vue au niveau international. De manière transverse, les acteurs scientifiques du plateau de Saclay possèdent l'ensemble des compétences, de la théorie aux techniques alliant expériences légères, conditions extrêmes, grands instruments (locaux ou européens), moyens de croissance contrôlés, spectroscopie résolue en temps...qui lui permettront de jouer un rôle majeur dans ces domaines à la fois riches en nouveaux concepts fondamentaux et à fort potentiel appliqué. La possibilité de développer des moyens de croissance contrôlés ouvrant aussi vers la combinaison de matériaux aux fonctions différentes, de développer des caractérisations in situ et de manipuler ces nouveaux états par des stimuli externes (lumière, contraintes, impulsions électriques) est cruciale pour l'ouverture vers ces applications.

- **Supraconductivité non conventionnelle** : corrélations électroniques et magnétisme ; supraconducteurs à base de Fe; cuprates à haute température critique; transition supra/isolant/conducteurs moléculaires.

L'identification du mécanisme donnant lieu à la supraconductivité non-conventionnelle reste un enjeu majeur de la physique des systèmes corrélés. Généralement, l'état normal de ces matériaux n'est pas simplement décrit par un liquide de Fermi du fait de la proximité de phases exotiques avec des degrés de liberté magnétiques et/ou de charges (phase nématique dans les pnictures, phase de pseudogap, boucles de courants et de stripes dans les cuprates,...) donnant lieu à des diagrammes de phases complexes pouvant générer des points critiques quantiques. Dans les supraconducteurs à haute température critique, cuprates et pnictures (à base de fer), les mesures de diffusion de neutrons permettent de mesurer le spectre magnétique et/ou des phonons potentiellement responsables du mécanisme. Il faut aussi déterminer la symétrie du paramètre d'ordre supraconducteur et la structure de bandes sous-jacentes par des mesures de photoémission résolues en angle. La comparaison de ces deux techniques permet de pondérer les corrélations électroniques. En complément des mesures de spectroscopie (RMN, μ SR,...), des mesures de transport sont nécessaires pour déterminer la compétition et la hiérarchie de ces phases. Expérimentalement, l'existence de points critiques quantiques recouvre aussi le champ des systèmes à électrons f à fermions lourds où la proximité de phase magnétique de supraconductivité est aussi observée. D'autres phases exotiques comme l'ordre caché du composé URu₂Si₂ où l'apparition de phases magnétiques quadrupolaires reste un domaine très actif (spectroscopies ARPES et neutrons).

Les études théoriques de systèmes modèles ou réels peuvent être abordées par des approches bien développées sur le Plateau de Saclay, basées soit sur la Théorie Dynamique de Champ Moyen et sa combinaison avec les calculs de Théorie de la Fonctionnelle de la Densité, soit sur l'existence de points critiques quantiques.

- **États émergents à 2D et 3D:** systèmes de Mott-Hubbard, gaz 2D aux surfaces et interfaces d'hétérostructures, oxytronique et Mottronique

Les oxydes des métaux de transition et autres composés fortement corrélés constituent un riche réservoir de « physique nouvelle » pouvant ouvrir vers des applications très innovantes. C'est le cas de la physique associée aux isolants de Mott, d'où naît la supra haute T_c , la magnétorésistance colossale, et les transitions métal-isolant. Cette physique est habituellement décrite par des modèles du type Hubbard, et sa compréhension continue d'être un des grands défis théoriques. Récemment, l'exploration de la physique de Mott « hors équilibre » a été initiée par des études de spectroscopie résolue en temps et de transport, par exemple dans les vanadates, composés archétype étudiés depuis les années 70 et toujours mal compris. L'observation récente d'effets « neuromorphiques » induits par l'application d'impulsions électriques pourrait ouvrir la voie à la Mottronique, c'est à dire, l'utilisation d'isolants de Mott comme brique de base de dispositifs électroniques innovants.

Les avancées récentes dans la fabrication d'hétérostructures artificielles d'oxydes permettent l'exploration des nouveaux matériaux hybrides, dont les interfaces montrent souvent des propriétés physiques que l'on ne retrouve pas dans les composés de base. Cette thématique, dite Oxytronique, se développe actuellement de façon très rapide, poussée par la possibilité d'applications en électronique. D'entre les exemples archétypes, on peut citer $\text{SrTiO}_3/\text{LaAlO}_3$, constitué par deux isolants à l'interface desquels un gaz d'électrons bidimensionnel se forme, qui présente des propriétés supraconductrices et magnétiques. En outre de forts couplages spin-orbite modulables par dopage ou par un champ électrique ont été mis en évidence ouvrant la voie à des développements en spintronique. Remarquablement, les gaz 2D se manifestent aussi à la surface nue d'oxydes réputés isolants (SrTiO_3 , KTaO_3 , TiO_2), ouvrant des perspectives très prometteuses ; dans le cas où l'état isolant est de type Mott on peut espérer générer de nouveaux états 2D corrélés. Un autre exemple de nouvel état dans des hétérostructures d'oxydes est la supraconductivité de type triplet à l'interface de cuprates supraconducteurs et manganites. Dans ce cas, l'origine du nouvel état est la compétition entre paramètres d'ordre antagoniques.

Enfin, et d'une façon générale, les propriétés des hétérostructures d'oxydes sont très sensibles à la qualité structurale et aux paramètres physiques extérieurs (champ électromagnétique, lumière, etc...). Cette sensibilité, hormis son intérêt fondamental, confère à ces matériaux un grand potentiel pour des applications. Pour profiter de cette richesse, une amélioration du contrôle des oxydes à travers ces paramètres est nécessaire.

- Matière de Dirac / topologique :

L'étude des fermions de Dirac en matière condensée n'est plus restreinte seulement au graphène, mais d'autres matériaux prometteurs ont été identifiés. À titre d'exemple, on peut mentionner des cristaux organiques quasi-bidimensionnels, ou des cristaux bidimensionnels comme les dichalcogénures de métaux de transition (MoS₂, WS₂, MoSe₂, WSe₂, etc.) ou le nitrure de bore. Ces derniers matériaux sont des semiconducteurs bidimensionnels à gap direct qui semblent héberger des fermions de Dirac massifs. Une compréhension théorique et expérimentale de ces propriétés électroniques exotiques est préalable à une éventuelle implémentation dans des dispositifs électroniques de demain. En plus du caractère relativiste des électrons, ces fermions de Dirac possèdent des propriétés topologiques similaires aux isolants topologiques ou aux oxydes de métaux de transitions mentionnés plus haut. Finalement, la physique des fermions ultra-relativistes semble gouverner également certains matériaux tridimensionnels (comme Cd₃As₂, Na₃Bi ou HgCdTe) sous forme de fermions de Weyl. Ces fermions de Weyl pourraient jouer un rôle dans une certaine classe d'iridates pyrochlore qui, en plus d'un couplage spin-orbite relativement fort, montrent de fortes corrélations électroniques et qui pourraient ainsi former un système paradigmatique pour l'étude de possibles phases corrélées de fermions relativistes. A noter que des états topologiques induits par la géométrie et le couplage spin-orbite se retrouvent aussi dans les gaz 2D de plusieurs surfaces et hétérointerfaces oxytroniques.

- **Le spin dans tous ses états** : spin-orbite et corrélations; multiferroïcité ; frustration magnétique

Il était, jusqu'à il y a quelques années communément admis que les corrélations électroniques joueraient un rôle moins marqué dans les métaux de transition en passant des couches 3d aux 4d puis aux 5d en raison de l'étendue spatiale croissante des orbitales électroniques. Cependant, de manière surprenante, de nombreux Iridates ($Ir^{4+} : 5d^5$) sont isolants alors que les calculs de structure de bandes prédisent un caractère métallique ; c'est le cas de composés à base perovskite (Sr_2IrO_4 et $Sr_3Ir_2O_7$), nid d'abeille (Na_2IrO_3), post-perovskite $CaIrO_3$ ou prochlorés $R_2Ir_2O_7$ ($R=Y, Sm, Eu...$). Les corrélations y jouent donc encore un rôle prépondérant probablement induit par une reconstruction de la structure de bande par le couplage spin-orbite, fort dans les éléments lourds. On parle alors de « spin-orbit Mott insulator » par exemple pour Sr_2IrO_4 . De façon plus générale, le couplage spin-orbite sans doute associé à d'autres degrés de liberté (réseau, magnétisme, charge) ouvre de nouvelles voies prometteuses mais complexes pour stabiliser de nouveaux états de la matière corrélée. Leur étude va de l'élaboration (massifs, couches minces) à la théorie en passant par un panel d'outils expérimentaux (transport, ARPES, neutrons, RIXS RMN, μ SR, ...).

Les couplages entre degrés de liberté magnétique et électrique induisent des propriétés exacerbées dans le cas des multiferroïques. L'un des enjeux majeurs est de maximiser ce couplage aux applications proches dans les multicouches « ad hoc ». L'influence de la composition, des effets structuraux induits par les contraintes ou la pression, des effets d'interfaces sont au cœur des recherches actuelles, des matériaux massifs aux hétérostructures.

La faible symétrie du système fait apparaître des phases magnétiques frustrées qui ont généré, sur le plan fondamental de nouvelles voies en magnétisme très en amont des applications. Dans les composés en bulk, il convient de comprendre les interactions magnétiques dans ces matériaux : mesure du spectre d'onde de spins par diffusion de neutrons en comparaison de calcul numérique (approximation Holstein Primakov, RPA,...).

Lorsque la frustration est engendrée par la topologie du réseau, à base triangulaire comme dans le réseau kagomé à 2D ou à base de tétraèdres comme dans les pyrochlores à 3D, de nouveaux états magnétiques aux propriétés très originales apparaissent, qui sont à l'origine de questionnements fondamentaux ; c'est le cas des liquides de spins quantiques ($S=1/2$ ou 1) ou, dans le cas des pyrochlores de terre rare, de spins classiques pour lesquels l'anisotropie magnétocristalline des terres rares permet une variabilité des propriétés modèles allant du monopole magnétique à des phases Ising, XY, liquides de spin. Les études développées s'appuient en partie sur la synthèse de matériaux locale (poudres, cristaux) et visent à mettre en évidence la nature de l'état fondamental et le spectre de ses excitations, (mesures thermodynamiques, neutrons inélastiques, RMN, μ SR) qui sont au cœur des débats théoriques abordés à l'UPSa par des méthodes numériques.

⇒ rejoint les projets du pôle 7 "matériaux"

⇒ en cohérence avec les perspectives du LPS présentées au comité d'évaluation AERES fin 2013

⇒ en cohérence avec défis NanoSaclay

b) Propositions de moyens et actions

Plus que des actions spectaculaires et de grande visibilité, le consensus est qu'on attend de l'université Paris-Saclay de « mettre de l'huile dans les rouages » pour faciliter le travail des chercheurs. C'est le sens des propositions qui suivent.

Propositions non spécifiques au pôle 1 :

- Financer les **jeunes chercheurs** dans les sujets identifiés comme prometteurs
 - décharge pour les enseignants chercheurs en début de carrière
 - financement de départ des jeunes embauchés
 - Post-docs

- Obtenir financement récurrent pour le département afin de pouvoir faire des appels d'offres légers et réactifs sur les **sujets émergents**
- Soutenir le fonctionnement des **structures transverses** existantes (plateformes technologiques, cryogénie) ou à développer (pôle de croissance de monocristaux)

- **Faciliter la porosité** entre les établissements: facilité d'accès pour les chercheurs et les étudiants, mise en commun de matériel pour des expériences communes,... Dans ce but, créer un « passeport Paris-Saclay ».

Proposition spécifique au pôle 1 :

- Mettre en place un **pôle de croissance cristalline de monocristaux** qui puisse alimenter plus largement toutes les mesures physiques. De nombreuses techniques expérimentales existent sur le plateau de Saclay. Elles nécessitent généralement un accès rapide et dédié aux matériaux monocristallins bien caractérisés. Il conviendrait de resserrer les liens entre les différents partenaires pour être le plus efficace à l'avenir. Cela correspond à l'ensemble du domaine des états électroniques et magnétiques émergents. L'effort pourrait par exemple porter sur le renfort et le soutien d'équipes de cristallogenèse déjà constitués.

ANNEXES

Faits marquants

UMPHY-Thalès:

Transport cohérent sur de longues distances dans des jonctions supra haut-Tc / matériau ferrimagnétique semi-métallique

C. Visani *et al.*, [Nature Physics](#) **8**, 539–543 (2012)

(WoS: 37 citations)

En général, la supraconductivité et le ferromagnétisme sont deux phénomènes incompatibles dans un même matériau. En effet, le champ d'échange du ferromagnétique polarise le spin des électrons et brise les paires de Cooper (deux électrons de spins opposés) transportant les courants supraconducteurs. *A priori*, cet antagonisme semble donc empêcher la pénétration d'un courant supraconducteur dans un demi-métal (ferromagnétique avec 100% des porteurs de charge polarisés en spin). Ce travail montre qu'un mécanisme non-conventionnel, la réflexion d'Andreev entre particules du même spin, permet de lever cette restriction à l'interface entre un oxyde supraconducteur à haute température et un demi-métal. Ce mécanisme permet le transfert des propriétés supraconductrices aux électrons du demi-métal, créant ainsi un courant supraconducteur polarisé en spin.

LSI:

Développement d'approches originales pour décrire les effets de corrélation dans les spectroscopies de nouvelle génération

"Valence Electron Photoemission Spectrum of Semiconductors: Ab Initio Description of Multiple Satellites"

Guzzo, M., G. Lani, F. Sottile, P. Romaniello, M. Gatti, J. J. Kas, J. J. Rehr, M. G. Silly, F. Sirotti, and L. Reining, [Phys. Rev. Lett.](#) **107**, 166401 (2011)

(WoS: 26 citations)

Ces approches permettent de montrer des effets tels que la dispersion des excitons, les effets excitoniques dans les satellites en photoémission, ou la formation d'un exciton dans l'espace et le temps.

Mise en évidence les importances respectives des mécanismes de diffusion par interaction électron-électron et électron-phonon dans la dynamique ultrarapide des

électrons photoexcités

E. Papalazarou, J. Faure, J. Mauchain, M. Marsi, A. Taleb-Ibrahimi, I. Reshetnyak, A. van Roekeghem, I. Timrov, N. Vast, B. Arnaud, L. Perfetti, [Phys. Rev. Lett. 108, 256808 \(2012\)](#)

(WoS: 20 citations)

SPEC

Couplage fort d'un ensemble de spins à un résonateur supraconducteur

Y. Kubo, F. R. Ong, P. Bertet, D. Vion, V. Jacques, D. Zheng, A. Dréau, J.-F. Roch, A. Auffeves, F. Jelezko, J. Wrachtrup, M. F. Barthe, P. Bergonzo, and D. Esteve, [Phys. Rev. Lett. 105, 140502 \(2010\)](#)

(2010)

(WoS: 187 citations)

Réalisation d'un circuit quantique dans lequel un ensemble de spins électroniques est couplé à un résonateur supraconducteur. Les spins sont des centres NV dans un cristal de diamant. Le couplage fort entre les spins et le résonateur est démontré, ouvrant ainsi vers une série d'expériences couplant des spins localisés, dont le temps de cohérence quantique peut être très long, à des circuits supraconducteurs, plus faciles à adresser et à coupler.

LLB

Normal-state spin dynamics and temperature-dependent spin-resonance energy in optimally doped BaFe_{1.85}Co_{0.15}As₂.

D. S. Inosov, J. T. Park, P. Bourges, D. L. Sun, Y. Sidis, A. Schneidewind, K Hradil, D. Haug, C. T. Lin, B. Keimer, and V. Hinkov, [Nat. Phys. 6, 178 \(2010\)](#).

(WoS=157 citations)

Grâce à une technique de diffusion de neutrons, des chercheurs du Max Planck Institut et du Laboratoire Léon Brillouin ont mesuré les fluctuations magnétiques dans une des familles de supraconducteurs à base de Fer en fonction de la température. Dans l'état supraconducteur, l'appariement des électrons conduit à une profonde restructuration du spectre des fluctuations magnétiques avec l'apparition d'un pic de résonance magnétique, caractéristique d'une supraconductivité non-conventionnelle. Cette variation du spectre ne se manifeste qu'en-dessous de l'énergie nécessaire pour « briser » les paires d'électrons et indique un mécanisme magnétique pour la supraconductivité dans ces matériaux.

LCF

Localisation d'Anderson d'ondes de matière en une puis trois dimensions

J. Billy, V. Josse, Z. Zuo, A. Bernard, B. Hambrecht, P. Lugan, D. Clément, L. Sanchez-Palencia, P. Bouyer, and A. Aspect, [Nature 453, 891 \(2008\)](#); F. Jendrzejewski, A. Bernard, K. Müller, P. Cheinet, V. Josse, M. Piraud, L. Pezzé, L. Sanchez-Palencia, A. Aspect, and P. Bouyer, [Nat. Phys. 8, 398-403 \(2012\)](#). (WoS = 88 citations)

CSNSM et LPS:

Gaz d'électrons bidimensionnel avec universal subbands à la surface de SrTiO₃

A. F. Santander-Syro, O. Copie, T. Kondo, F. Fortuna, S. Pailhès, R. Weht, X. G. Qiu, F. Bertran, A. Nicolaou, A. Taleb-Ibrahimi, P. Le Fèvre, G. Herranz, M. Bibes, N. Reyren, Y. Apertet, P. Lecoeur, A. Barthélémy, & M. J. Rozenberg. [Nature 189, 189 \(2011\)](#)

(WoS : 179 citations)

Découverte d'un nouveau état métallique 2D à la surface de l'isolant SrTiO₃ (STO). Cet isolant est au centre de l'activité de recherche qui se développe depuis 10 ans au tour de l'électronique d'oxydes. Cette découverte inattendue a ouvert la voie pour avancer dans la fabrication de nouveaux dispositifs électroniques qui pourraient incorporer des phénomènes à fort corrélations électroniques.

LPTMS:

A finite-temperature phase transition for disordered weakly interacting bosons in one dimension

I. L. Aleiner, B. L. Altshuler, G. V. Shlyapnikov, [Nature Physics, 6, 900-904 \(2010\)](#)

(WoS : 58 citations)

Alors qu'on pensait que les fluctuations interdisaient l'apparition d'une transition de phase à température finie en une dimension, les auteurs ont identifié une telle transition dans un gaz de bosons unidimensionnel en interaction en présence de désordre, entre une phase fluide et une phase isolante. Cette découverte s'inscrit dans le contexte de l'étude des gaz atomiques ultrafroids soumis à un potentiel désordonné.

Liste ordonnée des sujets du pôle 1

1) Cohérence quantique

a) Physique mésoscopique

- i) Transport électronique cohérent, localisation, courants permanents, ...
- ii) Effets de charge
- iii) Supraconductivité mésoscopique
- iv) Electrodynamique quantique des conducteurs
- v) Effet Hall quantique
- vi) Matériaux désordonnés
- vii) Mécanique quantique avec des systèmes mécaniques
- viii) Couplage lumière-matière, polaritons

b) Opto-électronique

c) Systèmes quantiques de basse dimensionnalité

d) Matière diluée

- i) Atomes froids
- ii) Atomes de Rydberg
- iii) Molécules froides

2) Information quantique

a) Intrication, calcul et cryptographie quantiques

b) Implémentations expérimentales de l'information quantique

- i) Qubits supraconducteurs
- ii) Sources de photons uniques
- iii) Etats non-gaussiens de la lumière
- iv) Non-linéarités à l'échelle du photon unique, interface spin-photon
- v) Réseaux optiques d'atomes ultrafroids
- vi) Optique quantique avec des semiconducteurs
- vii) Défauts dans les cristaux (centres NV dans le diamant, ...)
- viii) Atomes de Rydberg
- ix) Cristaux dopés Terres Rares

3) Nouveaux états électroniques et magnétiques

a) Systèmes en forte interaction

- i) Systèmes à fortes corrélations quantiques
- ii) Supraconductivité
- iii) - Composés Mott Hubbard
- iv) Systèmes corrélés à fort couplage spin-orbite
- v) Fermions lourds

b) Oxydes, bulk et surface

- i) Effets thermo-électriques; matériaux pour l'énergie
- ii) Multiferroïques

- iii) Oxytronique et 2DES (2D electronic states) ; structuration et fonctionnalisation de surfaces
- iv) *Structure électronique et spectroscopie: IXS, ARPES, RIXS, EELS*
- c) **Matière topologique et matière de Dirac**
 - i) Isolants topologiques
 - ii) Fermions de Dirac (graphène) et de Majorana
- d) **Magnétisme frustré**
- e) **Systèmes moléculaires**
 - i) Conducteurs moléculaires
 - ii) Magnétisme moléculaire
- f) **Ondes de densité de charge et de spin**
- g) **Transports électronique et thermique: couplages électron-phonon et phonon-phonon**

Pôle 2 :
**Matière diluée, neutre ou ionisée : de l'atome à
la molécule et aux plasmas**

Pôle 2 : "Matière diluée neutre ou ionisée : de l'atome et la molécule aux plasmas".

1. Contours et axes stratégiques

Les objets que nous étudions vont des atomes aux molécules jusqu'à de larges bio-polymères en phase gaz et sont essentiellement libres de substrats et de solvants. Ils présentent différents degrés de structuration, vers des complexes, agrégats et jusqu'aux nanoparticules. Ces objets peuvent être excités et même ionisés. La collection de tels objets ionisés, avec un comportement collectif, est un objet d'étude en soi : celui des plasmas. Quand certaines de ces espèces sont déposées et/ou étudiées sur un substrat, on s'intéresse principalement à leurs propriétés intrinsèques et/ou à leurs interactions avec le substrat.

On s'intéresse aux objets décrits plus haut en tant que tels (propriétés intrinsèques structurelles et dynamiques) mais aussi, dans le cadre d'une approche bottom/up de la complexité de la matière, comme « brique élémentaire » vers des systèmes plus complexes et structurés en phase condensée notamment. Nos travaux recouvrent de nombreuses interfaces : Chimie, SdV, SPU, EOE, environnement /climat.

Nous avons défini 3 axes stratégiques (long-terme) qui pavent l'ensemble de l'activité, présente et à venir, des équipes du pôle :

Axe 1 : Un axe « Structure » : « Structures des briques élémentaires aux systèmes complexes : Approches bottom/up de la complexité moléculaire »

Axe 2 : Un axe « Dynamique » : « Dynamiques multi-échelles temporelles et spatiales : matière diluée hors d'équilibre »

Axe 3 : Un axe tourné vers les applications : « Connaissance et contrôle de la structure et la dynamique : vers les applications »

2. Etats des lieux : aspects semi-quantitatifs

Nous avons identifié 11 unités (CpHT, ISMO, LAC, LCP, LIDyL, LPGP, LPICM, LPP, LPT, NIMBE, SOLEIL) réparties entre Saclay, St Aubin, Orsay et Palaiseau, regroupant 33 équipes ayant une activité au moins partielle dans les thématiques du pôle. 210 chercheurs et enseignant-chercheurs permanents y travaillent, représentant 132,5 ETP pondérés par le % d'activité dans le pôle (~16 % de PhOM). La théorie et simulation représente un volume important : 32 % des ETP

Le taux de doctorants et post-doctorants moyen est de 0.66 jeunes/ETP (1.1 jeunes/ETP pour les plasma et nanotechnologies) 0.5 jeunes/ETP ailleurs.

Globalement l'activité autour de l'axe 1 conduit à beaucoup de publications (35 % des articles, 20 % des ETP), et l'axe 3 est celui qui de loin valorise le plus (5 start-up, 17 contrats CIFRE sur 4 ans).

Les plateformes (SOLEIL, CLUPS, SLIC, CLIO) ont un rôle structurant important et sont largement utilisées par les équipes du pôle.

3. Bibliométrie : Analyse sur la période 2010-2013

L'analyse des 1035 publications recensées (soit ~2 publications /ETP/an) montre un FI moyen de 3,56 (4,3 pour l'axe 1) et un taux de citations toujours supérieur à la moyenne monde, avec

notamment 16 % de publication dans le top 10 % (17,5 % pour l'axe 1). Les thématiques principales sont la physique (59 %) et la chimie (21 %).

L'analyse fine du réseau d'auteurs des co-publications à l'intérieur du pôle (13 % des publications totales) montre un réseau dense de co-publications essentiellement centrées sur SOLEIL, le LIDyL, le LCP en l'ISMO et un isolement certain des activités nanosciences (NIMBE) et plasma (LPGP, LPP, LPICM et CPhT) qui ne co-publient quasiment avec les autres unités du pôle. A noter que ce sont les thématiques liées à l'axe 1 qui donnent lieu au plus fort taux de co-publications.

4. Analyse SWOT Globale (spécifique au pôle 2)

Forces :

- Excellence scientifique (axe 1 notamment) et ouverture pluri-disciplinaire
- Un environnement scientifique exceptionnel avec de nombreuses interfaces
- Une communauté déjà assez structurée
- Une communauté en prise avec la formation des étudiants
- Certaines thématiques avec un fort potentiel de valorisation (axe 3 notamment)

Faiblesses :

- Une communauté hétérogène avec des thématiques isolées (plasma/nanosciences)
- Des moyens humains en déclin avec un faible nombre de jeunes/ETP

Menaces :

- Une baisse des financements de type « blanc » (de l'ANR par exemple, H2020)
- Un manque de vocation

Opportunités :

- Une meilleure structuration de la communauté via des réseaux de collaboration en expansion dans le cadre de l'IDEX
- Des opportunités de valorisation
- Des plateformes/grands équipements accessibles et structurants
- Des opportunités nouvelles au sein du programme H2020
- Un aménagement immobilier favorable

5. Proposition d'actions structurantes / axes tactiques : Une de nos faiblesses réside dans le manque de jeunes chercheurs (doctorants, post-docs) et notamment sur des axes de recherches assez fondamentaux. Ce manque, souligné dans de nombreux rapports AERES des unités du pôle, est en partie dû à la baisse des financements blancs nationaux (type ANR) et internationaux (type ITN-H2020). Les demandes de financement pour les 3 axes tactiques ci-dessous portent toutes donc sur un financement d'un pool de jeunes chercheurs (thèse de 3 ans et/ou post-docs de deux ans) dont le sujet de recherche devra être structurant et impliquer au moins deux équipes du pôle.

Comme leur nom l'indique, ces axes représentent des pistes de recherche à explorer à court/moyen terme. Ils s'inscrivent respectivement dans les axes stratégiques 1, 2 et 3 mais couvrent un champ plus étroit, si bien que l'ensemble de la communauté du pôle 2 ne sera pas forcément concerné par les actions afférentes à ces trois axes. Nous avons été guidé dans la définition de ces axes par la volonté de renforcer rapidement l'excellence et de stimuler le potentiellement excellent et ce dans un cadre structurant pour notre communauté.

- Axe tactique 1 : Structure des édifices moléculaires faiblement liés
 - Excellence scientifique au regard de l'analyse bibliométrique
 - Communauté déjà intégrée au niveau du pôle qui a déjà démontré sa capacité de synergie. C'est ainsi l'axe le plus structurant au regard des co-publications.
 - Un manque de jeunes chercheurs particulièrement marqué, souligné par l'AERES.
 - Pas vraiment d'opportunités de financements via PALM.

- Axe tactique 2 : Dynamique ultra-rapide en phase diluée
 - En terme de sources ultra-courtes (type HHG) et des diagnostics associés, le site de Saclay jouit d'une réputation mondiale de longue date le plaçant parmi les leaders.
 - Très forts investissements de l'IDEX sur les sources ultra-courtes et lignes de lumière associées (EQUIPEX ATTOLAB et LIDEX Opt2X), pour près de 6 M€.
 - Domaine pour lequel les sources ont atteint une maturité suffisante pour envisager des applications de premier ordre en phase gaz ; expertise et montages expérimentaux présents dans le pôles mais manque de jeunes chercheurs qui ne sont pas financés aujourd'hui du côté de l'utilisation des sources.

- Axe tactique 3 : Des processus élémentaires aux systèmes réactifs hors-équilibre
 - Dans le contexte d'une politique de site, il est important de désenclaver les unités axées sur les plasmas et les nanoparticules afin de les intégrer au mieux au sein de Pôle, une occasion unique d'établir ainsi de nouvelles synergies couvrant un large champs de démarches intégrant les processus élémentaires à la description des systèmes complexes.
 - Fort potentiel de valorisation qui pourrait ainsi s'étendre depuis les domaines applicatifs (plasma/nano) vers les domaines fondamentaux.

Pôle 2 de PhOM :

Contours, état des lieux, analyse SWOT, propositions d'actions structurantes

1. Présentation du pôle 2	33
1.1 Nom du Pôle	33
1.2 Contours et interfaces	33
1.3 Axes stratégiques	34
2. Etats des lieux : aspects semi-quantitatifs	36
2.1 Les unités du Pôle 2	36
2.2 Les forces en présences et leur distribution géographique	38
2.3 La ventilation de l'activité par axes stratégiques	40
2.4 La part des théoriciens	41
2.5 Les actions de valorisation	42
2.6 Les plateformes utilisées par les équipes du Pôle 2	43
2.7 Capacité à obtenir des contrats	45
3. Bibliométrie : Analyse sur la période 2010-2013	45
3.1 Données quantitatives globales	46
3.2 Analyse fine des réseaux d'auteurs	48
4. Analyse SWOT Globale	53
5. Propositions d'actions structurantes / axes tactiques	57
5.1 Tactical Axis n°1 : "Structures of weakly-bound systems"	59
5.2 Tactical axis n°2 : "Ultra-fast dynamics in the dilute matter"	62
5.3 Tactical Axis n°3 : "From Elementary Processes to Non-equilibrium Reactive Systems"	64
Annexes	67

Préambule : Ce travail a été réalisé par le bureau du pôle 2 dont on trouvera la composition détaillée en Annexe 1. Depuis Octobre 2014, le travail du bureau, qui s'est réuni 9 fois dans son intégralité et à de nombreuses autres reprises en sous-bureaux, a consisté à préciser les contours et interfaces du pôle, et à les articuler selon 3 axes stratégiques (long-terme) d'une part, et d'autre part à réaliser un état des lieux complet incluant une double analyse SWOT : qualitative sur la base d'une synthèse des évaluations (type AERES) menées à partir de Fiches_laboratoire que nous avons établies, et quantitative sur la base d'une analyse bibliométrique portant sur la période 2010-2013, qui a été menée avec l'aide de la Cellule IST du CEA/DSM (Mme Leriche) que nous tenons à remercier ici. Forts de ce travail d'analyse et de synthèse, nous sommes en mesure de proposer en fin de document trois actions structurantes, avec demande de financement, correspondant à des axes tactiques court/moyen-terme.

1. Présentation du pôle 2

1.1 Nom du Pôle

Pour explicitement inclure les plasmas peu denses (dilués et ionisés) qui entrent pleinement dans le champ du Pôle 2, le bureau a proposé, dès ses premières réunions, de modifier la dénomination initiale du Pôle 2 de PhOM « Matière diluée ou ionisée : de l'atome et la molécule aux plasmas ». La nouvelle dénomination, validée par le GT PhOM est désormais :

"Matière diluée neutre ou ionisée : de l'atome et la molécule aux plasmas".

1.2 Contours et interfaces

Les objets que nous étudions vont des atomes aux molécules jusqu'à de larges bio-polymères en phase gaz et sont essentiellement libres de substrats et de solvants. Ils présentent différents degrés de structuration, via des liaisons non-covalentes, vers des complexes, agrégats et jusqu'aux nanoparticules. Ces objets peuvent être excités et même ionisés. La collection de tels objets ionisés, avec un comportement collectif, est un objet d'étude en soi : celui des plasmas. Quand certaines de ces espèces sont déposées et/ou étudiées sur un substrat, on s'intéresse principalement à leurs propriétés intrinsèques et/ou à leurs interactions avec le substrat.

Dans tous les cas la matière étudiée, neutre ou ionisée, est diluée. Les objets qui la composent ont ainsi des propriétés intrinsèques, que l'on peut définir et étudier indépendamment du milieu qui les entourent. Ces études portent sur trois aspects. En premier lieu sur la structure des objets et les interactions internes à ses constituants, responsables par exemple des conformations. Le deuxième aspect concerne les interactions, au travers de collisions élémentaires, entre les différents objets conduisant à une cinétique réactionnelle du milieu peu dense. Le troisième aspect enfin traite de l'interaction de ce milieu avec des champs électromagnétiques ou des faisceaux externes (photons de l'IR lointain aux X-durs, électrons,

ions). Ceux-ci sont utilisés soit pour contrôler les propriétés du milieu, comme dans le cas des plasmas, soit pour déterminer les propriétés structurales et dynamiques de la matière étudiée. A noter que dans le cas des plasmas, le champ E.M. interne, généré par les particules chargées, s'additionne au champ externe, pour conduire à une physique riche et complexe.

Toutes les études menées au sein du pôle s'appuient sur une démarche fondamentale, dans laquelle la théorie et la simulation numérique ont une contribution très importante. Les moyens d'investigation expérimentaux utilisés au sein du pôle sont très divers, allant d'expériences de laboratoire à l'utilisation de plateformes mutualisées et même à de très grandes installations comme SOLEIL.

On s'intéresse aux objets décrits plus haut en tant que tels (propriétés intrinsèques structurales et dynamiques) mais aussi, dans le cadre d'une approche bottom/up de la complexité de la matière, comme « brique élémentaire » vers des systèmes plus complexes et structurés en phase condensée notamment.

On trouvera en annexe 2, une liste de mot-clés, en anglais, décrivant nos activités. Cette liste a été établie en examinant les travaux de chaque équipe du pôle lors de l'établissement des fiches_laboratoire.

Les espèces et leurs interactions étudiés dans notre pôle se rencontrent dans de nombreux domaines aux interfaces couverts par :

- d'autres pôles de PhOM : atomes et chimie ultra-froide (pôle 1) ; instabilités/turbulences dans les plasmas (pôle 3) et nano-structuration (pôle 7) ; processus non-linéaires en champ fort, processus de relaxation multi-échelle et ondes dans les plasmas (pôle 4) ; synthèse, nucléation, croissance, morphologie & structure des nanoparticules (pôles 5 et 7).
- D'autres départements de l'Université Paris-Saclay, en lien principalement avec la réactivité des milieux étudiés : SPU, Chimie, SDV et EOE

L'étude de la matière diluée à ces interfaces constitue en soit un large pan de notre activité.

On trouvera en annexe 3, une description plus exhaustive des contours et interfaces du pôle 2.

1.3 Axes stratégiques

A partir des contours du Pôle, nous nous sommes attachés à définir 3 axes stratégiques (long-terme) qui pavent l'ensemble de l'activité, présente et à venir, des équipes du pôle. Ces trois axes se structurent de la façon suivante :

Axe 1 : Un axe « Structure » : « Structures des briques élémentaires aux systèmes complexes : Approches bottom/up de la complexité moléculaire »

Dans cet axe on s'intéresse aux aspects structurels (états stationnaires qui résultent bien sûr d'interactions) tant des briques élémentaires (atomes, petites molécules) que des systèmes plus structurés résultats de différentes étapes de croissance vers la complexité de la matière. Exemple : Atomes → clusters → nanoparticules, Acides-aminés → peptides → protéines, PAH → grains, suies

A noter qu'une large partie de l'activité de cet axe est structurée au niveau national par le GDR EMIE (Edifices Moléculaires Isolées et Environnées, Ex GDR « Agrégats ») en cours de renouvellement. (cf <http://www-lpl.univ-paris13.fr/gdr-emie/intro.htm>), GDR SPECMO (Spectroscopie moléculaire), GDR CHIRAFUN (chiralité) ;

Axe 2 : Un axe « Dynamique » : « Dynamiques multi-échelles temporelles et spatiales : matière diluée hors d'équilibre »

On s'intéresse ici aux processus des collisions élémentaires, incluant l'interaction rayonnement-matière et les phénomènes de relaxation post-collisionnels associés : excitation, résonances, relaxation, états transitoires, états stationnaires. Ce domaine est exploré via des expériences résolues en temps (de la ps à l'as) comme en fréquence qui permettent d'étudier des facettes complémentaires des processus dynamiques à l'œuvre sur une large gamme temporelle et spatiale.

Exemple de Mot-clés associés : Femtophysique/femtochimie, couplage électron/noyaux, réactivité, collisions

L'axe 2 recouvre aussi les aspects de cinétique réactionnelle des plasmas froids non-thermiques, et également les phénomènes électrodynamiques dans les plasmas chauds et dilués tels ceux rencontrés en fusion par confinement magnétique : propagation des ondes, magnétohydrodynamique (MHD), cinétique, transport et turbulence.

A noter que l'axe 2 possède un recouvrement important avec le Thème 3 du Labex PALM qui participe ainsi à sa structuration et à son financement. En outre, plusieurs équipes du pôle 2 sont des acteurs clés de l'EQUIPEX ATTOLAB et du Lidex Opt2X visant à doter la communauté de l'IDEX de sources fs/as VUV/XUV avec les diagnostics et les lignes de lumière associées pour des expériences résolues en temps qui s'inscrivent parfaitement dans les thématique de l'axe 2. A noter aussi la structuration via le GDR théorique THEMIS (Modélisation et simulation dynamique moléculaire).

Axe 3 : Un axe tourné vers les applications : « Connaissance et contrôle de la structure et la dynamique : vers les applications »

A partir des propriétés fondamentales sur des systèmes-modèles étudiés à travers les Axes 1 (Structure) et 2 (Dynamique), l'axe 3 aborde :

- Des champs d'application méthodologique : Comment passer des données de laboratoire à la modélisation de systèmes complexes
- La possibilité de contrôler les propriétés des constituants d'un milieu dilué, notamment en termes de réactivité, en vue d'applications spécifiques
- Des interfaces d'applications dans lesquelles on va pouvoir mettre en œuvre une démarche réductionniste (bottom/up) : sciences de la vie, nanotechnologie, procédés plasma
- Des interfaces d'occurrence dans lesquelles on trouve de la matière diluée neutre ou ionisée : chimie, astrophysique, environnement et climat

A noter que certaines de ces thématiques sont déjà structurées via des structures ou programmes dédiés au niveau local ou national telles que PCMI (astrophysique), PNP (planétologie), Fédération de Chimie-Physique de Paris-Saclay (Chimie), les GDR EMIE (pour les interfaces astrophysique, biologie, chimie), GDR SUIE, et Réseau « Plasmas froids ».

On trouvera en annexe 4, la projection des mots-clés descriptifs du pôle 2 vers les 3 axes stratégiques décrits ci-dessus.

2. Etats des lieux : aspects semi-quantitatifs

2.1 Les unités du Pôle 2

Sur les 38 unités affiliées à PhOM dans le périmètre de l'IDEX, 11 unités (CPhT, ISMO, LCP, LIDyL, LOA, LPGP, LPICM, LPP, LPT, LSI, SOLEIL) et 1 fédération (LUMAT) étaient listées dans le tableau Excel fourni par le GT-PhOM comme relevant, via au moins une de ses équipes, du Pôle 2.

Forts de la définition des contours du pôle, nous avons, à cette liste de départ, ajouté 2 unités : le NIMBE et le LAC qui bizarrement n'émergeaient pas au pôle. Nous avons par ailleurs supprimé le LOA (qui de fait est très orientée sources et optique (pôle 4) et pas directement sur l'étude de la matière diluée en soit), ainsi que le LSI qui ne semble pas, de fait, avoir d'activité en phase diluée. Au final, la liste ci-dessous comporte 11 unités (CpHT, ISMO, LAC, LCP, LIDyL, LPGP, LPICM, LPP, LPT, NIMBE, SOLEIL) et une Fédération (LUMAT). A noter que LUMAT n'apparaîtra par la suite essentiellement qu'au travers de ses plateformes mobilisables pour la communauté.

Tableau 1 : liste des unités relevant au moins pour partie du Pôle 2

Acronyme	Nom complet	Statut	Tutelles
CPhT	Centre de Physique Théorique	UMR	X / CNRS
ISMO	Institut des Sciences Moléculaires d'Orsay	UMR	CNRS/U-PSUD
LAC	Laboratoire Aimé Cotton	UMR	CNRS/U-PSUD/ENS Cachan
LCP	Laboratoire de Chimie-Physique	UMR	CNRS/U-PSUD
LIDyL	Laboratoire Interaction Dynamique et Lasers (inclus LFP)	UMR (en cours)	CEA/CNRS
LPGP	Laboratoire de Physique des gaz et des plasmas	UMR	CNRS/U-PSUD
LPICM	Laboratoire de Physique des Interfaces et des couches minces	UMR	X / CNRS
LPP	Laboratoire de Physique des Plasmas	UMR	X/CNRS/ U-PSUD/UPMC
LPT	Laboratoire de Physique Théorique d'Orsay	UMR	CNRS/U-PSUD

NIMBE	Nanosciences et Innovation pour les Matériaux, la Biomédecine et l'Énergie	UMR	CEA/CNRS
SOLEIL	Synchrotron SOLEIL	Société Civile	CNRS/CEA

La figure 1 montre la ventilation en % de l'activité scientifique sur les différents pôles de PhOM pour les équipes des 11 unités émergent au Pôle 2. Hormis le NIMBE et le LPICM pour lesquels l'activité « pôle 2 » est minoritaire, le pôle 2 est le pôle prépondérant de PhOM, et souvent de très loin, pour 9 autres unités (représentant plus de 96 % des ETP du pôle).

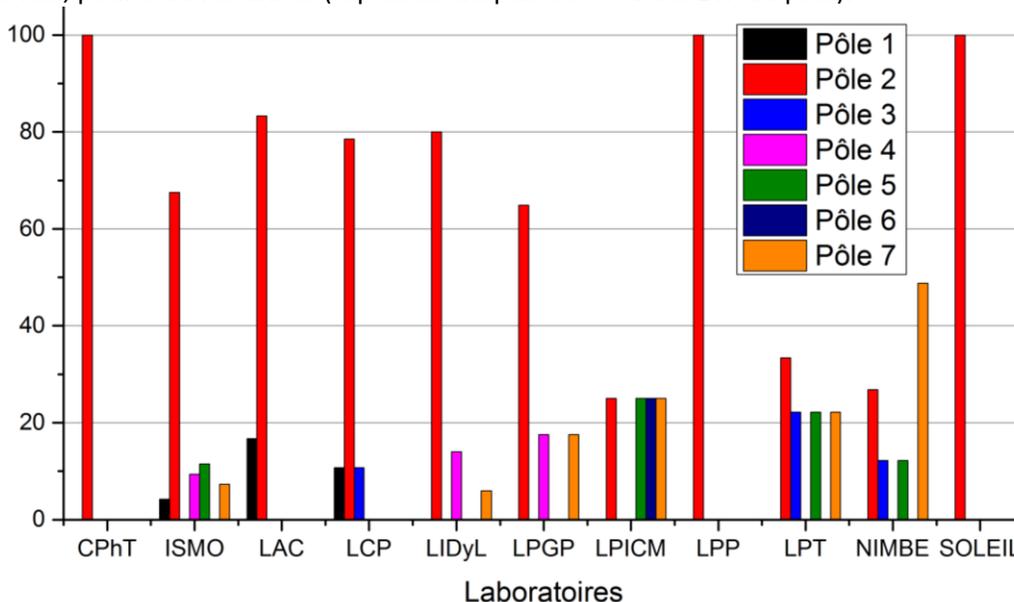


Figure 1: ventilation en % de l'activité des équipes qui émergent au pôle 2 dans les différents pôles de PhOM.

Il est par ailleurs, difficile de chiffrer les interfaces avec les autres GT de Paris-Saclay, nous donnons simplement dans le tableau 2 ci-dessous l'implication des unités dans les autres GT. On note le poids de la chimie, ainsi que les nombreuses interfaces avec EOE pour ce qui concerne l'activité Plasma et nanosciences.

Tableau 2: Implication des unités émergents au Pôle 2 dans les autres GT de Paris-Saclay

Laboratoires	Implication autres GT
CPhT	P2I
ISMO	CHIMIE
LAC	
LCP	CHIMIE, SdV
LIDyL	CHIMIE
LPGP	EOE
LPICM	CHIMIE, EOE

LPP	EOE, SPU
LPT	P2I
NIMBE	CHIMIE, EOE
SOLEIL	CHIMIE, P2I, SdV

2.2 Les forces en présences et leur distribution géographique

Sur la base des Fiches-Laboratoire établies par le bureau du Pôle 2, on peut extraire les informations suivantes :

Tableau 3 : ETP par unités avec leur localisation géographique

Unité	Nb total d'équipes	Nb équipes dans le pôle 2*	Localisation	Total ETP**
LIDyL	7	3	Saclay	16
NIMBE	7	1	Saclay	2,2
CPhT	6	1	X	3
LPGP	5	5	Orsay-Vallée	12,3
LPICM	4	1	X	2,5
LPP	4	2	X	16
LPT	4	1	Orsay-Vallée	2
SOLEIL	27	5	Saint-Aubin	9,75
ISMO	7	5	Orsay-Vallée	40
LCP	4	4	Orsay-Vallée	20,5
LAC	13	4	Orsay-Plateau	8,3
Total		33		132,5

*dont au moins un membre possède une activité même partielle relevant du Pôle 2.

**nb total de chercheurs et enseignants-chercheurs permanents pondéré par le % d'activité dans les domaines couverts par le pôle 2.

Le pôle 2 rassemble l'équivalent de 132,5 chercheurs/enseignants-chercheurs permanents à temps plein sur les activités du pôle2, et 210 si on compte le nombre total de chercheurs/enseignants-chercheurs permanents ayant une activité au moins partielle relevant du pôle. Ces effectifs (132,5 ETP) représentent de l'ordre de 16 % des effectifs permanents (en ETP) affiliés au GT PhOM sur le périmètre de l'IDEX. La distribution en taille est très variable selon les unités avec un poids lourd, l'ISMO qui contribue à près d'un tiers de l'effectif ETP et dont 5 équipes sur 7 font partie du pôle 2. Viennent ensuite le LCP, le LIDyL et le LPGP. En queue de distribution on compte des unités pour lesquelles l'activité dans le pôle 2 est marginale (mais pas négligeable bien sûr) comme le CPhT ou le LPT. A noter que l'activité « Plasma » (LPGP+LPP+LPICM+CPhT) équivaut à 33.8 ETP soit environ 25 % de l'activité globale du pôle 2.

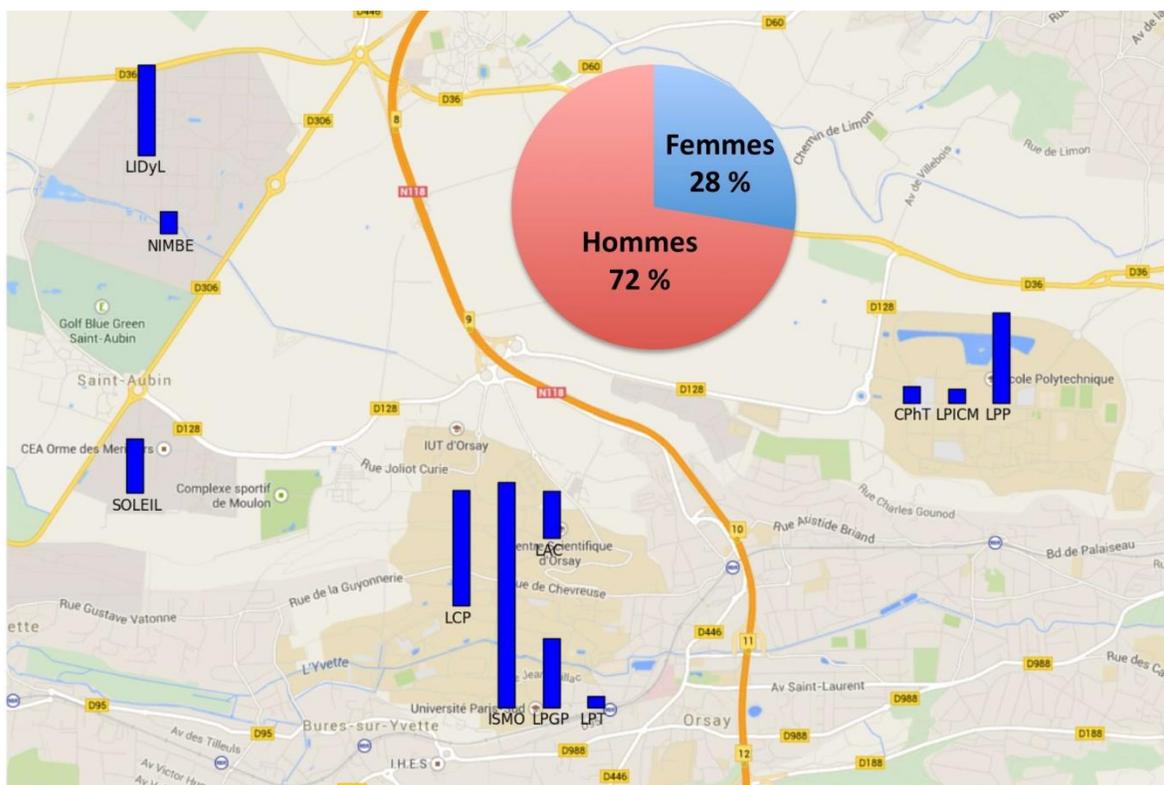


Figure 2 : Carte montrant la distribution géographique des unités. La taille des barres est proportionnelle aux ETP pondérés par le % d'activité dans le pôle 2. La distribution hommes/femmes intégrée sur le Pôle est également montrée.

La carte ci-dessus montre que les unités du pôle 2 sont rassemblées autour de 4 sites compris dans un disque de 5 km de diamètre : un site autour de Polytechnique (Palaiseau) centré sur l'activité « plasma » (on y trouve 3 des 4 unités dédiées sur ces objets) ; le site dominant d'Orsay vallée + plateau, dont le centre de gravité devrait basculer vers le plateau prochainement avec le déménagement de l'ISMO sur un site proche du LAC ; le site de St Aubin avec SOLEIL ; le site de Saclay avec les deux unités LIDyl et NIMBE.

La distribution Hommes/femmes est telle que les femmes occupent en moyenne sur le Pôle environ 28 % des ETP à rapprocher de 20 % de chercheuse dans la section 4 (InP) du CNRS et 35 % dans la section 13 (InC). De fait, le chiffre de 28 % pour le Pôle 2 cache de fortes disparités. En effet, si on trouve sans surprise les laboratoires les plus tournés vers la chimie (et la biologie) comme l'ISMO et le LCP dans le trio de tête (à 36 et 37 % de femmes), on trouve aussi 38 % de femmes au LPP, et notamment les responsables des deux équipes du LPP qui émargent au Pôle 2. La distribution complète par unité est présentée en Annexe 5.

Un volet important du recensement des forces en présence est relatif aux personnels scientifiques non-permanents (appelés dans la suite « jeunes ») : doctorants et post-doctorants (et ATER) qui dans beaucoup d'équipes constituent (ou devraient constituer) la cheville ouvrière, au sens noble du terme, de l'activité de recherche, et ce d'autant plus que les permanents sont mobilisés pour traquer les contrats de financements ou sont accaparés par des tâches

d'enseignements ou de service. Le dénombrement donne, à un instant donné (en moyenne sur 2010-2013) la présence dans nos unités de 88 jeunes chercheurs, soit un chiffre moyen de 0.66 jeunes/ETP_permanent, ce qui en soit est un chiffre faible surtout si on le compare à ce qui se fait dans d'autres pays (en gros tous les pays non latins) où la structure des équipes est beaucoup plus pyramidale. De fait, ce chiffre de 0.66 jeunes/ETP cache de fortes disparités comme on peut le voir sur la Figure 3 ci-dessous : les laboratoires de Palaiseau autour des plasma ainsi que le NIMBE autour des nanoparticules attirent plus de jeunes et parviennent mieux à les financer (via des contrats CIFRE notamment) sans doute du fait du caractère plus appliqué en général des recherche qui y sont menées. Ainsi, si l'on considère les 4 unités orientées plasma plus le NIMBE on aboutit à un chiffre de ~1.1 jeunes/ETP alors que la moyenne des 6 autres unités converge vers 0.5 jeunes/ETP, avec une valeur très faible de 0.37 jeunes/ETP pour l'ISMO qui impacte fortement la moyenne du pôle.

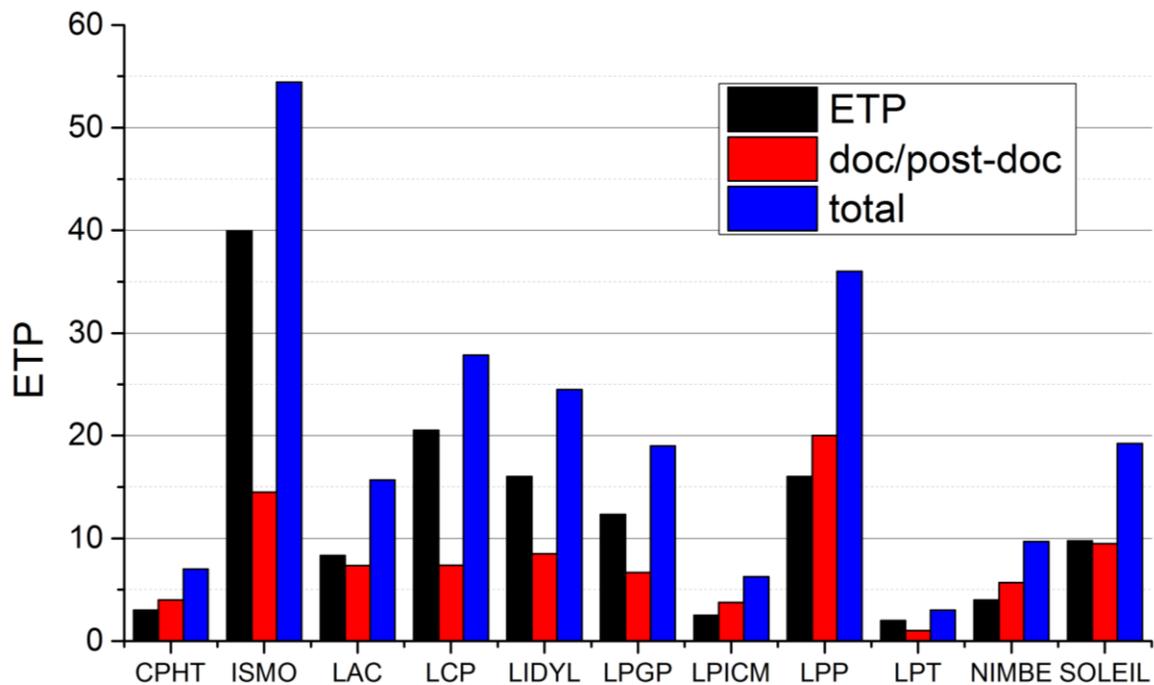


Figure 3. Ventilation du nombre de jeunes chercheurs (doctorants, post-docs) par unité.

2.3 La ventilation de l'activité par axes stratégiques

Après la ventilation géographique, il est intéressant de se pencher sur la ventilation thématiques des unités, déclinée selon les axes stratégiques 1, 2 & 3, sur la base des publications de l'ensemble du pôle rassemblées en un corpus de 1050 articles (cf § 3) et qui ont été une à une étiquetées sur un ou plusieurs axes. Ainsi on voit sur la carte ci-dessous que l'activité « plasma » (unités de Palaiseau + LPGP) est centrés sur les axes 2 & 3, l'ISMO est plus centré sur les aspects fondamentaux « structures » et « dynamique », et le NIMBE sur les thématiques « structures » et « applications ». D'autres laboratoires (LCP, LIDyL, SOLEIL, LAC) publient de façon relativement équilibrée autour des trois axes, même si au sein des unités il y a des fortes

disparités de ventilation par axes selon les équipes reflétant la diversité des thématiques abordées au sein de ces unités.

De façon plus globale, l'ensemble des publications se distribue de façon assez équilibrée entre les 3 axes, à 35 % sur l'axe 1, 41 % sur l'axe 2 et 24 % sur l'axe 3, alors que le personnel scientifique se répartie (de façon tentative et grossière), respectivement à 20 %, 43 % et 37 %. Au vu de ces chiffres on pourrait déduire que l'activité « axe 3 » est moins « efficace » en terme de publications que l'activité « axe 1 », ce qui pourrait s'expliquer par le fait que les recherches parfois plus finalisées au sein de l'axe 3 donnent lieu à moins de publications (et plus de brevets) que les axes plus fondamentaux (1 & 2). Le nombre absolu de publication par unité est donné en annexe 6 et ventilé par équipes en Annexe 7.

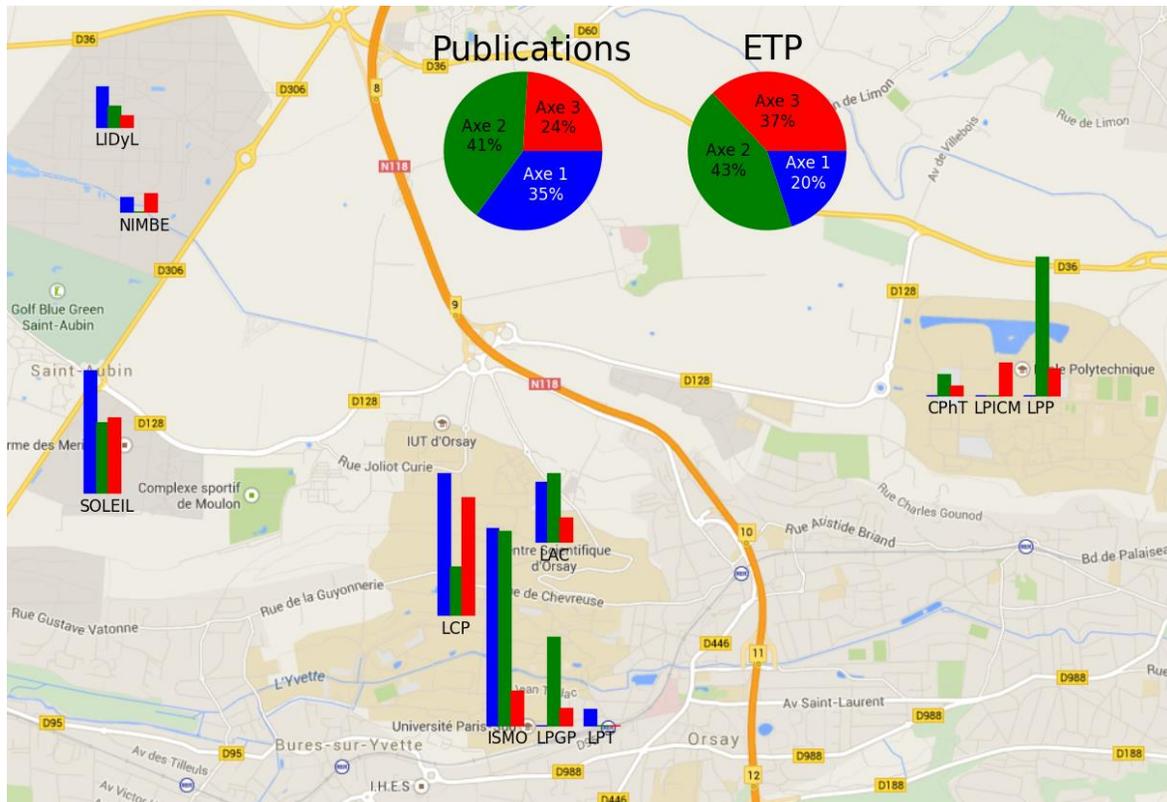


Figure 4 : Carte montrant la distributions des publications par axe pour les 11 unités ainsi que les ventilations globales par axes intégrées sur le pôle : publications et ETP.

2.4 La part des théoriciens

Comme mentionné plus haut, l'activité du pôle repose sur une forte composante de modélisation théorique souvent intriquée de près avec les expériences. Plus précisément, le recensement des activités montre que 32 % des ETP, c'est à dire de l'effort de recherche du pôle 2, sont d'ordre théorique avec en outre 66 personnes rattachées à l'action transverse théorie/simulation.

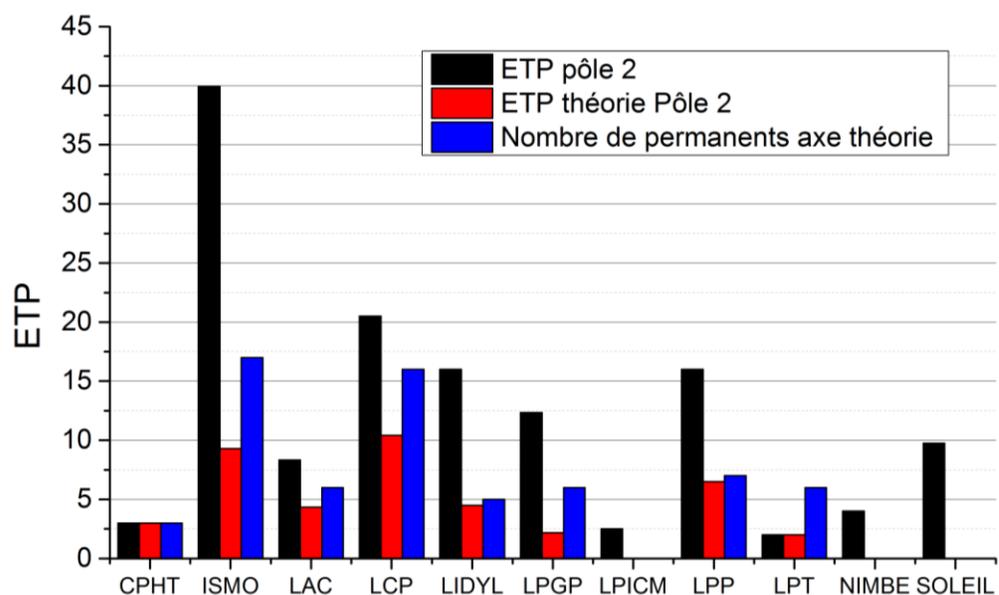


Figure 5 : ventilation par unités du nombre de théoriciens.

La ventilation de l'activité « théorie/simulation » par unité est visible sur la figure 5. Outre le CPhT (à 100 % sur la théorie) on note la forte activité relative dans ce domaine pour le LAC, le LCP et le LPP, et au contraire une absence totale de théoriciens dans des laboratoires plus tournés vers les applications (élaboration de matériaux/process) comme le NIMBE ou le LPICM, ou à SOLEIL par nature centré sur l'expérience.

2.5 Les actions de valorisation

Tableau 4 : synthèse des actions de valorisation par les équipes du Pôle 2

Unité	ETP	Total					Par ETP				
		Brevets	Licences	Start-ups	Thèses CIFRE	Contrats indus.	Brevets	Licences	Start-ups	Thèses CIFRE	Contrats indus.
ISMO	40	3	0	0	0	0	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
SOLEIL	9,75	2	0	0	0	0	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00
LCP	20,5	12	3	1	3	0	0,59	0,15	0,05	0,15	0,00
LIDyL	16	1	0	0	2	1	0,06	0,00	0,00	0,13	0,06
LAC	8,3	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LPT	2	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CPhT	3	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LPGP	12,3	5	1	0	3	11	0,41	0,08	0,00	0,24	0,89

LPP	16	6	2	2	2	3	0,38	0,13	0,13	0,13	0,19
LPICM	2,5	6	0	0	6	2	2,40	0,00	0,00	2,40	0,80
NIMBE	2,2	12	nc	2	1	7	5,45	nc	0,91	0,45	3,18

Le bilan de l'activité de valorisation, sur la période 2010-2013, par unité du pôle 2 est présenté dans le tableau 4 ci-dessus et les graphes correspondants sont reportés en annexe 8. Cette activité est très inégalement représentée parmi les différentes unités qui constituent le Pôle 2. Ainsi, les laboratoires plasmas et nanosciences sont naturellement plus actifs grâce à des thématiques plus portées vers les applications. De 5 à 12 brevets sont déposés en 4 ans par chacune de ces unités, et entre 2 et 11 contrats sont signés directement avec des industriels. Ramenés au nombre d'ETP, le recensement montre que certaines unités (et notamment le NIMBE et le LPICM) parviennent à combiner efficacement une activité de recherche fondamentale avec un lien fort vers les applications industrielles. On note également, sur l'ensemble du pôle, 5 start-ups créées sur la période et relevant des activités du pôle 2.

2.6 Les plateformes utilisées par les équipes du Pôle 2

Le plateau de Saclay abrite un ensemble assez exceptionnel de quatre plateformes de sources de lumières ouvertes aux utilisateurs internes et externes et qui intéresse directement la communauté du pôle 2 de PHOM, principalement pour les axes stratégiques 1 et 2, mais aussi pour l'axe 3. Ces quatre plateformes, dont la communauté des utilisateurs s'étend largement jusqu'à l'international sont : le Centre Laser Infrarouge d'Orsay (**CLIO**), le Centre Laser de l'Université Paris-Sud (**CLUPS**), le Saclay Laser-mater Interaction Center (**SLIC**) et le synchrotron **SOLEIL**.

CLIO est une infrastructure européenne gérée par le Laboratoire de Chimie Physique (LCP) d'Orsay. Cette installation a une gamme spectrale étendue couplée à de fortes puissances dans l'IR proche moyen et lointain (4-150 μm). Elle a également pour originalité de pouvoir coupler ce faisceau à des diagnostics à hautes performances (AFM, spectromètre de masse, spectroscopie optique non-linéaire).

Le **CLUPS** est géré par la fédération de recherche LUMAT et possède trois installations : le Centre de Photonique Biomédicale (CPBM), le Serveur Laser d'Orsay (SELA) et la plateforme LASERIX, seuls le SELA et LASERIX sont liés au pôle 2. Le SELA possède un ensemble de sources à haute résolution pulsées et synchronisées de durée ns et ps, couvrant une gamme allant de l'IR au VUV. LASERIX est une installation laser de puissance dédiée à la génération de rayonnement XUV cohérent de très forte intensité dans la gamme spectrale entre 10 et 100 nm. LASERIX est membre du réseau européen LASERLAB et partenaire du projet IDEX OPT2X. Elle est également partenaire de l'Equipex CILEX en lien avec les thématiques du pôle 4 de PHOM.

Le **SLIC** est une infrastructure européenne, intégrée dans le réseau LASERLAB et gérée par le LIDyL, qui possède 4 faisceaux laser intenses de durée fs. Ces faisceaux sont notamment utilisés

pour produire des sources intenses de rayonnement cohérent fs et même attoseconde dans le domaine X et XUV. Le SLIC est partenaire du projet OPT2X et également de l'Equipex CILEX. Le serveur d'ATTOLAB, en cours de construction, devrait être intégré à SLIC en 2016.

Le très grand instrument **SOLEIL** est un synchrotron de troisième génération de grande brillance et couvrant une large gamme spectrale allant de l'IR aux X-durs. 27 différentes lignes de faisceaux permettent de couvrir un très large domaine d'application. 5 lignes (AILES, DESIRS, DISCO, PLEIADES et GALAXIES) sont directement liées aux thématiques du pôle 2. Notons qu'une équipe, ayant ses propres thématiques de recherche, est associée à chaque ligne. SOLEIL est partenaire du projet OPT2X, d'ATTOLAB et également de l'Equipex CILEX.

Les quatre plateformes sont également fortement impliquées dans les thématiques développées au sein du labex PALM.

Tableau 5 : Synthèse du niveau d'utilisation des Plateformes par les équipes émargeant au Pôle 2 ; 0 : pas d'utilisation, 1: utilisation ponctuelle ou en cours de démarrage, 2: utilisation régulière

Laboratoires	Plateformes				Total
	CLIO	CLUPS	SOLEIL	SLIC	
CPHT	0	0	0	0	0
ISMO	2	2	2	2	8
LAC	0	0	0	0	0
LCP	2	2	2	1	7
LIDyL	0	2	2	2	6
LPGP	0	2	0	1	3
LPICM	0	0	1	0	1
LPP	0	0	1	0	1
LPT	0	0	0	0	0
NIMBE	1	0	2	0	3
SOLEIL	0	0	2	1	3
Total	5	8	12	7	

Sur le tableau 5 nous avons reporté le niveau d'utilisation des plateformes par chaque unité du pôle 2. On observe que la grande majorité des unités ayant des activités expérimentales utilise une, ou plusieurs, des 4 plateformes et notamment SOLEIL, c'est en particulier le cas de l'ISMO, du LCP et du LIDyL. On note également plusieurs utilisations en cours de démarrage, ce qui préfigure un accroissement de l'utilisation par la communauté pôle 2 des plateformes notamment, mais pas uniquement, dans le cadre des projets OPT2X/ATTOLAB.

2.7 Capacité à obtenir des contrats

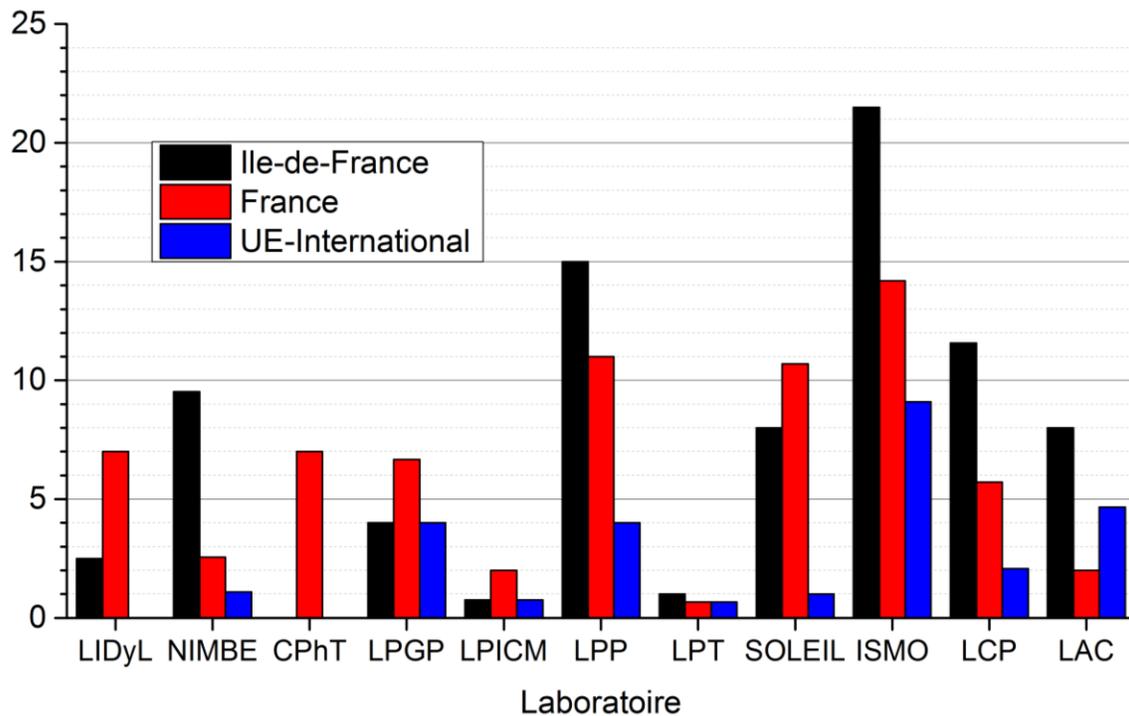


Figure 6 : nombre pondéré par le % d'implication des la Pôle 2, des contrat obtenus par les différentes équipe constituant le ^Pole 2 sur la période 2010-2013.

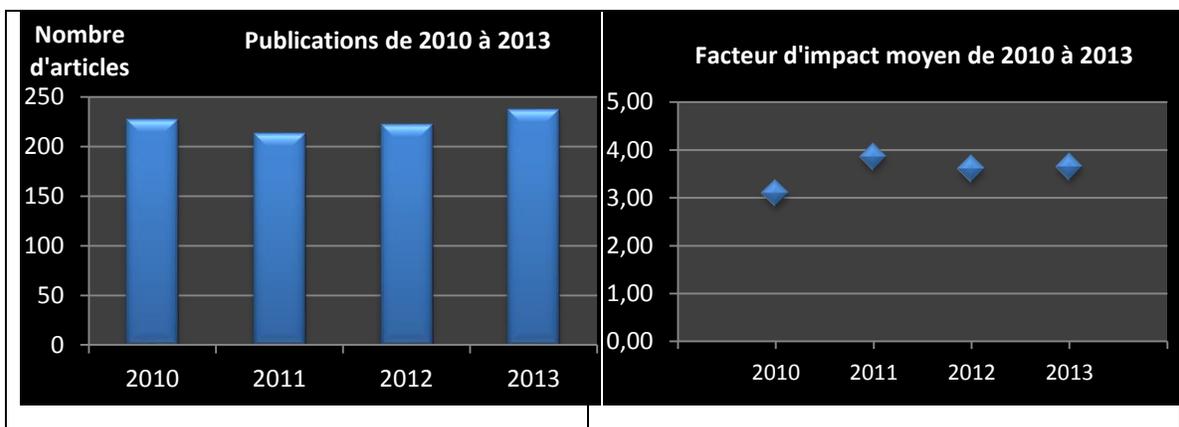
Sur la figure 6, sont présentés le nombre de contrats (non industriels) obtenus par les différentes équipes émergeant au Pôle 2 (pondéré par les % d'implication dans le pôle 2), ventilé sur différentes échelles spatiales : Ile-de-France (RTRA, Région IdF, Labex, autres financements en ex, ..), France (ANR), Monde/UE (FP7/H2020, ERC, PHC, PICS...). On remarque l'importance de l'activité contractuelle à toutes les échelles, avec en général une tendance à la décroissance du nombre de contrats avec la taille de l'échelle géographique considérée. Une des opportunités offertes par Paris-Saclay réside dans les synergies potentielles au sein de PhOM qui sont de nature à favoriser l'accroissement des ressources liées aux appels d'offre internationaux.

3. Bibliométrie : Analyse sur la période 2010-2013

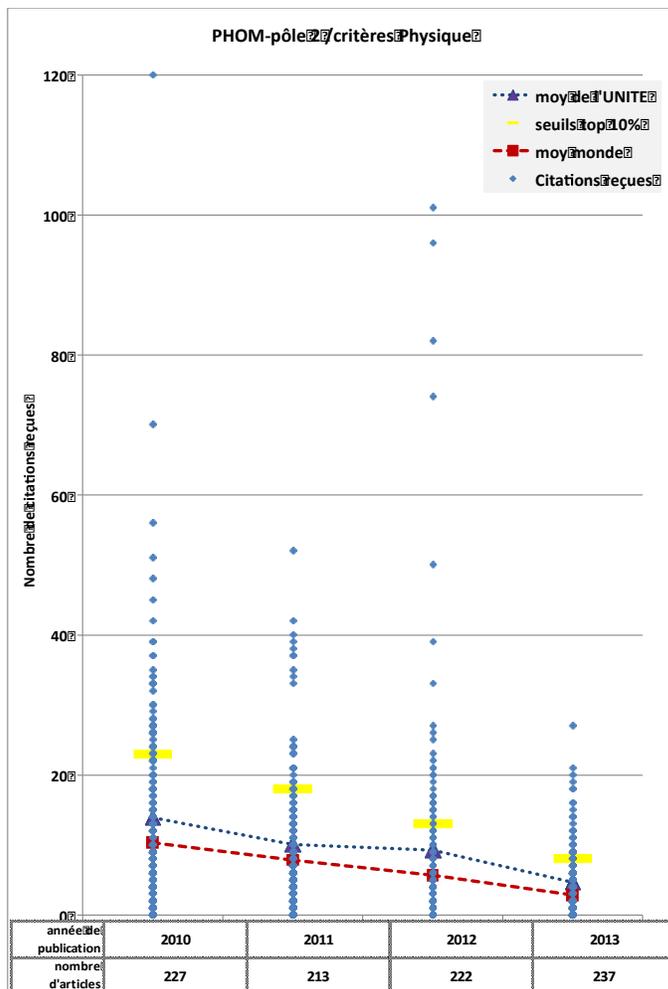
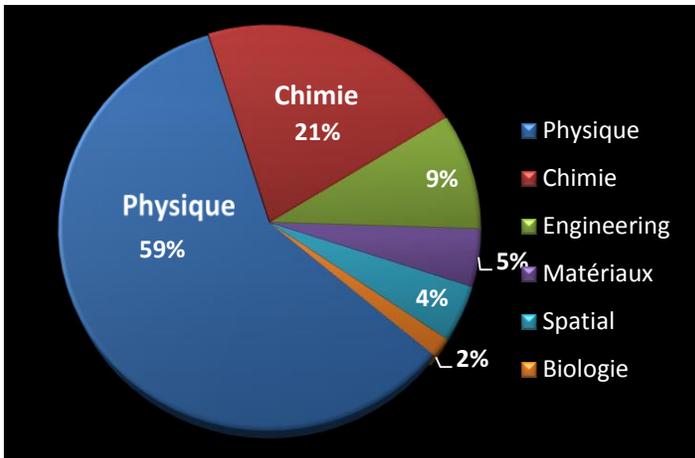
3.1 Données quantitatives globales

Des fichiers complets de publications, comportant leur référence wos, ont été établis pour chacune des 11 unités du Pôle. Pour chaque unité, les références ont été associées à une (ou plusieurs) équipe(s) et à un ou plusieurs axes stratégiques (1, 2 ou 3). L'ensemble de ce corpus de publication a été transmis à la cellule IST du CEA (dirigée par M.-A. Leriche) pour une analyse bibliométrique standard dans un premier temps, puis « sur mesure » avec des requêtes spécifiques dans un second temps.

En tout 1050 publications ont été recensées avec une ventilation par axe et par unité visible en annexe 5 (+ figure 4). Une fois retirée quelques publications hors période 2010-2013 et quelques articles d'erratum, nous avons considéré pour l'analyse un corpus de 1035 publications, ce qui donne une moyenne de 7.8 publications/ETP sur 4 ans. Ensuite ont été ôtés de la liste 134 articles en doublons, triplons... (apparaissant dans les listes de publications de 2, 3 unités ou plus), conduisant à analyser un corpus de 901 publications uniques.



Les données intégrées sur les axes et en fonction du temps montre une certaine stabilité dans la production scientifique, tant en volume qu'en qualité, avec un facteur d'impact moyen de 3,56. La ventilation des thématiques auxquelles sont rattachées les revues dans lesquelles nous publions est donnée ci-dessous avec sans surprise une dominante pour la physique à 59 % suivi de 21 % pour la chimie. A noter que ces chiffres sont extrêmement proches de la distribution par discipline des publications de l'ensemble de l'INP du CNRS.



Du fait de la claire dominante « physique » il est légitime pour se comparer à la performance mondiale de se référer aux critères de taux de citation du domaine de la physique. De la comparaison avec ce référentiel, il ressort comme on le voit sur la figure ci-dessus que le taux de citation des publications du pôle 2 est toujours supérieur à la moyenne mondiale. L'analyse fine du

nombre de citation montre qu'en moyenne sur les 4 années de la période 2010-2013, 16 % de nos publications font partie des top 10 % des articles les plus cités de par le monde, ce qui nous semble très satisfaisant. On trouvera en annexe 9 la liste des 14 publications les plus citées émanant du pôle 2.

L'analyse de la performance par axe stratégique est intéressante et peut se faire sur les données intégrées dans le temps (les volumes annuels sont trop faibles pour être statistiquement significatifs).

Ainsi le tableau ci-dessous montre que l'axe 1 semble quelque peu au-dessus des deux autres en terme d'excellence scientifique, telle qu'elle peut être évaluée d'après les facteurs d'impact moyens des revues correspondantes et la part de publications dans le top 10%. Ceci est d'autant plus remarquable que d'après les données de la figure 4, le nombre d'ETP impliqués dans ces publications est proportionnellement plus faible que pour les deux autres axes.

Axe Stratégique	IF_moyen	Part des articles dans le top 10%
Axe 1	4,3	17,5
Axe 2	3,4	15,5
Axe 3	3,6	15,5

3.2 Analyse fine des réseaux d'auteurs

Dans le cadre de la structuration du paysage de la recherche par l'émergence de l'Université Paris-Saclay, avec une politique de site que l'on souhaite très volontaire, il nous a semblé important de nous pencher sur le réseau de collaborations existantes au sein du Pôle 2 de PhOM. Ainsi, 134 publications apparaissent sur les liste de publication de plusieurs unités, ce qui montre un pourcentage de co-publications (à 2, 3 ou plus unités) à l'intérieur du pôle 2 de l'ordre de 13 %, ce qui nous semble le signe d'une bonne intégration des unités au sein du pôle, même si l'essentiel des co-publications se fait avec l'extérieur (hors pôle 2, hors IDEX en France ou ailleurs).

De fait, ce taux de co-publication moyen cache de réelles disparités entre les unités qu'il nous a paru important d'analyser. Pour ce faire nous avons considéré un corpus de 95 co-publications uniques (134 co-publication moins les doublons/triplons de publications à 3 unités ou plus). L'analyse du taux de co-publication intra-pôle 2 par unité (nb de co-publication / nb de publications totales de l'unité) conduit au tableau suivant :

Unités	ISMO	SOLEIL	LCP	LIDyL	LAC	LPT	CPhT	LPGP	LPP	LPICM	NIMBE
Taux co-publi (%)	27	39	28	34	4	0	4	1	6	26	0

Sans surprise, c'est SOLEIL qui montre le plus fort taux de co-publications et donc d'intégration au sein du pôle, ce qui est naturel pour un TGIR dont une des vocations premières est de structurer et de rassembler la communauté autour d'instruments de pointe partagés. Il est d'ailleurs à noter que les 6 auteurs qui co-publent le plus sont liés à SOLEIL de façon directe (chercheurs permanents ou associés forts). Viennent ensuite le LIDyL, le LCP et l'ISMO puis le LPICM. Le LAC, CPhT et LPP semble connectés de façon marginale au reste du pôle, alors que le LPT et le NIMBE ne tissent aucun lien de co-publication avec les autres unités. A noter que globalement le nombre de co-publications au sein du pôle 2 est en augmentation constante sur la période 2010-2013, signe d'une intégration croissante, sans doute du fait d'actions structurantes type « triangle de la physique » qui conduisent à des co-publications entre les partenaires de l'action (avec un certain retard par rapport au début du contrat). Soulignons enfin du point de vue thématique que sur les 95 co-publications, 67 relèvent de l'axe stratégique 1, 46 de l'axe 2 et 56 de l'axe 3. Il semble donc que l'axe stratégique 1 soit le plus structurant de la communauté.

Plus intéressant encore est la carte du réseau de co-publications ci-dessous, qui montre que le cœur du réseau est constitué de 4 laboratoires en réelle interaction SOLEIL, ISMO, LCP et LIDyL, dont le LAC se tient à la marge et dont le NIMBE et le LPT sont tout simplement absents. On note l'isolement quasi-total du pôle plasma dont les deux poids lourds LPGP et LPP ne co-publent pas ensemble et qui sont quasi-totalement déconnectés des autres laboratoires non-plasma. Seules des interactions inter-plasma LPP/LPICM sont notables. Nous reviendrons plus loin sur cet isolement marqué des thématiques plasma et nanoparticule par rapport au reste du pôle 2 que l'on essaiera de palier avec l'axe tactique n°3.

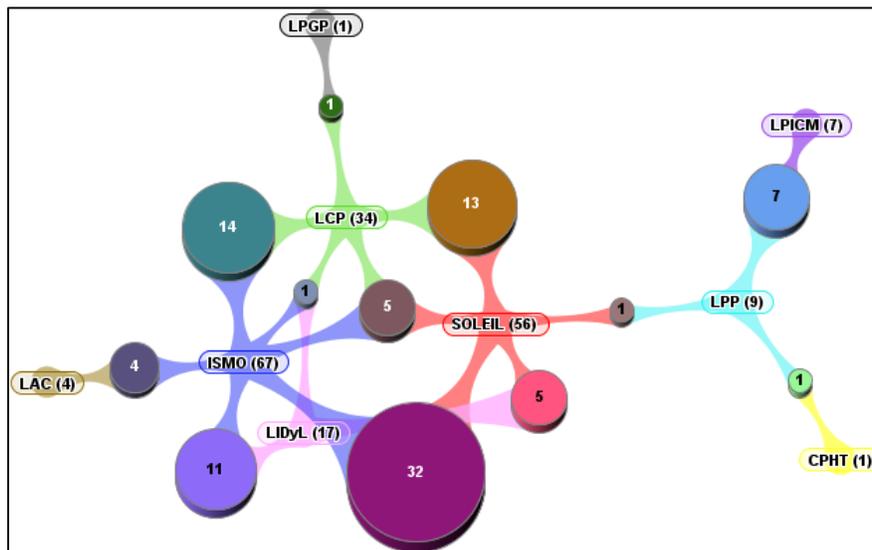


Figure 7: Réseau de co-publication au sein du pôle 2 sur la base de 95 articles uniques co-publiés. La taille des disques est proportionnelle au nombre de publications entre les unités A et B. Le LPT et le NIMBRE ne co-publiant pas ne sont pas représentés.

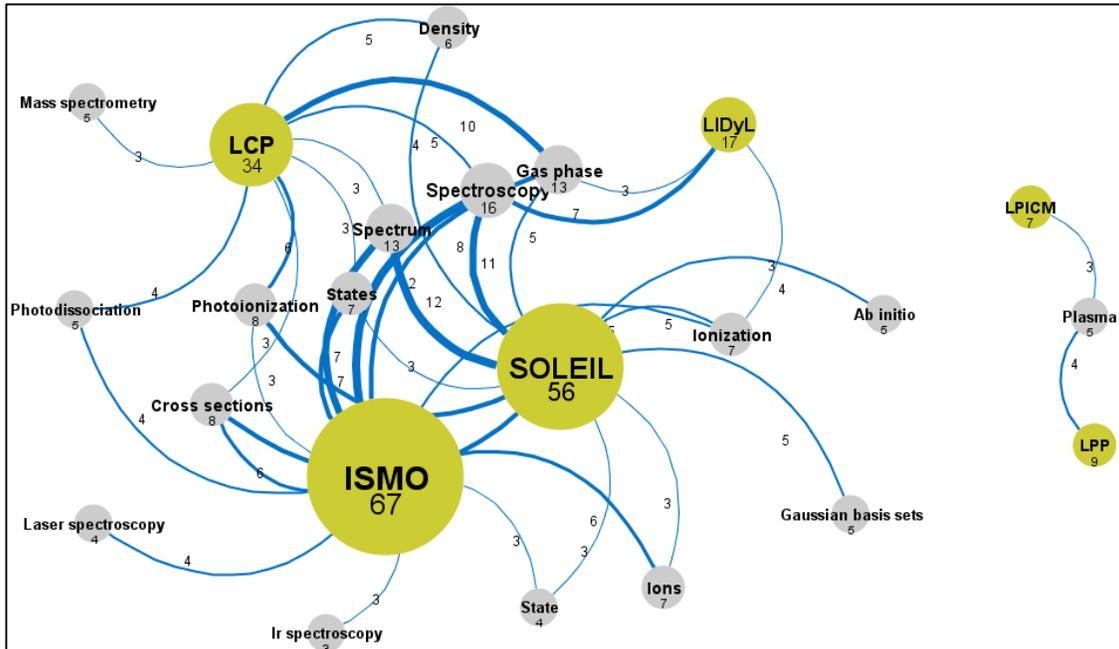


Figure 8 : réseau de co-publication au sein du pôle 2 montrant les thématiques (mots-clés) structurantes. La taille des disques est proportionnelle au nombre absolu de co-publications de chaque unité. Le LPT et le NIMBE ne co-publiant pas ne sont pas représentés. De même que le LPGA, le LAC et le CPHT dû au trop faible nombre d'occurrence (1 co-publication chacun).

La Fig. 8 montre le nombre absolu de co-publications avec notamment l'ISMO et SOLEIL en position centrale puis le LCP suivi du LIDyL. Les thématiques associées sont ici repérées sous forme de mots-clés. Parmi les mots-clés structurants dominants, donc liés à une co-publication, on trouve « spectroscopie/spectre » que l'on peut assez directement attribuer à l'axe stratégique 1, et un ensemble de terme du type « photodissociation », « photoionisation » et « sections efficaces » qui sont à rapprocher de l'axe stratégique 2. L'isolement des unités plasma/nanoparticules est patent.

Finalement la distribution complète de publications (sur l'ensemble du corpus des 11 unités) est visible sur la figure 9, montrant sous une autre forme la forte intégration ISMO/SOLEIL/LCP/LIDyL, et l'isolement relatif des 7 autres unités.

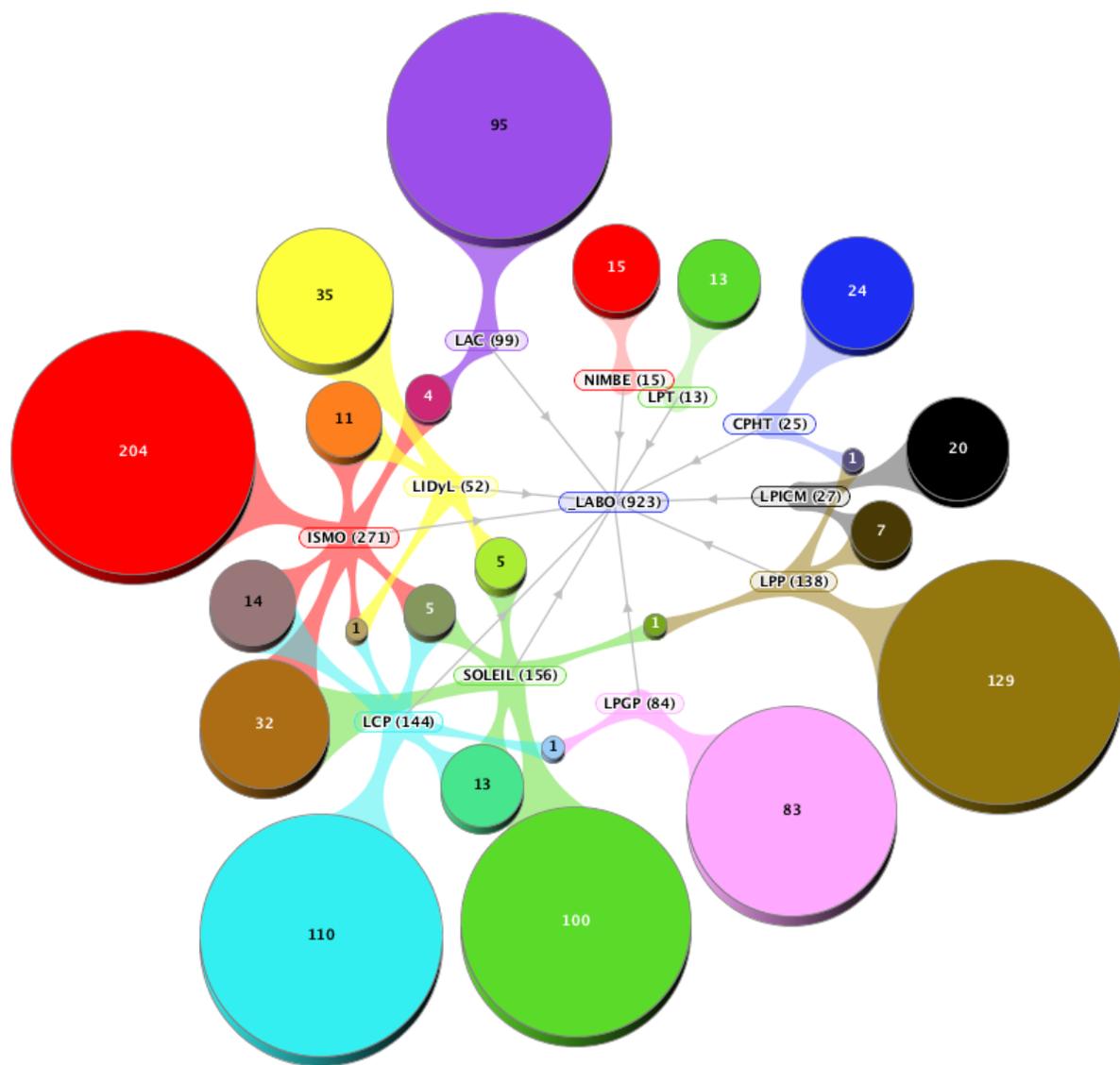


Figure 9 : Distribution complète de publications (sur l'ensemble du corpus des 11 unités). Les nombres indiquent le nombre total de publication (près du nom de l'unité) et les co-publications.

Au delà des interactions et co-publications à l'intérieur du Pole 2, il est intéressant d'examiner les stratégies de collaboration, au travers des co-publications, avec des équipes situées à l'extérieur du Pôle 2. Idéalement il faudrait chiffrer le taux de publication avec des équipes à tous les niveaux : Périmètre IDEX hors pôle 2, Ile-de-France hors IDEX, France hors IdF, UE28 (hors France), monde hors UE28. Hélas pour des raisons techniques de faisabilité dans un temps raisonnable, il n'a pas été possible d'analyser les 3 premiers niveaux géographiques. Nous fournissons donc ci-après un tableau de chiffrage, toujours sur la période de 2010-2013, de ventilation des 1047 publications aux niveaux UE28 et monde.

Plus précisément, le tableau 6 donne le nombre et le pourcentage de publications des équipes du Pôle 2 de chaque unité, co-publiées avec *au moins* une autre équipe ayant une affiliation européenne (UE 28 hors France), et co-publiées avec *au moins* une autre équipe ayant une affiliation internationale (hors UE28).

Tableau 6 : Nombre et le pourcentage de publications des équipes du Pôle 2 de chaque unité co-publiées avec une équipe étrangère.

unité	publications	UE 28	Monde (hors UE 28)	% UE 28	% Monde (hors UE 28)
SOLEIL	156	80	55	51 %	35 %
NIMBE	15	0	2	0 %	13 %
LPT	13	2	1	15 %	8 %
LPP	139	33	44	24 %	32 %
LPICM	27	1	3	4 %	11 %
LPGP	86	39	14	45 %	16 %
LIDyL	50	21	18	42 %	36 %
LCP	144	83	34	58 %	24 %
LAC	103	39	40	38 %	39 %
ISMO	287	109	98	38 %	34 %
CPhT	25	3	10	12 %	40 %
TOTAL	1047	410	319	39 %	30 %

Le pourcentage de co-publications européennes et internationales est assez variable selon les unités, avec aussi des poids respectifs UE28 vs monde eux aussi très variables, reflétant sans doute des dynamiques propres à chaque thématique (Ex : LPGP très axé UE, et CPhT très axé monde). On note certaines unités très orientées sur l'international (SOLEIL, LIDyL notamment), d'autres beaucoup moins comme le LPT, le LPICM et le NIMBE. Pour ces deux dernières unités, le caractère national des collaborations reflété par les stratégies de publication, est lié à la recherche d'une certaine « confidentialité » avec une limitation volontaire des collaborations au niveau national. Globalement l'ensemble du Pôle 2 a en moyenne un taux de publications de 39 % pour les collaborations européennes et de 30 % pour les collaborations mondiales (hors UE 28), ce qui démontre une visibilité et implication internationale certaines en plus des collaborations au sein du pôle 2.

4. Analyse SWOT Globale

A partir des aspects SWOT des fiches labos (sur une base AERES notamment), de l'état des lieux semi-quantitatif et de l'analyse bibliométrique, nous avons pu établir l'analyse SWOT de synthèse ci-dessous. En bleu figurent les items spécifiques au Pôle 2. Les autres items, en noirs, ne sont pas spécifiques au Pôle 2 mais lui sont néanmoins applicable et fortement ressentie par les membres du bureau du Pôle 2.

Forces :

Excellence scientifique et ouverture pluri-disciplinaire : Les activités de recherche menées au sein du pôle 2 du PhOM s'étendent sur un large champ disciplinaire, bien interfacé avec les communautés scientifiques des Sciences de l'Univers, des Sciences de la Vie, et de la Chimie. Les travaux menés sont de nature fondamentale mais se prêtent également dans une certaine mesure à des actions de valorisation, d'ordre économique ou sociétal telles que l'environnement (atmosphères), l'énergie, la santé (nano-objets aux propriétés contrôlées). Les forces en présence permettent de couvrir de façon cohérente un large spectre de thématiques. Les activités de recherche sont menées au plus haut niveau, avec de nombreuses thématiques phares clairement identifiées et reconnues sur le plan international. Ainsi 16 % des publications du Pôle 2 font partie du top 10 % des publications les plus citées de par le monde. Ce chiffre atteint notamment 17.5 % pour l'axe stratégique 1 avec un facteur d'impact moyen de 4,3.

Un environnement scientifique exceptionnel : A la richesse des compétences et expertises de la communauté scientifique rassemblée dans le pôle 2, s'ajoute un environnement scientifique exceptionnel, d'une part du fait la taille et la diversité de la communauté scientifique du périmètre de l>IDEX, couvrant tous les champs de la recherche scientifique. De l'autre, du fait des installations instrumentales disponibles de tout premier plan et bien souvent uniques. Le développement d'installations innovantes à toutes les échelles, allant du bâti expérimental aux grands instruments en passant par des plateformes modulables largement utilisées et qui répondent aux besoins de la communauté. On note par exemple l'aspect très structurant d'un TGIR comme SOLEIL souvent au cœur du réseau de collaboration intra-pôle 2. Sur le plan théorique, une grande variété de méthodes est développée et l'importante communauté des théoriciens, qui représentent en moyenne 32 % des ETP du Pôle, bénéficie des ressources de calculs nécessaires. Ainsi une remarquable synergie opère entre théorie et expérience, un point clés pour les activités couvertes par le pôle.

Une communauté déjà assez structurée : La communauté scientifique du pôle 2 du PhOM est déjà bien structurée, cette structuration étant le fruit d'un fort investissement d'animation scientifique réalisé ces dernières années, notamment au travers du RTRA « Triangle de la physique » (essentiellement le thème 2), du Labex PALM (thème 3), des fédérations de recherche (LUMAT, Chimie-Physique), PRES Universud (pôle planétologie). Les collaborations au niveau local ont ainsi été initiées et favorisées. Ainsi le taux de co-publication de 13 % nous semble le signe d'une communauté déjà bien intégrée, notamment pour ce qui concerne l'axe stratégique 1. Au cœur de ce réseau on trouve l'ISMO, le LCP SOLEIL et le LIDyL. S'ajoute un fort réseau de collaborations nationales (ANR, GdR, programme de l'INSU) et internationales (Collaborations bilatérales, EU).

Une communauté en prise avec la formation des étudiants : Les acteurs du pôle 2 du PhOM participent activement à la formation par la recherche en encadrant de nombreux stagiaires (Licence, Master) et doctorants. Nous émergeons (HDR) notamment aux Ecoles Doctorales EDOM, EDPIF, EDI et 2MIB. Par ailleurs, nous sommes fortement impliqués dans de multiples filières d'enseignement en pleine évolution dans le contexte de Paris-Saclay. C'est notamment le cas bien sûr des enseignants-chercheurs qui sont présents dans un grand nombre d'équipes (sauf au CEA et à SOLEIL) assurant ainsi une bonne visibilité vis à vis des étudiants. Nous sommes notamment directement impliqués dans les Masters de Chimie et de Physique de Paris-Saclay.

Certaines thématique avec un fort potentiel de valorisation : C'est notamment le cas de l'axe stratégique 3, dont certaines thématiques très dynamique sont orientées vers les applications et la valorisation avec un fort taux de brevet et de création de start-up autour des plasmas et des nanosciences notamment, à travers un réseau de collaborations entre milieux académiques et industriels, mettant en valeur le continuum de recherche du plus fondamental vers la recherche très finalisée qui est menée au sein du pôle (des axes 1&2 vers l'axe 3 notamment). La valorisation s'inscrit en priorité dans les objectifs de certaines équipes du Pôle, et ce qui a mené en particulier à la création de plusieurs start-ups. Des dispositifs originaux complets sont conçus et réalisés, tant pour l'élaboration d'objet et réacteurs, que pour le développement de techniques de diagnostic performantes.

Faiblesses :

Une communauté hétérogène : Comme le montre clairement l'analyse bibliométrique, et notamment l'analyse du réseau de co-publications, autant la communauté gravitant autour des atomes/molécules neutres (ou sous forme d'ions) en phase gaz semble bien intégrée (notamment au sein du réseau SOLEIL/ISMO/LIDyL/LCP), autant la communauté plasmas et nanoparticules (NIMBE) semble quasiment totalement découplée du reste de la communauté. Même au sein de la communauté plasma (LPP/LPCIM/LPGP/CPhT) les collaborations sont très peu nombreuses, toutes ces unités semblant beaucoup plus tournées vers l'extérieur (France, Europe, Monde) traduisant un clair isolement au niveau local auquel l'émergence de Paris-Saclay doit remédier, et c'est là une des motivations de l'axe tactiques 3.

Des moyens humains en déclin : La population d'acteurs de la recherche est en pleine mutation. Avec la diminution du nombre de personnels permanents (chercheurs et techniciens) et l'érosion du nombre de contrats à durée déterminée, certaines thématiques devront être abandonnées, ce qui induira un certain morcellement des activités de recherche. **Le nombre de jeunes chercheurs (doctorants et post-doc) est particulièrement inquiétant s'établissant en moyenne au sein du Pôle 2 à 0.66 jeune/ETP (et 0.5 jeune/ETP hors plasma/nanoparticules), très loin des standards étrangers et notamment anglo-saxons.** Le socle de compétences diminué ne permettra plus de répondre à la flexibilité thématique imposée par le système des contrats de financement. Les institutions se retrouvent face à des difficultés structurelles de fonctionnement.

Un certain manque d'attractivité : Le site Paris Saclay doit gagner en attractivité pour attirer les personnels qualifiés de tout niveau (techniciens et agents administratifs, étudiants, doctorants, post-doctorants, chercheurs, enseignants-chercheurs) au plan national et international. Les

salaires et les perspectives de carrière proposés ne sont pas en rapport avec les difficultés inhérentes à la vie en région parisienne (difficulté de transport, niveau de vie). A noter que pour l'heure le site du plateau de Saclay souffre d'un réel problème d'accessibilité et de circulation qui ne devrait s'améliorer que sur le long terme (Grand Paris). Le site souffre aussi d'une absence quasi-totale de lieux de vie (sociale, culturelle, sportive...) ce qui nuit grandement à son attractivité par rapport à de nombreux campus à l'étranger notamment.

Une visibilité brouillée : Au delà de l'excellence scientifique reconnue, la visibilité nationale et internationale de notre communauté souffre d'une structuration administrative imbriquée encore trop complexe. Cela complique également la lecture que les jeunes étudiants peuvent avoir du paysage académique et des perspectives qu'il offre.

Menaces :

Une baisse des financements : L'accès aux financements est bien sûr un point clé pour le bon fonctionnement notre communauté, tant au niveau matériel (investissement, fonctionnement) qu'au niveau des ressources humaines. [La baisse constante du pourcentage de succès aux programmes de financement de type « blanc » \(de l'ANR par exemple\) est particulièrement inquiétante du fait de la nature très fondamentale d'une large partie de notre activité, notamment autour des axes stratégiques 1 & 2 qui souvent ne peuvent émerger qu'à ce type d'appel d'offre. De même la stratégie très axée sur l'aval de la science de l'agenda H2020 de l'UE rend extrêmement difficile l'accès aux financements de réseaux type ITN-Marie Curie qui étaient nettement moins fléchés vers le partenariat avec les industriels dans les précédents programmes de l'Union et participaient ainsi aux financements des doctorants.](#) De fait, la baisse des enveloppes budgétaires observée est accompagnée d'un alourdissement des procédures, d'une augmentation de la pression des demandes, et d'une diminution des opportunités de collaborations externes (suite aux regroupements). En particulier, une certaine incertitude s'installe quant au fonctionnement optimal, l'entretien et l'avenir de certains équipements instrumentaux et ressources de calculs.

Une activité parfois morcelée et fonctionnant par à-coup : Le morcellement des travaux de recherche en multiples contrats et l'orientation des sujets par l'aval (par exemple dans la perspective d'applications industrielles développables à court et moyen terme) menacent la progression des avancées scientifiques à long terme, seule garante d'un continuum fluide de l'amont vers l'aval de recherche. Beaucoup d'énergie est déployée pour répondre à la démultiplication et l'ampleur des projets à gérer afin de faire face au dynamisme de la concurrence internationale.

Un manque de vocation : [La menace de désaffection des jeunes pour les carrières scientifiques, et notamment celles qui touchent à la physique, se fait clairement ressentir par notre communauté.](#) Ce mouvement devrait être endigué par l'émergence d'un pôle scientifique solide et pérenne issu des restructurations successives entreprises qui viendrait non seulement stimuler l'intérêt des (futurs) jeunes scientifiques pour nous rejoindre, mais aussi renforcerait encore l'attractivité nationale et internationale de notre communauté, permettant de faire face à la concurrence d'autres sites, aux Etats-Unis ou en Chine par exemple, où les vocations de jeunes scientifiques et les financements afférents ne manquent pas.

Opportunités :

Une meilleure structuration de la communauté via des réseaux de collaboration en expansion : La communauté scientifique du pôle 2 de PhOM est naturellement positionnée aux interfaces avec de nombreux champs disciplinaires (chimie, SdV, SPU, EOE) pour lesquels elle est une force de recherche amont à travers un large réseau de collaborations (externe au pôle 2) qui ne peut que s'étoffer dans la perspective de la mise en place de l'Université Paris-Saclay. La nouvelle échelle de structuration de la communauté atteinte avec la naissance de Paris-Saclay représente également un gisement extrêmement riche de collaborations internes au sein du Pôle 2 et au-delà au sein du GT PhOM. Bien entendu, la mise en place de moyens spécifiques supplémentaires par l'Université de Paris-Saclay, tel qu'elle est formulée au travers des trois axes tactiques proposés, aura dans ce domaine un fort effet de levier.

Des opportunités de valorisation : Notre communauté se trouve également devant un très large champ d'applications à développer, bénéficiant en particulier de l'essor des applications dans les domaines de l'énergie, technologies de l'information, environnement, aérospatial et du biomédical. Les liens forts entre l'industrie et certaines équipes du pôle favoriseront le transfert technologique. La synergie avec l'action transverse « valorisation » du GT PhOM devrait être profitable.

Des plateformes/grands équipements accessibles et structurants : La facilité d'accès aux nombreuses plateformes, dont certaines en développement via des EQUIPEX/LidEx (ATTOLAB/Opt2X), et grands instruments présents sur le site de Paris-Saclay permettra le développement d'expériences uniques, et d'outils de simulation performants et novateurs. Ce sont des outils réellement structurants pour notre communauté.

Des opportunités nouvelles au sein du programme H2020 : A travers le pilier « excellence scientifique » la nouvelle structuration des équipes au sein du Pôle 2 de PhOM devrait permettre d'apparaître plus fort et plus unis pour les actions H2020 de type FET et Marie-Curie, avec un seul « nœud » Paris-Saclay, offrant tout le continuum de la recherche la plus fondamentale à la plus appliquée avec le lien afférents avec les industriels, alliant, au sein du même nœud, l'excellence scientifique avec la capacité d'innovation.

Un aménagement immobilier favorable : Les développements immobiliers, tels que le déménagement de l'ISMO sur le plateau, accompagnant la naissance de Paris-Saclay permettent un regroupement d'une partie des personnels et l'installation des équipes de recherche dans des locaux mieux adaptés et sur un périmètre plus ramassé. L'intrication entre la recherche et l'enseignement est en particulier soulignée par le biais de la mise à disposition de locaux d'enseignement modernes de proximité.

Une mobilité des personnels facilitée : Les perspectives de mobilité et de promotions des personnels scientifiques et techniques au sein du périmètre inter-organisme de Paris-Saclay devraient permettre une meilleure fluidité des carrières et à ce titre renforcera l'attractivité du pôle scientifique naissant.

5. Propositions d'actions structurantes / axes tactiques

Sur la base de l'analyse SWOT globale décrite plus haut, et suite à de nombreuses discussions au sein du bureau (approche top/down), au sein des laboratoires, puis en interaction avec la communauté scientifique du pôle 2 notamment lors d'une réunion d'information/discussion en bureau élargi qui s'est tenue le 9 mars 2015 avec les contacts- thématiques/responsable d'équipe (approche bottom-up), nous présentons ci-dessous trois axes tactiques de recherches avec les actions structurantes afférentes :

- **Axe tactique 1 : Structure des édifices moléculaires faiblement liés**
Equipes notamment impliquées : ISMO (A, C, D, E), LAC (Agnano, Theomol), LCP (RISMAS, THEOSIM, BIO), LIDyL (DYR, SBM), NIMBE, SOLEIL (Ailes, Desirs, Disco, Pleiades)
- **Axe tactique 2 : Dynamique ultra-rapide en phase diluée**
Equipes notamment impliquées : ISMO (A, B, C, D), LAC (theomol, ioneg, Superex), LCP (THEOSIM), LIDyL (DYR, SBM, ATTO), SOLEIL (Desirs, Pleiades, Galaxie), LPGP-LUMAT/CLUPS/LASERIX
- **Axe tactique 3 : Des processus élémentaires aux systèmes réactifs hors-équilibre**
Equipes notamment impliquées : LPP (Plasmas Froids), LPGP (DIREBIO, TMP-D&S, DEA) ISMO (A,C,E), LPICM (Nanosil), LAC (Theomol, Ionneg, Superex), LCP (Rismas, Theosim), NIMBE

Comme leur nom l'indique, ces axes représentent des pistes de recherche à explorer à court/moyen terme. Ils s'inscrivent respectivement dans les axes stratégiques 1, 2 et 3 mais couvrent un champ plus étroit, si bien que l'ensemble de la communauté du pôle 2 ne sera pas forcément concerné par les actions afférentes à ces trois axes. Nous avons été guidé dans la définition de ces axes par la volonté de renforcer rapidement l'excellence et de stimuler le potentiellement excellent et ce dans un cadre structurant pour notre communauté.

L'analyse SWOT déclinée sur ces axes tactiques montre qu'une de nos faiblesses réside dans le manque de jeunes chercheurs (doctorants, post-docs) et notamment sur des axes de recherches assez fondamentaux. Ce manque, souligné dans de nombreux rapports AERES des unités du pôle, est en partie dû à la baisse des financements blancs nationaux (type ANR) et internationaux (type ITN-H2020). Il se fait cruellement ressentir du fait que les chercheurs permanents, même en début de carrière, sont de plus en plus sollicités par la recherche de contrats de financement (sans parler de l'enseignement ou des tâches de services) au détriment du travail de laboratoire.

Les demandes de financement pour les 3 axes tactiques portent toutes donc sur un financement d'un pool de jeunes chercheurs (thèse de 3 ans et/ou post-docs de deux ans) dont le sujet de recherche devra être structurant et impliquer au moins deux équipes du pôle. Dans la mesure du possible et à compétence égale on favorisera la candidature de jeunes chercheuses afin de rééquilibrer le ratio hommes/femmes.

Les trois axes tactiques que nous proposons sont décrits ci-après sous forme de fiches-projets de deux pages. Sur la base de l'état des lieux semi-quantitatif (§2), de la analyse bibliométrique (§3) et de l'analyse SWOT globale (§4), les arguments qui nous poussent à promouvoir ces axes tactiques sont les suivants :

- Axe tactique 1 : Structure des édifices moléculaires faiblement liés
 - Excellence scientifique au regard de l'analyse bibliométrique (FI moyen, part de publication dans le top 10 %).
 - Communauté déjà intégrée au niveau du pôle qui a déjà démontré sa capacité de synergie. C'est ainsi l'axe le plus structurant au regard des co-publications.
 - Un manque de jeunes chercheurs particulièrement marqué, souligné par l'AERES.
 - Pas vraiment d'opportunités de financements via PALM.

- Axe tactique 2 : Dynamique ultra-rapide en phase diluée
 - En terme de sources ultra-courtes (type HHG) et des diagnostics associés, le site de Saclay jouit d'une réputation mondiale de longue date le plaçant parmi les leaders en Europe avec les sites de Garching, MBI-Berlin et Milan.
 - Très forts investissements de l'IDEX sur les sources ultra-courtes et lignes de lumière associées (EQUIPEX ATTOLAB et LIDEX Opt2X), pour près de 6 M€.
 - Domaine pour lequel les sources ont atteint une maturité suffisante pour envisager des applications de premier ordre en phase gaz pour lequel le pôle dispose au sein de ses équipes d'une expertise (expérimentateurs et théoriciens) et d'une large palette de montages expérimentaux (manipulations des espèces, spectromètres, détecteurs) de haut niveau dont la mise en œuvre nécessitera des moyens humains et notamment des jeunes chercheurs qui ne sont pas financés aujourd'hui du côté de l'utilisation des sources.

- Axe tactique 3 : Des processus élémentaires aux systèmes réactifs hors-équilibre
 - Dans le contexte de la mise en œuvre d'une politique de site, il est important de désenclaver les unités axées sur les plasmas et les nanoparticules afin de les intégrer au mieux au sein de Pôle, une occasion unique d'établir ainsi de nouvelles synergies (fondamentales et méthodologiques) couvrant un large champs de démarches intégrant les processus élémentaires à la description des systèmes complexes.
 - Fort potentiel de valorisation qui pourrait ainsi s'étendre depuis les domaines applicatifs (plasma/nano) vers les domaines fondamentaux.

5.1 Tactical Axis n°1 : “Structures of weakly-bound systems”

Weak interactions such as hydrogen bonds or dispersive interactions play a key role in molecular and electronic structures of systems of size ranging from a few tens of atoms to nanometer-sized particles. The fundamental knowledge of these interactions and their implication in the structuration of large molecular systems is of particular importance in many area of science ranging from biochemistry to nanotechnology. The present tactical axis aims at studying via spectroscopic techniques and simulations the molecular and electronic structures of systems involving intra- or inter-molecular weak bonds in the gas-phase. More specifically, the focus will be on the following four topics of research.

1. Conformation of gas-phase biomolecules:

The conformational landscape of a flexible biomolecule, like a protein, depends on a large variety of local interactions (H-bonds, dispersive interactions, hyperconjugation effects, etc...), all contributing to shape the molecule and determine the most probable forms. In this context, conformation-selective investigations of biomolecules enable gas phase experimentalists to document these effects, in absence of any environment effects, such as solvent effects. These experiments benefit from a large set of spectroscopic techniques in a wide spectral range, from far IR to soft X-ray domains. During the last decade, strong efforts have been devoted to develop new mass- and charge-selective spectroscopic techniques with the emergence of a strong international community in the field, in which numerous French laboratories, especially from the Paris-Saclay University, take a very active part. Additionally, in the recent years, strong efforts have been devoted to include the effect of these weak bonds in density-functional theory in order to simulate the electronic structure of large systems and remain today a very active topic of research, as is the description of their electronic excited states.

2. Clusters and molecular complexes:

Physical chemistry of small clusters develops a body of concepts, which sustains several other fields. It benefits from the arsenal of experimental set-ups of the Paris-Saclay area devoted to the study of neutral or charged species at different time scales. Elementary data can be thereby gathered, which allow understanding phenomena in the field of solvation, molecular recognition, chemical dynamics, and study of elementary biological events. Hydrates of biomolecules formed in the gas phase elegantly mimic the role of interstitial water in influencing the shape of biopolymers. The local active site involved in molecular recognition may be isolated in small clusters and understood at the molecular level, such as in sugar-protein interaction. Similarly, the influence of chirality and more generally stereochemical effects can be assessed without the perturbation of the surrounding. A large variety of biological functions strongly rely on charge (electrons or proton) or energy transfers. The local active site and its close environment are nowadays possible to characterize by static or time-resolved techniques and high-level calculations, for example in the case of electron transfers involved in heme/ligand interactions, the influence of local surrounding in the photostability of biomolecules, the influence of solvation on isomerisation reactions.

3. Bare and functionalized nanoparticles:

The recent development of pieces of instrumentation in several laboratories of Paris-Saclay, including the production of collimated beams of nanoparticles by aerodynamic lenses, has opened new opportunities in the structural study of nano-objects in the gas phase. It is indeed possible, for example, to probe the surface structure of isolated nanoparticles by photoelectron or photo-ion spectroscopy. The gas phase enables here avoiding the usual drawbacks encountered in the classical analysis of nano-sized samples (e.g. interactions with the substrate and sample charge effects). Moreover, in the case of synchrotron radiation studies, a very high sensitivity can be reached, so that the analysis of nanoparticle surface with monolayer resolution is possible. This kind of experimental approach should be applicable to a large range of nano-objects for characterizing surface-functionalized complex nano-systems, leading to a complete picture of their surface chemical structure at the atomic scale. Such studies will help meet the needs of applications in specific fields of nanotechnology while addressing fundamental issues in physical chemistry, such as the structure, composition, and growth of atmospherically-relevant aerosols.

4. Growth towards complexity and bottom-up approaches:

In most of the cases, exhaustive knowledge may be obtained only in small systems using experimental and theoretical frameworks. However, gradually increasing the size and level of complexity of the systems, for example the number of amino-acids in a protein chain model, enables spectroscopists to document the emergence of secondary structures, a gradual and controlled increase of solvation can bridge the gap between the gas and the condensed phase, and the properties of increasingly large polycyclic aromatic hydrocarbon clusters can give information on the structuration of soots and grains at the nanometer scale. In the recent years, several experimental set-ups were developed to obtain controlled samples. They include vaporization techniques (laser desorption, aerosol thermodesorption, electrospray ionization) for biomolecules, pyrolysis, reactive plasmas and combustion techniques for nanoparticles and soots. These techniques are combined with various spectroscopic diagnostics often coupled to mass spectrometry, electron spectroscopy and more recently to ion mobility for probing both molecular and electronic structure. Several laboratories of the Paris-Saclay area have developed new experimental facilities (cooling of ions in cryogenic ion traps, of neutrals in He droplets,), which should foster in a near future the investigation of species of increasing sizes and complexity. In parallel, a lot of theoretical efforts have been made to treat efficiently systems of increasing size and provide theoretical predictions that can be compared to experiment. Knowledge gained from smaller systems can then be used to develop adapted approximation schemes applicable to large systems.

Main experimental techniques: molecular beam, electro-spray, nanoparticle manipulation and thermodesorption, reactive plasmas, ion traps, mass spectrometry, electron spectroscopy, IR to X-ray spectroscopies, synchrotron radiation

Interfaces: Chemistry, Life Sciences, Universe & Planets, Climate, Health

Justification: From an experimental point of view, the physical-chemistry community in Paris-Saclay addressing the issue of weak interactions in molecular system is very active, already well-structured and benefits a very good national and international visibility,. A large panel of instruments and platforms, such as CLUPS (Centre Laser Université Paris Sud) or SOLEIL, offer gas-phase experimentalists a variety of powerful tools of international class to probe and characterize the molecular and electronic structure. As a result, a significant portion of the scientific production in the past years of the “pole 2” of PhOM is relevant to this axis, including publications in high impact journals. However, the strong investment of the past years, at the origin of this success, is potentially threatened by a predictable lack of human resources in a near future (in particular due to the decreasing availability of PhD and postdoctoral grants).

Requested Action: Pool of PhD students/post-doctoral fellows (experimentalists or theoreticians), working in an inter-team framework. Funding attributed on structuring projects involving at least two teams of the Pôle 2.

5.2 Tactical axis n°2 : “Ultra-fast dynamics in the dilute matter”

The study of ultra-fast dynamics in dilute matter on the Paris-Saclay campus benefits from bringing together a number a research teams focused on electronic and molecular dynamics and a strong instrumental support for cutting edge research. The state-of-the-art ultra-fast laser platforms and the SOLEIL synchrotron radiation facility of the Paris-Saclay University are definitely one of the major attributes of the PhOM department. The coupling with the SOLEIL expertise on VUV-X optics and the strong financial investment from Equipex ATTOLAB and LidEx OPT2X are currently pushing the laser beamlines toward technical specificities that are at the best level worldwide. The complementary X-ray free electron lasers (XFELs) which are also developed is becoming an important light source for ultrafast studies. The corresponding scientific activity is supported by the LabEx PALM theme 3 which covers ultrafast relaxation dynamics studies, from laser sources to multiscale applications. It is very important that PhOM supports an intense scientific activity on these topics. Hence, pôle 2 of PhOM has decided to define attophysics and femtochemistry in dilute matter as a tactical axis for the forthcoming years.

1. Femtochemistry/reaction dynamics (electronic and nuclear dynamics) (fs):

Gas phase time-resolved relaxation dynamics of molecular systems is becoming a mature method for studying chemical reaction processes. Nevertheless, the development of correlated techniques is pushing its application to ever more complex systems. Among the developments one can distinguish several experimental approaches:

- The development of new sources like aerosol sources, ice-ablation, micro-jet, etc... paves the way to the investigation of larger or more complex systems in the gas phase, like biological structures or building blocks of photovoltaic cells, for instance.
- The availability of high repetition rate lasers opens the doors to the coupling of time-resolved relaxation dynamics of molecular systems with coincidence techniques up-to-now more or less dedicated to semi-continuous light sources like synchrotrons. One can mention especially the double imaging spectrometers or the COLTRIMS. Developments of these techniques using synchrotron radiation enhances their capability for use with ultrafast lasers and external XFELs .
- The control of the laser pulses allows the excitation in wider energy ranges and the characterization of deeper electronic states (down to shallow inner-shell ionization). Furthermore, time-resolved direct structural and energetic information are now available for :
 - small oriented molecules by in-situ harmonic generation (High Harmonic Spectroscopy, HHS, or orbital tomography)
 - larger and chiral systems by time-resolved PhotoElectron Circular Dichroism (TR-PECD) resulting in recent strong interest in the fs-photon angular momentum (spin and orbital).

- Isolated systems by the promotion of an inner-shell electron to an empty molecular orbital using x-rays from the synchrotron or XFEL. The Auger decay is sensitive to the molecular structure and provides insight into the molecular dynamics via the core-hole clocking.

Meanwhile improvements in computer technology and the software has enhanced the reliability of wavepacket dynamics simulations of molecular systems, offering the possibility of a direct comparison with experimental measurements.

Studies on the rotational, vibrational and electronic relaxation dynamics of isolated molecules, molecular assemblies, clusters and hetero-clusters in interaction with fs-lasers, synchrotron radiation and XFELs are encouraged.

2. Electron dynamics (fs/as)

The study of electron dynamics in atomic and molecular systems on attosecond timescales will be at the focus of these research activities. Indeed the time-resolved dynamics of the electron excitation and ionization processes, influenced by the electron-electron correlation or by the nuclear motion is now becoming accessible with the current laser developments in the Paris-Saclay University. The imminent installation of the ATTOLAB platform providing CEP stabilized 20 fs – 10 kHz laser pulses will pave the way to a wide activity in this direction. Auger decays, autoionization decays as well as non-Born Oppenheimer and non-Franck-Condon effects will soon be accessible in the native attosecond time domain complementary to the present frequency-resolved approaches. These attophysics experiments rely currently on two main directions:

- The first exploits the non-linear interaction of the lasers with the atoms or molecules, like electron tunnel ionization and electron-ion recollision driven by the electric field of few optical cycle femtosecond laser pulses, in high harmonic spectroscopy (HHS). The analysis in intensity, phase and polarization of the generated XUV attosecond pulse trains emitted after recombination of the recolliding electron and of the angular-resolved photoelectron spectra, provide dynamical information on attosecond timescales.
- The second takes advantage of the available attosecond XUV pulses produced by high harmonic generation (HHG), which can be combined with delayed NIR or XUV secondary pulses, to perform attosecond time-resolved pump-probe spectroscopy. Here, the pump pulse either ionizes or projects the target onto a transient molecular excited state, whose relaxation, involving e.g., electron wavepacket migration or electron-nuclear motion coupling, can be probed by a secondary coherent pulse with a controlled delay. Such approaches enable the coupling with multi-particle imaging techniques. In particular, velocity map imaging for large molecules or electron-ion coincidence momentum spectroscopy for small ones provide most detailed observables such as photoelectron angular distributions, in the laboratory frame (VMI) or molecular frame (MFPAD), for instance.

Studies coupling this emergent science with the characterization of as-relaxation dynamics in atomic and molecular systems are largely encouraged.

Main experimental techniques: as/fs laser sources, HHG, synchrotron, XFEL, VMI, electron-ion coincidence momentum spectroscopy.

Interfaces: pôle 4 of PhOM, Chemistry department.

Justification: One of the worldwide top level center on this topic, internationally recognized expertise, multidisciplinary research at proximity. Very large investment efforts (ATTOLAB, Opt2X), application of new sources to physical-chemistry, skills in XFELs experiments, but a lack of human resources, especially young people to work on the associated end stations.

Requested Action: Pool of PhD students/post-doctoral fellows (experimentalists or theoreticians), working in an inter-team framework. Funding attributed on structuring projects involving at least two teams of the Pôle 2.

5.3 Tactical Axis n°3 : “From Elementary Processes to Non-equilibrium Reactive Systems”

Non-equilibrium reactive systems, in which chemical reactions are initiated by energy supplied by an external electromagnetic field (ranging from static electric fields to radiofrequency, microwave and ultraviolet photons), can behave very differently from conventional (thermally-activated) chemical systems. The manner in which the energy is supplied confers a high degree of control, a principle at the heart of many contemporary technological processes that cannot be achieved by thermal activation. For example CMOS integrated circuits are manufactured by plasma etching and deposition of thin films, wherein elementary processes requiring 10-1000eV can be accomplished on a substrate that remains at room temperature. Nano-structured objects, created and processed in non-equilibrium reactors (by pyrolysis, combustion and plasmas), have many potential applications closely connected to societal needs. However, much remains to be understood about the link between nano-material structures and their interactions with various environments. Better fundamental understanding nano-object fabrication processes and their reactivity is needed.

Similar non-equilibrium reactive processes occur in many natural systems, including planetary ionospheres and interstellar media. Several teams from the Saclay molecular physics community are involved in experimental and modelling studies of these complex natural media (within the PNP and PCMI national programs).

In all these systems the transient (activated) species, including atoms, free radicals and ions (in ground or excited states) and electrons are created by the impact of electrons or photons on stable molecules. These activated species then react with each other, with stable molecules and with (solid or liquid) surfaces. Understanding and control can only be achieved with an intricate knowledge of the elementary processes leading to the creation, conversion and destruction of these transient species. However, many key reaction mechanisms are still poorly understood, and the reaction coefficients and/or energy-resolved reaction cross-sections needed for models are often little better than informed guesswork. Nevertheless, the techniques (both theoretical and experimental) to quantitatively study them do exist in most cases.

Many laboratories situated on the Saclay plateau have a strong tradition in the study of the structure and reactivity of these transient species, which are usually produced either by photodissociation or by means of electrical discharges. However, the low-temperature plasma and nanotechnology communities of Saclay have become isolated from these fundamental research groups, largely due to the strong funding bias towards applications in recent decades. This action aims to re-forge the links between the communities, which originated from common roots in the 60's and 70's. The collaborations initiated by this programme will address fundamental issues in physical chemistry while keeping the link to applications.

This action will focus on the following themes

- **Creation of transient species** by collisions of photons, electron and ions with molecules:
 - via excited electronic states leading to fragmentation, ionisation, dissociative attachment, excitation;
 - via low-lying resonant states, leading to negative ion formation, complex molecular rearrangements, vibrational excitation, and dissociation into radicals.
- **Reactivity in the gas phase:** bimolecular exchange reactions, third-body mediated recombination, energy transfer processes (Electronic-Vibrational-Rotational-Translational); Charge exchange reactions, Cation-molecule reactions; Cation-electron recombination leading to highly excited neutral molecules; Anion associative detachment reactions.
- **Reactions at surfaces** (solids and liquids, thin films, biological samples) Atom, radical and ion interactions with surfaces: recombination, generation of vibrationally excited molecules, thin film deposition and etching. Radiation induced damage. Effects on biological systems
- **Transport and reactivity in complex systems:** Modelling and in-situ diagnostics

Main experimental techniques: in-situ diagnostics of non-equilibrium reactive environments: optical (laser) and electron spectroscopy, mass spectrometry, microscopy. Elementary reaction studies in controlled environments (UHV crossed beam experiments etc.), rate constant measurements.

Theory and modelling of elementary processes methods : MQDT (Multichannel Quantum Defect Theory) method, R-matrix method, time-independent close-coupling methods, time-dependent wave-packet methods.

Interfaces: EOE (Pole Plasma Froids), Chemistry, Material sciences, Life Sciences, Pole transverse energy, SPU

Justification : The large Low-Temperature plasma community in Saclay was historically linked to the atomic and molecular physics community, but has become isolated due to the focus on applications in funding calls. Re-forging this link will create new synergies and connect the basic science to applications. Although plasma and nanotechnology applications have been reasonably well supported in recent times due to the relevance of industrial applications, there has been a lack of human resources, especially young people (PhD students and post-docs) on the more basic science aspects. This situation is aggravated by the current reduction in ANR funding for basic science and the strong focus on societal needs in the H2020 calls for proposals.

Requested action: Pool of PhD students/post-docs shared between groups (elementary processes- plasmas/application driven groups). Finance will only be awarded for structuring projects involving at least two groups of Pole 2.

Annexes

Annexe 1 : Composition du bureau du Pole 2 (les noms en orange correspondent aux théoriciens)

Nom	Laboratoire	Thématiques	Remarques
Laurent Nahon	SOLEIL	Photodynamique VUV Dichroïsme/chiralité	Responsable + Copil Opt2X
Jean-Paul Booth	LPP (X)	Plasmas froids Plasma/surfaces	Co-responsable + Pole3 EOE
Jacques Robert → Goulven Quéméner (> fev 2015)	LAC (u-psud)	Spectro.laser, métrol. Atomes froids Molécules Froides, réactivité, contrôle champs externes	
Lionel Poisson	LIDyL (CNRS/CEA)	Dynamique ultra-rapide	
O. Sublemontier	NIMBE (CEA)	Nanoparticules: Synthèse et applic.	
Christian Alcaraz	LCP (u-psud)	Ions moléculaire: Spectro et réactivité	
Hinrich Lutjens	CPhT (X)	Plasma de fusions	
Anne Lafosse	ISMO (u-psud)	Interaction e ⁻ / Molécules surfaces	
Gilles Maynard	LPGP (u-psud)	Interaction et Transport plasmas	AT Théorie
Cyril Falvo	ISMO (u-psud)	Spectro vibrationnelle PAHs, biomolécules	Réseau théo LUMAT

Annexe 2 : liste de mots-clés ad hoc décrivant les activités du pôle 2

- gas phase, atoms, plasma, molecules, molecular complexes, Van der Waals aggregates, clusters, trapped ions, ion beams, nanoparticles/aerosols, (cryogenic) matrixes, adsorbates, helium droplets, supersonic jet
- electronic structure, molecular structures, ro-vibronic structure, conformation, chirality, few body quantum effects (or problem), quantum chemistry
- electron scattering, electron attachment, resonances, photoionization, photodetachment, photodissociation, photodesorption, electron impact ionization, dissociation, chemical reactivity, isomerization, reactive scattering, reaction dynamics, cold chemistry, external fields, non-linear processes, photophysics, photochemistry, coherent control, quantum dynamics
- interactions with surfaces, nanostructures, interactions with clusters, interactions with cryogenics matrixes
- Temporal multi-scale relaxation processes, ultra-fast electronic dynamics, ultra-fast nuclear dynamics, molecular dynamics, non Born-Oppenheimer effects (or non adiabatic), attosecond dynamics, attophysics
- Plasma transport phenomena, plasma reactivity and kinetics, Plasma instabilities and turbulence, plasma heating, magnetic reconnection
- Atomic and molecular physics, fundamental constants, natural plasmas, laboratory plasmas, nanosciences, nucleation, nanoparticle growth, nanoparticle synthesis, isolated nanoparticle, functionalized nanoparticles.
- ab initio calculations, numerical simulations, theory, modeling, THz spectroscopy, IR spectroscopy, UV-visible spectroscopy, VUV spectroscopy, X-ray spectroscopy, absorption spectroscopy, electron spectroscopy, raman spectroscopy, fluorescence, RIXS, mass spectrometry, atmospheric photoionization, action spectroscopy, ion mobility, pulse radiolysis, REMPI, time-resolved experiments, electron imaging, ion imaging, molecular imaging, coincidences, circular dichroism, frequency-comb, lineshape, Synchrotron Radiation
- planetary atmospheres, ionospheres, inter-stellar medium, stars, prebiotic chemistry, astrochemistry, origins of life, magnetosphere, solar eruptive phenomena, solar magnetic field generation
- elementary bricks of life, amino-acids, peptides, DNA/RNA basis, gas phase biopolymers, gas phase protein, radiobiology,
- femtochemistry, atmospheric chemistry, combustion processes, solvation/liquid jets, catalysis, heterogeneous chemistry, radiation damage

- energy conversion
- plasma discharge, plasma combustion, plasma surface interactions,

Annexe 3 : Description des contours et interfaces du pôle 2

Objets :

- Atomes, molécules, complexes moléculaires et agrégats (neutres ou ionisés)
- nanoparticules/aérosols en phase diluée
- molécules en matrice ou adsorbées

Propriétés intrinsèques :

- Structure électronique, vibrationnelle et rotationnelle
- Structure moléculaire et conformation, chiralité.
- Taille, morphologie, structure, propriétés physiques (thermiques, optiques et électriques) et composition chimique des nanoparticules/aérosols.
- Effets quantiques à petit nombre de corps.

Interactions et dynamique :

- avec des atomes, molécules, ions, électrons et photons... : Processus élastiques, inélastiques, réactifs ; Ionisation, attachement, dissociation, association et échange...
- à longue portée, chimie ultra-froide, en champs externes statiques et électromagnétiques, processus non-linéaires avec un milieu : surface/nanostructure, agrégats/aérosols, matrice cryogénique,
- Systèmes atomiques et moléculaires hors équilibre et processus multi-échelles temporelles; excitation/relaxation; dynamique ultra-rapide électronique et nucléaire; dynamique non-adiabatique et réactionnelle
- Phénomènes de transport et réactivité dans les plasmas : ondes, instabilités, turbulence et effets cinétiques, chauffage, reconnexion magnétique ; cinétique réactionnelle et diagnostics associés.

Domaines d'occurrence :

- Physique atomique et moléculaire fondamentale ; constantes fondamentales
- Plasmas naturels (astrophysiques, atmosphériques) ; Plasmas de laboratoire (fusion magnétique, plasmas de décharge et leurs applications (environnement, micro- et nanotechnologies, etc.)).
- Nanosciences: Synthèse et caractérisation en phase gazeuse (nucléation, croissance, fonctionnalisation, dépôts et nano-structuration des surfaces hybrides) ; et applications associées.

Méthodes :

- Théorie, modélisation et simulations numériques.
- Spectroscopies du THz aux rayons X, métrologie des fréquences
- Instrumentations : spectromètres, détecteurs, métrologie des grandeurs physiques et physico-chimiques...
- Sources de particules (photon, ions, électrons...) variées utilisées soit pour interroger la matière soit pour induire une dynamique.
- Manipulation des objets: molécules, ions, complexes, nanoparticules/aérosols et plasmas...

Interfaces :

- Interface Sciences de l'univers (astrophysique de laboratoire) : atmosphère des planètes, milieu interstellaire, molécules prébiotique/origine de la vie, astrochimie ; étoiles.
- Interface Sciences de la Vie : Briques élémentaires de la vie (approche bottom/up), biopolymères en phase gaz (approche top/down). Radiobiologie
- Interface chimie : Réactivité des neutres et des ions au niveau élémentaire, femtochimie, chimie atmosphérique, combustion, effets de solvatation, catalyse (nanoparticules), chimie analytique (spectrométrie de masse).
- Interface EOE : Plasmas, décharge et combustion

Annexe 4 : projection des mots-clés descriptifs du Pôle 2 sur les trois axes stratégiques

Axe 1 : Structures

- gas phase, atoms, ions, molecules, molecular complexes, Van der Waals aggregates, clusters, trapped ions, ion beams, nanoparticles/aerosols, (cryogenic) matrixes, adsorbates, helium droplets, supersonic jet
- electronic structure, molecular structures, ro-vibronic structure, conformation, chirality, few body quantum effects (or problem), quantum chemistry
- Atomic and molecular physics, fundamental constants nanosciences, nucleation, nanoparticle growth, nanoparticle synthesis, isolated nanoparticle, functionalized nanoparticles.
- ab initio calculations, numerical simulations, theory, modeling, THz spectroscopy, IR spectroscopy, UV-visible spectroscopy, VUV spectroscopy, X-ray spectroscopy, absorption spectroscopy, electron spectroscopy, raman spectroscopy, fluorescence, RIXS, mass spectrometry, atmospheric photoionization, action spectroscopy, ion mobility, pulse radiolysis, REMPI, electron imaging, ion imaging, molecular imaging, coincidences, circular dichroism, frequency-comb, Synchrotron Radiation

Axe 2 : Dynamique et relaxation multi échelles spatiales et temporelles

- gas phase, atoms, ions, plasma, molecules, molecular complexes, Van der Waals aggregates, clusters, trapped ions, ion beams, nanoparticles/aerosols, (cryogenic) matrixes, adsorbates, helium droplets, supersonic jet
- electron scattering, electron attachment, resonances, photoionization, photodetachment, photodissociation, electron impact ionization, dissociation, chemical reactivity, isomerization, reactive scattering, reaction dynamics, cold chemistry, external fields, non-linear processes, photophysics, photochemistry, quantum dynamics
- interactions with nanostructures, interactions with clusters, interactions with cryogenics matrixes
- Temporal multi-scale relaxation processes, ultra-fast electronic dynamics, ultra-fast nuclear dynamics, molecular dynamics, non Born-Oppenheimer effects (or non adiabatic), attosecond dynamics, attophysics
- Plasma transport phenomena, plasma reactivity and kinetics, Non-thermal Plasma, Plasma instabilities and turbulence, plasma heating, magnetic reconnection
- Atomic and molecular physics, fundamental constants, natural plasmas, laboratory plasmas, nanosciences, isolated nanoparticle, functionalized nanoparticles.
- ab initio calculations, numerical simulations, theory, modeling, UV-visible spectroscopy, VUV spectroscopy, X-ray spectroscopy, absorption spectroscopy, electron spectroscopy, raman spectroscopy, fluorescence, RIXS, action spectroscopy, pulse radiolysis, REMPI, time-resolved experiments, electron imaging, ion imaging, molecular imaging, coincidences, circular dichroism, frequency-comb, lineshape, Synchrotron Radiation

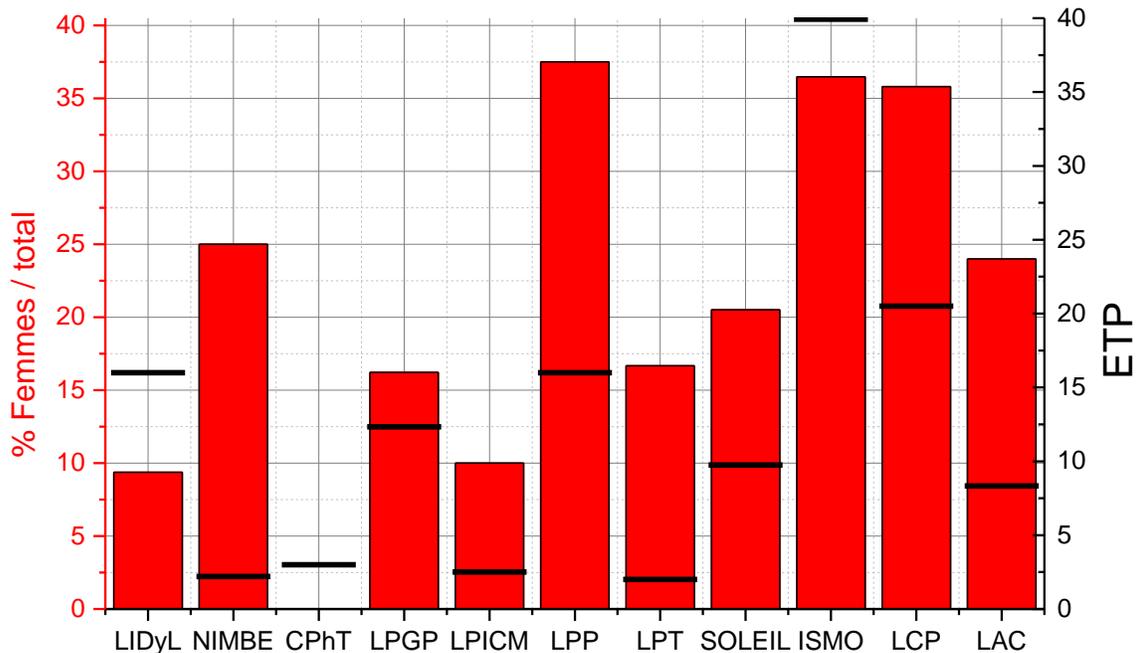
Axe 3 : Contrôle des propriétés et interfaces

- gas phase, atoms, ions, plasma, molecules, molecular complexes, Van der Waals aggregates, clusters, trapped ions, ion beams, nanoparticles/aerosols, (cryogenic) matrixes, adsorbates, helium droplets, supersonic jet
- coherent control
- nanoparticle growth, nanoparticle synthesis, isolated nanoparticle, functionalized nanoparticles.
- ab initio calculations, numerical simulations, theory, modeling, THz spectroscopy, IR spectroscopy, UV-visible spectroscopy, VUV spectroscopy, X-ray spectroscopy, absorption

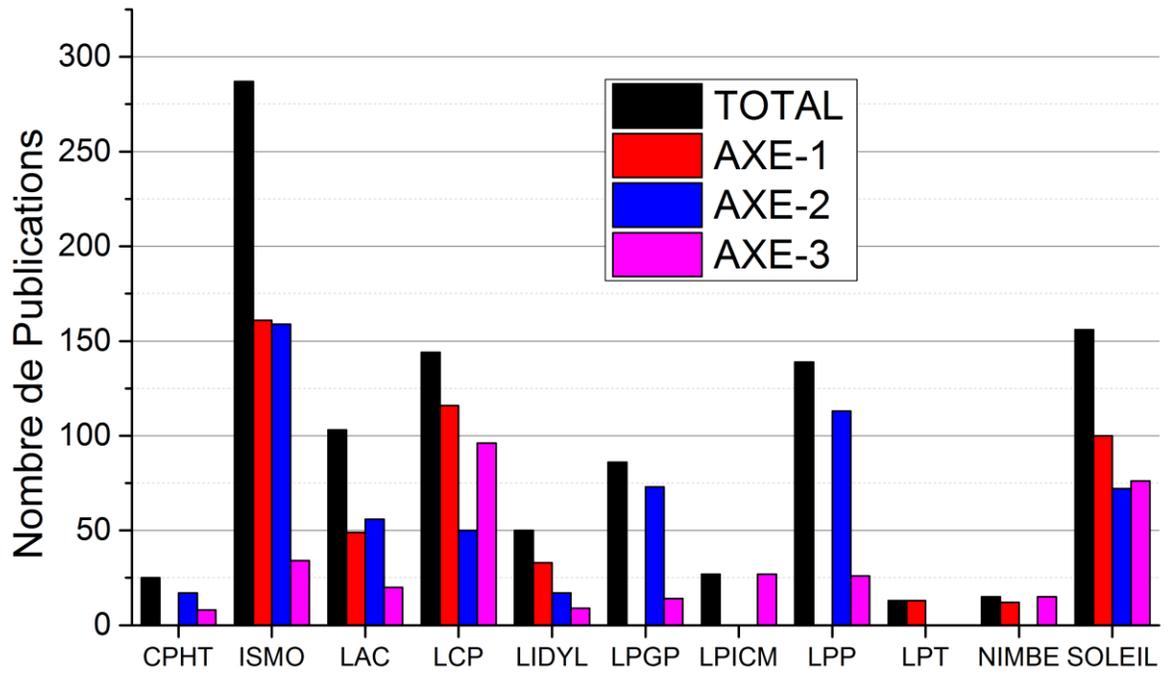
spectroscopy, electron spectroscopy, raman spectroscopy, fluorescence, RIXS, mass spectrometry, atmospheric photoionization, action spectroscopy, ion mobility, pulse radiolysis, REMPI, time-resolved experiments, electron imaging, ion imaging, molecular imaging, coincidences, circular dichroism, frequency-comb, lineshape, Synchrotron Radiation

- planetary atmospheres, ionospheres, inter-stellar medium, stars, prebiotic chemistry, astrochemistry, origins of life, magnetosphere, solar eruptive phenomena, solar magnetic field generation
- elementary bricks of life, amino-acids, peptides, DNA/RNA basis, gas phase biopolymers, gas phase protein, radiobiology,
- femtochemistry, atmospheric chemistry, combustion processes, solvation/liquid jets, catalysis, heterogeneous chemistry, radiation damage
- energy conversion
- plasma discharge, plasma combustion, plasma surface interactions, Plasma processing of surfaces, pollution abatement, biomedical applications of plasmas

Annexe 5 : Part des femmes des les ETP des différentes unités du Pole 2. Les barres rouges (ordonnées de droite) représente le % ETP femme / total, et les traits noirs (ordonnées de droite), le nombre d'ETP absolue de l'unité.



Annexe 6 : Distribution des publications relevant du pôle 2 (période 2010-2013) par unité et par axe stratégique

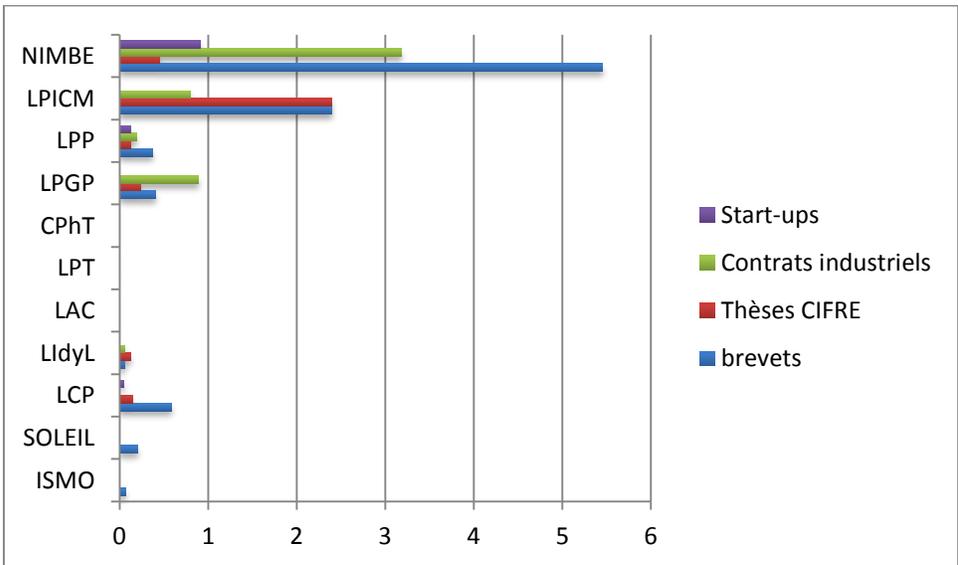
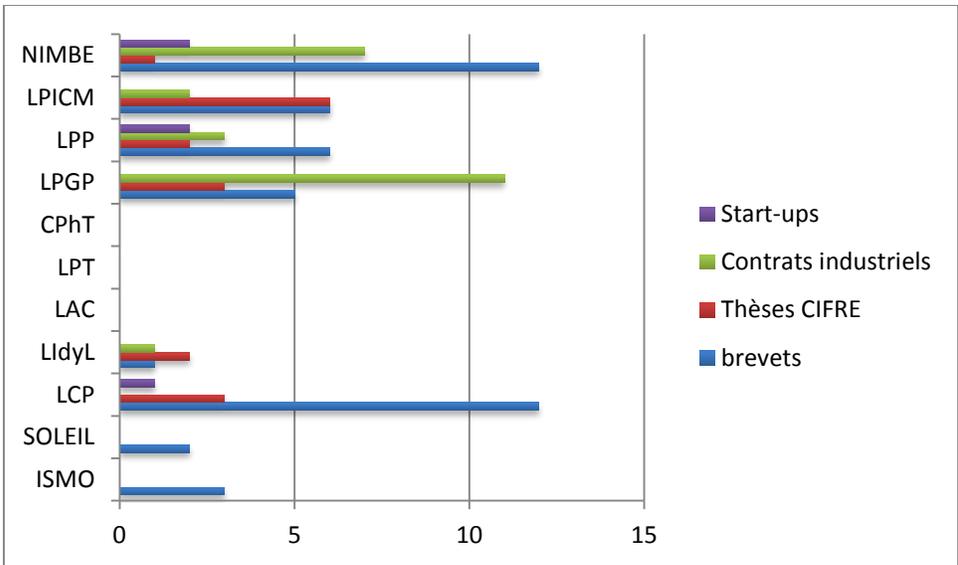


Annexe 7 : Ventilation du nombre de publications sur la période 2010-2013 par axe stratégique et par unité et équipe.

Labo ETP pole 2	nb total par labo par ETP	équipes	nombre total par équipe	nombre axe 1 <i>/% axe</i>	nombre axe 2 <i>/% axe</i>	nombre axe 3 <i>/% axe</i>	Nb Publis/ ETP
CPHT 3	25 8,3	-	25	0	17/68 %	8 /32%	8,3
ISMO 40	287 7,2	A	57	9	55	16	7,6
		B	36	10	24	3	7,2
		C	122	93	48	15	9,0
		D	53	34	26	0	5,5
		E	19	15	6	0	4,4
		total labo		161/45%	159/45%	34/10%	
LAC 8,3	103 12,4	THEOMOL	54	33	29	8	16,2
		SUPEREX	37	12	20	7	37
		IONNEG	10	4	7	1	5
		AGNANO	4	0	0	4	2
		total labo		49/39%	56/45%	20/16%	
LCP 20,5	144 7,0	RISMAS	74	66	20	55	6,7
		TEMIC	2	2	0	2	10
		THEOSIM	69	45	30	37	8,2
		BIO	3	3	0	2	3
		total labo		116/44%	50/19%	96/37%	
LIDyL 16	52 3,25	DYR	33	24	9	3	4,1
		SBM	11	11	0	7	2,8
		ATTO	8	0	8	1	2
		total labo		35/56%	17/29%	11/15%	
LPGP	86	ITFIP	1	0	1	0	1,5

12,3 7,0	29	DIREBIO	29	0	27	2	7,3
		TMP-D&S	48	0	40	7	10,3
		DEA	9	0	4	5	4,5
		total labo		0	72/84%	14/16%	
LPICM 2,5	27 10,8	-	27	0	0	27	10,8
LPP 16	139 8,7	Plasmas Froids	85	0	59	26	10,6
		Fusion	54	0	54	0	6,75
		total labo		0	113/81%	26/19%	
LPT 2	13 6,5	Physique Statistique	13	13/100%	0	0	6,5
NIMBE 2,2	15 6,8	-	15	12/44%	0	15/56%	6,8
SOLEIL 9,75	156 16	AILES	34	34	0	13	17
		DESIRS	64	35	32	45	21,3
		DISCO	29	13	2	17	41,4
		PLEIADES	43	18	30	1	14,3
		GALAXIES	8	0	8	0	7,6
		total labo		100	72	76	
PUBLIS	1049	TOTAL AXES		486	556	327	<n>=7,8
		100 %		35 %	41 %	24 %	
	ETP	100 %		20 %	43 %	37 %	

Annexe 8 : Graphes de synthèse des activités de Valorisation du Pole 2 sur la période 2010-2013, globale (en haut), et par ETP (en bas)



Annexe 9 : Les 14 publications les plus citées émanant du pole 2

Auteurs	Titre	Journal	Citations	Année
Bernhardt, B; Ozawa, A; Jacquet, P; Jacquy, M; Kobayashi, Y; Udem, T; Holzwarth, R; Guelachvili, G; Hansch, TW; Picque, N	Cavity-enhanced dual-comb spectroscopy	NATURE PHOTONICS	120	2010
Wakelam, V; Smith, IWM; Herbst, E; Troe, J; Geppert, W; Linnartz, H; Oberg, K; Roueff, E; Agundez, M; Pernot, P; Cuppen, HM; Loison, JC; Talbi, D	Reaction Networks for Interstellar Chemical Modelling: Improvements and Challenges	SPACE SCIENCE REVIEWS	70	2010
Glowia, JM; Cryan, J; Andreasson, J; Belkacem, A; Berrah, N; Blaga, CI; Bostedt, C; Bozek, J; DiMauro, LF; Fang, L; Frisch, J; Gessner, O; Guhr, M; Hajdu, J; Hertlein, MP; Hoener, M; Huang, G; Kornilov, O; Marangos, JP; March, AM; McFarland, BK; Merdji, H; Petrovic, VS; Raman, C; Ray, D; Reis, DA; Trigo, M; White, JL; White, W; Wilcox, R; Young, L; Coffee, RN; Bucksbaum, PH	Time-resolved pump-probe experiments at the LCLS	OPTICS EXPRESS	56	2010
Pino, GA; Oldani, AN; Marceca, E; Fujii, M; Ishiuchi, SI; Miyazaki, M; Broquier, M; Dedonder, C; Jouvot, C	Excited state hydrogen transfer dynamics in substituted phenols and their complexes with ammonia: pi pi*- pi sigma* energy gap propensity and ortho-substitution effect	JOURNAL OF CHEMICAL PHYSICS	51	2010
Wu, W; Su, PF; Shaik, S; Hiberty, PC	Classical Valence Bond Approach by Modern Methods	CHEMICAL REVIEWS	52	2011
Cocinero, EJ; Carcabal, P; Vaden, TD; Simons, JP; Davis, BG	Sensing the anomeric effect in a solvent-free environment	NATURE	42	2011
Schliesser, A; Picque, N; Hansch, TW	Mid-infrared frequency combs	NATURE PHOTONICS	101	2012
Lu, X; Laroussi, M; Puech, V	On atmospheric-pressure non-equilibrium plasma jets and plasma bullets	PLASMA SOURCES SCIENCE & TECHNOLOGY	96	2012
Wakelam, V; Herbst, E; Loison, JC; Smith, IWM; Chandrasekaran, V; Pavone, B; Adams, NG; Bacchus-Montabonel, MC; Bergeat, A; Beroff, K; Bierbaum, VM; Chabot, M; Dalgarno, A; van Dishoeck, EF; Faure, A; Geppert, WD; Gerlich, D; Galli, D; Hebrard, E; Hersant, F; Hickson, KM; Honvault, P; Klippenstein, SJ; Le Picard, S; Nyman, G; Pernot, P; Schlemmer, S; Selsis, F; Sims, IR; Talbi, D; Tennyson, J; Troe, J; Wester, R; Wiesenfeld, L	A KINETIC DATABASE FOR ASTROCHEMISTRY (KIDA)	ASTROPHYSICAL JOURNAL SUPPLEMENT SERIES	82	2012
Samukawa, S; Hori, M; Rauf, S; Tachibana, K; Bruggeman, P; Kroesen, G; Whitehead, JC; Murphy, AB; Gutsol, AF; Starikovskaia, S; Kortshagen, U; Boeuf, JP; Sommerer, TJ; Kushner, MJ; Czarnetzki, U; Mason, N	The 2012 Plasma Roadmap	JOURNAL OF PHYSICS D-APPLIED PHYSICS	74	2012
Nahon, L; de Oliveira, N; Garcia, GA; Gil, JF; Pilette, B; Marcouille, O; Lagarde, B; Polack, F	DESIRS: a state-of-the-art VUV beamline featuring high resolution and variable polarization for spectroscopy and dichroism at SOLEIL	JOURNAL OF SYNCHROTRON RADIATION	50	2012
Shaik, S; Danovich, D; Wu, W; Su, PF; Rzepa, HS; Hiberty, PC	Quadruple bonding in C-2 and analogous eight-valence electron species	NATURE CHEMISTRY	39	2012
Miron, C; Nicolas, C; Travnikova, O; Morin, P; Sun, YP; Gel'mukhanov, F; Kosugi, N; Kimberg, V	Imaging molecular potentials using ultrahigh-resolution resonant photoemission	NATURE PHYSICS	33	2012
Wang, CY; Herr, T; Del'Haye, P; Schliesser, A; Hofer, J; Holzwarth, R; Hansch, TW; Picque, N; Kippenberg, TJ	Mid-infrared optical frequency combs at 2.5 mu m based on crystalline microresonators	NATURE COMMUNICATIONS	27	2013

Pôle 3 : Matière et systèmes complexes

Matière et Systèmes Complexes. Pôle 3 du GT PhOM.

Résumé synthétique

1 Enjeux de connaissance et défis socio-économiques

1.1 Périmètre thématique et enjeux

La matière et les systèmes complexes partagent la caractéristique de nécessiter dans leur description plusieurs échelles spatiales et temporelles. Ainsi en est-il des fluides turbulents, de systèmes biologiques ou de matériaux vitreux où tout un paysage d'énergies est pertinent.. La mécanique statistique apporte les bases élémentaires de notre compréhension par sa capacité à remplacer une description exacte des degrés de liberté par une approche en terme de moyennes et de fluctuations. Bien souvent, une structure dite "auto-organisée" ou "bottom-up" émerge à partir d'un état initialement désordonné. Cette structure peut être un point d'équilibre du système comme une association micellaire, un état métastable comme un verre ou un état maintenu loin de l'équilibre. Notre objectif commun est de comprendre les phénomènes physiques esquissés ci-dessus en combinant des approches théoriques et des expériences qui exigent ou valident des approches théoriques.

1.2 Potentiel de recherche et valorisation :

Le périmètre de MSC s'étend sur 16 laboratoires et comprend 223 chercheurs titulaires (cf. Annexe 1). Ces laboratoires sont répartis sur l'ensemble du Campus Paris-Saclay. Les équipes sont souvent au sein d'unités comprenant des équipes d'autres pôles du Département PHOM ou d'autres départements (EOE, Chimie, MEP). La production scientifique est à un niveau supérieur à la moyenne mondiale (parution annuelle de publications dans le "top" 1% de la production mondiale). Des liens existent avec l'industrie lors de collaborations ou projets ANR et des brevets sont régulièrement déposés.

1.3 Forces :

- Les activités de MSC ont pour particularité une forte complémentarité entre théorie et expérience. La théorie est un élément remarquable et de fort impact.
- MSC bénéficie d'outils expérimentaux comme la source de neutrons ORPHEE et le synchrotron SOLEIL mais aussi de plateformes de taille plus modeste (irradiation, microscopie électronique à basse température).
- MSC est adossée à plusieurs disciplines (sciences des matériaux, ingénierie, chimie, biologie ou pharmacie) ce qui entraîne une implication notable dans des projets interdisciplinaires (Labex, Idex, ANR)
- La valorisation de la recherche constitue un élément important de notre pôle via les composantes matériaux « complexes » et santé

1.4 Faiblesses :

- La communauté est distribuée géographiquement sur tout le campus souvent sous forme d'équipes de petite taille dans de plus grandes unités ; le nombre d'étudiants en thèse par chercheur est faible en moyenne (<1).

1-5 Positionnement national et international

De nombreuses ANR passées ou en cours témoignent de l'attractivité de nos laboratoires au sein de consortiums nationaux avec des partenaires à Paris Centre (ESPCI, ENS Paris, UPMC, U. P. Diderot) ou en province. Ces relations favorisent les échanges de doctorants et les recrutements croisés avec Paris Centre, la province ou l'étranger. La structure de MSC est différente de la plupart des autres ensemble étrangers thématiquement proches qui sont à une échelle plus petite (MPI en Allemagne sur une thématique plus restreinte) ou différente (Department of Physics and Complex Systems, Weizmann Institute (Rehovot, Israël) qui comporte 20 permanents, 50 PhD et 10 post-docs).

1-6 Positionnement stratégique

Opportunités :

- Les thématiques de MSC sont présentes dans les mots-clés de H2020 et de l'ANR (Santé, Matériaux, Energie, Environnement), des projets interdisciplinaires de l'IDEX ou de la région (DIM Nano'K, Oxymore, Analytics, Systèmes complexes)
- Regroupement des forces en Nanosciences au CEA/IRAMIS (rapprochement chimie-physique), au CNRS (nanofabrication au C2N), à Paris-Sud en physique du vivant à l'ISMO à côté des physiciens du LPS et du FAST. Implantation de Centrale-Supélec et de l'ENS Cachan au coeur du campus.

Menaces :

- Dispersion thématique involontaire liée à la recherche de contrats, Financement de la théorie (difficulté/ANR), Renouvellement d'appareils de pointe, maintenance

2 Stratégie partagée de recherche

2.1) Animation scientifique et structuration

La communauté MSC est assez morcelée et est très demandeuse de moyens lui permettant de se regrouper et de mieux se connaître. **Nous proposons dès cet automne de démarrer des ateliers thématiques et des séminaires communs.** De même l'existence et la gestion (mise à jour) d'une liste de diffusion MSC serait souhaitable. Ces actions ne demandent qu'un financement réduit et du temps de secrétariat. Nous proposons également l'organisation d'écoles prédocs permettant d'attirer des étudiants en nombre plus important.

2.2) Stratégie et propositions d'actions à court terme

a) Physique d'objets biologiques, auto-organisation et matière vivante

Le défi principal concerne la modélisation théorique et expérimentale des systèmes multi-échelles à l'œuvre dans le monde vivant à des fins de compréhension du fonctionnement d'objets biologiques (biofilms, organes,...) ou à des fins d'action sur le vivant (actions mécaniques, introduction de médicaments,..). Pour parfaire cet objectif il est impératif de mieux mettre en réseau les chercheurs au sein des départements PHoM, SdV, Chimie et EOE et des Labex Lermite ou NanoSaclay. Il s'agit d'organiser la communauté pour mieux intégrer des consortiums sur des appels d'offre « Santé » à l'ANR, à l'INSERM ou à l'Europe. **Pour ce faire nous proposons d'amorcer des projets interdépartements et interlabex sur le thème " Physique d'objets biologiques, auto-organisation et matière vivante " ainsi que de mutualiser les ressources en traitement d'images.** Le développement des actions ci-dessus bénéficie d'un contexte favorable (intérêt du pôle 6 de Phom(Optique), amorce de structuration au sein de NanoSaclay autour du flagship « Nanomed » en vue de la seconde phase d'existence des « Flagships », volonté de PALM de faire évoluer l'actuel thème 2 pour la 2eme phase du Labex vers: « Systèmes complexes: des processus hors équilibre à la matière vivante » en bonne adéquation avec le pôle 3 de PHOM, en particulier sur l'interface Physique-Vivant. Une réunion en ce sens a eu lieu le 22/5/2015 et a validé les conclusions ci-dessus.

b) Matériaux multi-échelles et adaptatifs :

Au sein de cette action, le but est contrôler l'assemblage et l'organisation des matériaux sur plusieurs échelles, de la brique élémentaire jusqu'à des microstructures aux propriétés spécifiques. Il s'agit à terme d'optimiser les propriétés de ces systèmes dans leur conditions d'usage (souvent hors-équilibre en présence de contraintes externes – mécanique, chimie, irradiation,...). Pour atteindre cet objectif il est indispensable à court terme d'assurer la

pérennité de l'excellence du parc actuel d'appareils mutualisés pour une meilleure réactivité des équipes et pour accroître la visibilité vis-à-vis des industriels à la recherche de caractérisations de pointe (création d'une plateforme délocalisée d'instruments). **Pour ce faire nous proposons la mise en place d'un fond de soutien récurrent pour assurer le fonctionnement d'équipements mi-lourds de caractérisation de pointe présents au sein des équipes et qui sont utilisés par plusieurs équipes de Paris-Saclay (équipements éligibles).** Le développement des actions ci-dessus bénéficie d'un contexte favorable car il peut s'appuyer sur un certain nombre d'Equipex (Digiscope, Matmeca, Tempos) et ce type de défi est en mesure de d'associer plusieurs laboratoires du pôle 7, mais aussi des forces présentes dans d'autres départements (en particulier EOE, Chimie et MEP).

c) Risque & Environnement : prédictabilité et variabilité d'événements extrêmes

La gestion des risques et la prévention des catastrophes nécessite très souvent d'être en mesure de prévoir les écarts, les « fluctuations », dominées par un faible nombre d'évènements extrêmes, par rapport à la réponse typique moyenne. Les domaines d'application de ce défi concernent notamment la turbulence des fluides, les avalanches granulaires, la fracture des solides, les problèmes de tremblements de terre, etc. L'objectif, sur ces thématiques, est donc de mener à court-moyen terme des actions structurantes en liaison avec les départements SPU (plasmas, granulaires, fracture) et MEP (turbulence).

d) Dynamiques hors équilibre, thermodynamique stochastique

Il s'agit d'un défi qui vise à développer la thermodynamique stochastique et hors d'équilibre pour étudier l'efficacité des machines hors d'équilibre, et la généralisation de concepts tels que la température et les relations de fluctuation-dissipation dans de systèmes hors d'équilibre (par exemple, la matière active et les systèmes hors d'équilibre quantifiés), mais qui devrait permettre des avancées dans les compréhensions expérimentale et théorique des propriétés des matériaux irradiés, des solides amorphes, des systèmes bloqués (jammed) de la matière molle, des matériaux granulaires et des verres. L'objectif à moyen terme visé sur ces thématiques est de favoriser des actions coordonnées avec le labex PALM.

Matiere et Systèmes Complexes. Pôle 3 du GT PhOM.

Matiere et Systèmes Complexes. Pôle 3 du GT PhOM.	79
1-a) Enjeux de connaissance et défis socio-économiques	83
Ambition	83
Périmètre thématique et enjeux	84
Contexte géographique et interfaces	85
1-b) Potentiel de recherche et de valorisation	85
Forces :	90
Faiblesses :	91
1-c) Positionnement international	92
1-d) Positionnement stratégique	92
Opportunités :	92
Menaces :	93
2 Stratégie partagée de recherche	94
Physique d'objets biologiques, auto-organisation et matière vivante	94
Matériaux multi-échelles et adaptatifs :	96
Maîtrise des risques et environnement	Erreur ! Signet non défini.
Dynamiques hors équilibre, thermodynamique stochastique	101

1-a) Enjeux de connaissance et défis socio-économiques

Ambition

Loin de se limiter à une « somme » d'équipes et de compétences, le pôle Matière et systèmes complexes (MSC) du département Physique des Ondes et de la Matière (PhOM) tire sa force de la complémentarité entre équipes composées de chercheurs ou enseignants-chercheurs et personnels techniques, chacune présentant une spécificité bien caractérisée. Ensemble, les différents membres de ce pôle proposent un très large spectre scientifique. La recherche au sein de MSC a pour mission de contribuer efficacement à la fois au progrès des connaissances et à l'élaboration de réponses innovantes aux grands défis technologiques et sociétaux. L'ensemble de ses activités s'inscrit ainsi au cœur des enjeux des décennies à venir, et tout particulièrement dans plusieurs domaines clés: Nanosciences, Santé, Environnement et risques, Énergie, Systèmes et Information.

Les chercheurs de MSC répondent à plusieurs critères en mesure de les positionner favorablement parmi les grands pôles mondiaux équivalents: un large spectre scientifique, la qualité de leur production scientifique, des liens établis avec des acteurs du monde industriel (L'Oréal, Solvay, Michelin...), une forte implication dans l'enseignement dans des écoles d'ingénieurs (X, CentraleSupélec, ENS Cachan, ENSTA, ...) et des universités (Paris Sud, Versailles), une masse critique quantitativement importante de chercheurs permanents ou contractuels (doctorants et post-doctorants)

Forte de plus de 1500 publications dans des revues internationales au cours des 5 dernières années, la recherche scientifique du pôle MSC souhaite aujourd'hui se structurer de manière encore plus visible, à travers notamment le renforcement de ses partenariats entre équipes, initiés et développés par les actions au sein du Triangle de la Physique, puis, plus récemment par les Labex Palm et NanoSaclay. L'ambition du pôle MSC de PhOM est de développer la recherche au meilleur niveau scientifique international et de favoriser, en synergie avec les Labex et les autres structures de l'Idex (plateformes, ITE, ...), les liens indispensables, avec d'une part les acteurs universitaires et les grands organismes de recherche (CEA, CNRS) et d'autre part, les centres de recherche des entreprises.

La réorganisation de la recherche de MSC sur le campus du plateau de Saclay sera une action majeure des trois prochaines années, avec la création de l'Institut Pascal, du C2N et l'implantation de Centrale Paris et de l'ENS Cachan. Cette réorganisation permettra d'asseoir dans Paris-Saclay la place de la recherche dans la Matière et les Systèmes Complexes avec un élargissement des activités, l'apport de nouvelles thématiques et une meilleure intégration géographique et thématique de tous les partenaires.

Périmètre thématique et enjeux

La matière et les systèmes complexes partagent la caractéristique générale d'être des systèmes physiques qui nécessitent dans leur description plusieurs échelles spatiales et temporelles. Ainsi en est-il des fluides entraînés loin de l'équilibre par des forces extérieures en régime turbulent ou des systèmes vitreux où tout un paysage d'énergies est pertinent. Beaucoup de systèmes biologiques partagent ces caractéristiques comme les biofilms ou les protéines lors de leur repliement à partir d'un état désordonné. Dans tous ces exemples la mécanique statistique apporte les bases élémentaires de notre compréhension grâce à sa capacité à remplacer une description exacte des degrés de liberté par une approche en terme de moyennes et de fluctuations. Les non-linéarités dans les équations ainsi que le désordre intrinsèque présent dans les interactions avec le milieu extérieur au système considéré sont très souvent des caractéristiques clés de la description.

Bien souvent, une structure dite "auto-organisée" ou "bottom-up" émerge à partir d'un état initialement désordonné de ces systèmes complexes. Cette structure peut-être un point d'équilibre du système comme une association micellaire d'un fluide de molécules tensioactives, un état métastable comme un verre ou un état maintenu loin de l'équilibre comme une assemblée de matière active ou un matériau sous irradiation.

Notre objectif commun est de comprendre les phénomènes physiques esquissés ci-dessus en combinant des approches théoriques en termes d'équations d'évolution impliquant des modèles d'énergie libre et des expériences qui exigent ou valident les approches théoriques en question. Parmi quelques grands enjeux actuels qui suscitent un intérêt dans la communauté MSC, on peut citer:

- la dynamique de systèmes complexes quand ils sont entraînés très loin de l'équilibre lorsque les descriptions de thermodynamique faiblement hors d'équilibre ne sont plus valides
- la maîtrise des échelles multiples en espace et en temps pour fabriquer des matériaux fonctionnels de composition complexe, malgré le désordre intrinsèque ou induit
- la fabrication de nouveaux blocs élémentaires nanométrique grâce à la chimie pour la construction d'ensembles complexes innovants que ce soit pour des matériaux d'intérêt optique ou pour la santé
- la manipulation des fluides des échelles laminaires (microfluidique) aux grandes échelles d'instabilités ou de turbulence
- s'inspirer de la matière vivante pour construire de nouveaux systèmes modèles révélant les mécanismes physiques sous-jacents à l'organisation complexe du vivant

Parallèlement aux enjeux fondamentaux esquissés ci-dessus, la pertinence des concepts mis en œuvre par MSC pour des applications est large. Ainsi en est-il de l'utilisation des fluides complexes comme matériaux d'intérêt pour l'industrie comme les fluides colloïdaux ou nanoparticulaires, les émulsions ou les mousses. Les systèmes auto-assemblés pour le vivant sont aussi au centre de nombreuses études pour la délivrance de médicaments ou l'exaltation de méthodes d'imagerie très résolues. Les concepts de systèmes complexes s'appliquent aussi à

la compréhension du comportement de matériaux sous contraintes comme les matériaux irradiés ou les empilements de grains ou bien les fluides turbulents.

Contexte géographique et interfaces

Malgré la grande variété des thématiques de recherche abordées par les membres du pôle MSC, il y a un fil conducteur commun à notre recherche: nous cherchons à comprendre le comportement collectif des systèmes qui se composent d'un grand nombre d'éléments constitutifs.

Cette richesse thématique est à l'origine de nos liens étroits avec plusieurs branches de la physique expérimentale: les techniques expérimentales utilisées sont assez diversifiées, certaines propres à la chimie de synthèse ou à la biomédecine, d'autres liées à l'utilisation de faisceaux d'ions, mais également les techniques de mesure du degré d'ordre (y compris les neutrons et rayonnement synchrotron), les spectroscopies (impédance, optique, ...) et les microscopies (optique, électronique, ...). Il faut souligner que des nombreuses études tirent profit de la proximité avec les instruments et les scientifiques du Synchrotron Soleil et du LLB, le laboratoire utilisateur du réacteur de recherche à haut flux de neutrons : ces deux installations sont situés dans le périmètre du campus de l'université Paris-Saclay.

Par ailleurs, cette recherche expérimentale **est en forte interaction** avec la théorie et la modélisation numérique qui bénéficient, au sein du campus, de moyens spécifiques pour les simulations et les calculs intensifs.

1-b) Potentiel de recherche et de valorisation

Le périmètre de MSC s'étend sur 16 laboratoires et comprend 223 chercheurs et enseignants-chercheurs (cf. le détail des activités en Annexe 1). Les laboratoires sont sur plusieurs sites de Cachan à Versailles en passant par Châtenay, Palaiseau, Orsay et Saclay. Les équipes de MSC sont souvent au sein d'unités comprenant des équipes qui appartiennent à d'autres pôles du Département PHOM ou d'autres départements (EOE, Chimie, MEP).

L'analyse du potentiel de recherche de MSC que nous présentons est basée sur une analyse bibliométrique entre les années 2008 et 2014. Cette analyse montre que la production scientifique se maintient toujours à un niveau supérieur à la moyenne mondiale avec chaque année la parution de publications se situant dans le "top" 1% de la production mondiale (cf. Annexe 2).

FAIT MARQUANT #1 :

Un exemple de matière active

L'émergence d'un ordre au sein d'une assemblée d'objets en interaction est toujours fascinante à étudier. L'observateur est alors face à de nombreuses questions sur l'origine profonde de cet ordre et les conditions de son apparition. Il est ainsi observé l'apparition de mouvements collectifs à deux dimensions de filaments polymériques déplacés par des moteurs moléculaires. Par une étude statistique du phénomène, il a été possible de remonter aux interactions élémentaires à l'échelle moléculaire responsables de cette organisation. Ce résultat, publié dans la revue Nature (Sumino et al., [Large-scale vortex lattice emerging from collectively moving microtubules](#), NATURE Volume: 483 Issue: 7390 Pages: 448-452(2012)) montre que, dans le cas présent d'objets biologiques, des interactions locales simples peuvent être à l'origine de phénomènes émergents complexes.

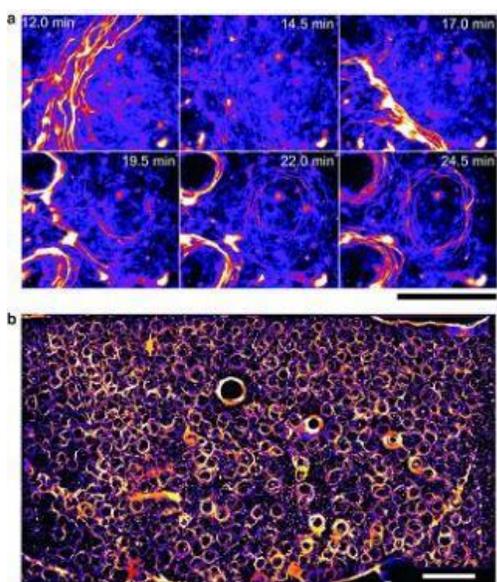
microtubules

b) *Vue générale du système après 30 minutes.*
Barre d'échelle: 2 mm

La physique de la matière active est un nouveau domaine de recherche qui traite de toutes les situations dans lesquelles de l'énergie est dépensée localement pour produire un mouvement cohérent, plus ou moins persistant. Ces situations nombreuses se présentent à toutes les échelles dans la nature comme dans des systèmes artificiels, depuis les mouvements de grands groupes d'animaux, d'essaims de robots, de colonies de bactéries ou d'amibes, de cellules biologiques au sein d'un organisme, jusqu'au niveau intra-cellulaire où les moteurs moléculaires, protéines transformant de l'énergie chimique en travail mécanique, sont responsables du transport et de l'organisation à grande échelle de la cellule.

C'est dans ce dernier contexte que des expériences *in vitro* bien contrôlées sont désormais possibles : des composants biologiques purifiés, provenant de cellules vivantes, sont mélangés de manière précise et les phénomènes coopératifs résultants sont observés, via un marquage fluorescent standard, au microscope.

L'expérience réalisée dans le groupe du professeur Kazuhiro Oiwa de [l'Advanced ICT Research Institute de Kobe \(Japon\)](#) a consisté à mélanger des microtubules (filaments polymériques assez rigides participant notamment à la cohérence du cytosquelette) et des moteurs de types dynéines¹ fixés à un substrat rigide. En présence d'ATP, les têtes des moteurs agrippent et poussent collectivement les filaments, qui se déplacent alors régulièrement dans un mouvement essentiellement bi-dimensionnel. Si la densité de moteurs attachés et celle des microtubules accrochés sont grandes, on observe en quelques minutes, de manière très spectaculaire, la formation d'un réseau de vortex de très grande



a) *Formation des vortex. Barre d'échelle: 500 um, soit environ 40 fois la longueur des*

taille (400 μm de diamètre) par rapport à la longueur des filaments (environ 10 μm).

Sous la direction d'Hugues Chaté ([IRAMIS/SPEC](#), CEA-Saclay), le dépouillement d'expériences supplémentaires ainsi qu'une modélisation semi-quantitative, ont permis de montrer que seuls deux ingrédients simples étaient à l'origine du mouvement collectif organisé en réseau de vortex : le mouvement persistant et sinueux des microtubules isolés et leur alignement nématique lors de collisions.

Cet ensemble de résultats est une première dans le domaine car il a permis de montrer clairement sur un cas "réel" ce qui n'est souvent qu'un acquis, voir un présupposé, théorique de la physique statistique moderne : un très petit nombre de mécanismes simples suffisent à rendre compte quantitativement de phénomènes émergents complexes. Au delà de cette satisfaction intellectuelle, ces résultats ont à priori une grande pertinence en biologie, notamment pour la compréhension de la rigidité des cellules végétales, et pourraient être exploités dans le domaine des bio-matériaux.

FAIT MARQUANT #2 :

Nanocomposites renforcés : des systèmes modèles pour décrire le comportement mécanique des pneumatiques

[Jacques Jestin](#), Nicolas Jouault, Chloé Chevigny

, François Boué, Laboratoire Léon Brillouin,

CEA Saclay ([Chevigny](#), Chloé; [Jouault](#), Nicolas; Dalmas, Florent, et al.

JOURNAL OF POLYMER SCIENCE PART B-POLYMER PHYSICS Volume 49 Issue 11 Pages: 781-791 Published: JUN 1 2011)

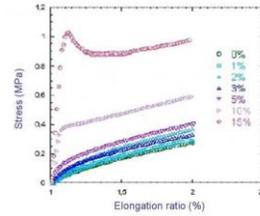


Un moyen d'améliorer les propriétés mécaniques des matériaux plastiques est de les renforcer par des nanoparticules, en formant ainsi un matériau composite. Une étude structurale détaillée par diffusion de neutrons, couplée à des essais mécaniques, d'échantillons de polystyrène renforcés par des grains de silice a été réalisée au Laboratoire Léon Brillouin (LLB) au CEA Saclay. Cette étude montre toute l'importance de savoir maîtriser la distribution des particules entrant dans la composition du matériau. Une autre étude a été menée par le greffage de petites chaînes de polymère à la surface des particules est aussi étudiée. Cette étude modèle trouve de nombreuses applications, en particulier dans le domaine du pneumatique. Les matériaux plastiques sont faits de molécules enchevêtrées ou polymères qui, selon les cas, peuvent être mous/visqueux, durs/cassants ou déformables (élastomères,

caoutchouc...). Ces matériaux présentent une large gamme de propriétés mécaniques (renforcement, adhésion, résistance à la rupture), thermiques (isolant), électriques (conductivité), optiques (couleur), permettant des applications dans divers secteurs industriels tels que les pneumatiques, les peintures, le pétrole ou les emballages alimentaires...

Ces propriétés remarquables peuvent être améliorées par inclusion au sein du matériau de particules formant ainsi des nanocomposites. Les particules doivent être les plus petites possibles (nanoparticules ~ 1 nanomètre = 10^{-9} mètre) : à cette échelle, les interactions spécifiques particules-particules et particules-polymère vont en effet permettre la mise en place d'organisations nouvelles des charges (dispersion individuelle, amas (agrégats), réseau connecté) et une plus grande affinité entre le polymère et les particules qui vont conduire à de nouvelles propriétés macroscopiques des matériaux. Les modèles mécaniques classiques, qui n'incluent pas ces contributions spécifiques, peinent actuellement à décrire correctement le comportement mécanique des nanocomposites. Il faut donc, via des systèmes modèles, pouvoir dissocier la contribution de chacun des composants (particules et chaînes de polymère) sur la réponse mécanique du matériau.

Les systèmes modèles sont constitués de nanoparticules de silice dispersées dans une matrice de polystyrène. En fonction de la concentration, les particules peuvent former des petits amas non connectés entre eux ou à plus haute concentration un réseau de charge continu.



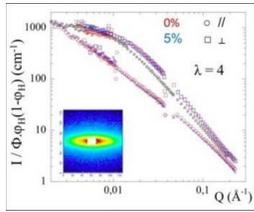
Courbes de contrainte-déformation (à droite) en fonction de la concentration en particules illustrant le renforcement du matériau avec l'accroissement de la charge (de 0 à 15%) en nanoparticules de silice.

Les échantillons ont été étudiés par diffraction de neutrons au laboratoire Léon Brillouin afin de déterminer leur structure moléculaire. En observant la diffusion aux petits angles, on observe l'organisation de la matière sur de plus grandes distances ce qui donne accès à la distribution des nanoparticules. Technique spécifique aux études par diffusion de neutrons, l'étude d'un mélange de chaînes hydrogénées et deutérées, permet de déterminer où sont les chaînes et la forme elles adoptent.

Dans le cas des applications pneumatiques, le matériau composite utilisé est soumis à de très fortes contraintes mécaniques. Ainsi, en parallèle aux études structurales par diffusion de neutrons, les propriétés mécaniques du matériau modèle ont été étudiées. On observe en particulier au seuil de connectivité des charges une divergence du facteur de renforcement mécanique (rapport des modules élastiques avec et sans charge de silice) du matériau, ce qui montre la corrélation directe entre la structure à l'échelle nanométrique et la réponse macroscopique du matériau. En parallèle, on détermine par diffusion des neutrons la conformation moyenne des chaînes de polymère. On montre que cette conformation

n'est pas affectée par la présence des particules et qu'en conséquence la déformation des

chaînes ne contribue pas au renforcement du matériau.



Spectre de diffusion de neutrons (DNPA) donnant la conformation des chaînes au sein du composite : quelque soit le taux de particules et de déformation et la masse des chaînes, celles-ci se déforment de la même manière, avec ou sans charge.

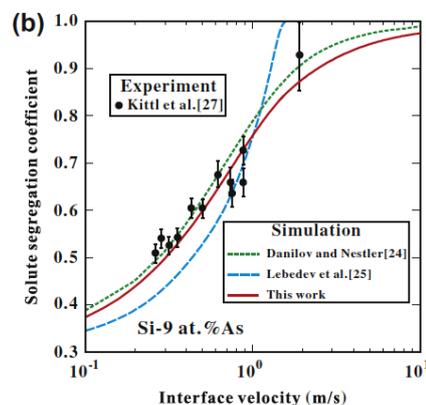
Le greffage de petites chaînes de polymère à la surface des particules, offre un moyen supplémentaire de contrôle de la dispersion des particules dans la matrice. En fonction de l'organisation des particules (agrégées ou dispersées), les chaînes greffées (observées par diffusion de neutrons) sont plus ou moins comprimées. Le renforcement mécanique est réduit dans ce cas, à cause de la déformation des chaînes aux interfaces avec les particules.

En conclusion, cette étude montre la corrélation entre la distribution d'une charge de nanoparticules et le renforcement mécanique d'un matériau plastique. Pour un meilleur renforcement, les nanoparticules doivent être dispersées et en densité suffisante pour être connectées. Le meilleur contrôle de la dispersion de la charge par le greffage de polymères sur les grains de silice réduit cependant le renforcement mécanique.

FAIT MARQUANT #3:

Modèle de champ de phase incluant de la dissipation d'interface

En solidification rapide il est nécessaire de développer des modèles qui soient aussi pertinents loin de l'équilibre. Dans ces transformations de phase rapides les interfaces sont souvent loin de l'équilibre et le potentiel chimique peut subir un saut à l'interface. Dans ce travail publié dans *Acta Materialia* [Volume 60, Issues 6-7](#), April 2012, Pages 2689-2701, M.Plapp du LPMC (Ecole polytechnique) et ses collaborateurs ont développé un modèle de champ de phase qui prend en compte les différences de concentrations de part et d'autre de l'interface. Les deux champs de concentrations sont alors liés par une équation cinétique qui décrit l'échange des composants entre les phases au lieu d'un simple équilibre de partitionnement. Pour un échange rapide entre les phases les potentiels chimiques sont égaux dans les deux phases en coexistence tandis que dans la limite opposée un comportement de fort non-équilibre peut être modélisé. Ceci est illustré sur la figure par des comparaisons flatteuses entre des simulations de la ségrégation d'un soluté, un calcul issu du présent travail et des résultats expérimentaux.



Forces :

- Les activités de MSC ont pour particularité une forte complémentarité entre théorie et expérience. La théorie est un élément remarquable et de fort impact : souvent en forte

conjonction avec l'expérience, elle est une valeur ajoutée certaine aux travaux de MSC. Le fait marquant 1 illustre cet aspect en liaison avec la modélisation de matière active que l'on rencontre en biologie.

- MSC bénéficie d'outils expérimentaux de pointe au sein de ses laboratoires. De plus, MSC bénéficie grandement de la source de neutrons ORPHEE à laquelle est adossée le LLB et du synchrotron SOLEIL. Par ailleurs les plateformes techniques et technologiques, comme celles qui seront regroupées au sein du futur Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies sont très utiles à MSC pour élaborer de dispositifs originaux et caractériser des matériaux complexes (voir l'encadré Fait marquant 2). Nous mettons à profit la complémentarité des approches (comme rayons X-neutrons ou microfluidique-rayons X par exemple) ce qui permet de produire des publications de fort impact, notamment grâce à la présence d'une source de neutrons sur le plateau. **Il faut redire ici que, notamment pour l'études des éléments légers présents dans la matière organique (polymères, tensio-actifs,..) l'utilisation de la diffusion de neutrons reste un outil unique qui ne peut être remplacée par la diffusion de rayons x notamment (cf. fait marquant 2).**
- L'action du Triangle de la Physique (axe 3), poursuivie par le thème 2 du Labex Palm a permis de structurer la communauté de MSC depuis plusieurs années autour de nombreux projets collaboratifs entre équipes différentes.
- MSC est adossée à plusieurs disciplines (sciences des matériaux, ingénierie, chimie, biologie ou pharmacie) ce qui permet de répondre avec succès aux appels d'offre interdisciplinaires de l'Idex et des différents Labex Palm (physique), Nanosaclay (nanosciences et nanotechnologies), Lermite (médecine) et LaSIPS (ingénierie). Les actions en modélisation expérimentale et théorique liées aux sciences du vivant donnent déjà lieu à des actions communes avec Palm, Nanosaclay et Lermite que nous proposerons d'accentuer dans notre stratégie future.
- Une production scientifique de premier plan : le taux de citation des articles se maintient nettement au-dessus de la moyenne mondiale depuis plusieurs années, avec chaque année quelques publications parmi les 1% les plus citées au monde, selon l'analyse bibliométrique des publications du domaine.
- **Des offres** de formation de niveau M2 Erasmus Mundus II **sont coordonnées par** l'ENS Cachan et CentraleSupélec et **permettent d'irriguer efficacement les équipes des deux établissements.** La présence d'enseignants-chercheurs dans MSC assure un contact avec les étudiants. Un aspect de formation continue est assuré avec succès en local pour les grands instruments par les FANS du LLB.
- La valorisation de la recherche constitue un élément important de notre pôle et de nombreux axes de nos recherches sont en lien avec des actions industrielles ce qui nous place dans un contexte favorable au développement de l'innovation et à son transfert technologique.
- Deux Equipex, Matmeca et TEMPOS, sont dans le périmètre de MSC

Faiblesses :

- La communauté est morcelée, souvent sous forme d'équipes de petite taille dans de plus grandes unités. Elle est aussi distribuée géographiquement sur tout le campus.
- Nous constatons qu'il est difficile d'attirer les étudiants sur le campus dans nos thématiques, et ce d'autant plus que l'offre de formation en L3 et M1 n'est pas partout assez orientée vers les thématiques couvertes par le pôle « Matière et système complexes ».
- Le nombre d'étudiants en thèse par chercheur reste faible (<1) dans la plupart des laboratoires.
- Peu de séjours sabbatiques sont effectués ce qui ne permet pas de renouveler les thèmes de

recherche de manière aisée et fluide

- Manque d'une structure permettant de fédérer le pôle en favorisant l'émergence de séminaires communs ou de rencontres thématiques : le département PHOM devrait remédier à cet état de fait.
- Les frais de fonctionnement des plateformes et des équipements sont rarement financés de manière récurrente. De plus le renouvellement des équipements lourds et mi-lourds n'est pas assuré. **Nous proposons plus loin, à propos du thème Matériaux multi-échelles, un schéma de financement pour des matériels éligibles d'usage collectifs et qui permettrait de conserver le meilleur niveau international en caractérisation au service de la communauté.**

1-c) Positionnement national et international

- De nombreuses ANR passées ou en cours témoignent de l'attractivité de nos laboratoires au sein de consortiums nationaux où sont présentes des entités complémentaires aussi bien à Paris Centre (ESPCI, ENS Paris, UPMC, U. P. Diderot) qu'en province (Strasbourg, Marseille, Montpellier, Bordeaux, Rennes). Dans nos laboratoires sont aussi présents des étudiants en thèse formés aussi bien à Paris Centre, en province ou à l'étranger.
- Existence de 2 ERC
- Appartenance à de nombreux réseaux européens

Le rassemblement de chercheurs à l'échelle de MSC sur des thématiques couvrant l'ensemble de la Matière et Systèmes Complexes ne se compare, à notre connaissance, à aucun autre ensemble international. Ceux-ci sont plutôt organisés à une échelle plus petite (groupe centré autour d'un professeur aux USA, d'un petit nombre de permanents au MPI en Allemagne sur une thématique plus restreinte). Par exemple le Department of Physics and Complex Systems au Weizmann Institute (Rehovot, Israël) comporte 20 permanents, 50 PhD et 10 post-docs, un équilibre très différent de MSC.

1-d) Positionnement stratégique

Opportunités :

- Les thématiques de MSC sont présentes dans les mots-clés de H2020 et de l'ANR (Santé, Matériaux, Energie, Environnement) ce qui place les laboratoires en position favorable pour répondre. En particulier des actions ont déjà été entreprises ces dernières années pour participer à des consortiums répondant à l'enjeu de la santé. Ce sont des actions sur la vectorisation et l'imagerie de nanoobjets qui ont été lancées dans l'orbite du Labex Nanosaclay (projet phare Nanomédicaments) ou des projets interdisciplinaires de l>IDEX ou de la nanotoxicologie (actions C'Nano).

Les actions sur le redressement industriel ont été validées par l'ANR dans le domaine des nanoparticules innovantes, des nanomatériaux bioinspirés ou des membranes. L'interdisciplinarité a donc permis de monter des consortiums pour répondre à des appels d'offre variés (ex. : Plan cancer, ...) et la structuration de MSC dans Paris-Saclay devrait permettre de fédérer de manière optimale les forces sur place à l'heure actuelle plutôt dispersées

- Couplage industriel possible voire aisé. Un nombre important d'acteurs dans le domaine de l'énergie et des matériaux avancés (aéronautique/espace, transports) est présent ou en cours d'implantation sur le plateau.

- Plusieurs DIMs régionaux (Nano'K, Oxymore, Analytics, Systèmes complexes) sont connexes aux activités de MSC
- Il existe aussi d'autres appels d'offre spécifiques au sein du CNRS qui sont proches des thématiques de MSC
- Existence de sites thématiques complémentaires en province pour monter des consortiums ANR (Grenoble, Bordeaux, Strasbourg, Montpellier, Marseille,...)
- La stratégie du CEA/IRAMIS consiste à regrouper les forces en Nanosciences dans un bâtiment unique du centre de Saclay ce qui dynamisera les actions en MSC présents principalement au LIONS grâce à un couplage renouvelé avec le Département de Chimie auquel appartiennent beaucoup de chercheurs de l'IRAMIS en Nanosciences.
- La stratégie du CNRS de regrouper les forces de nanofabrication au C2N constitue également un aspect qui va dans le sens de l'importance accrue de la microfluidique et autres nanostructures (adhésion, mouillage) en MSC
- La venue de l'ISMO et de son pôle en physique du vivant compris dans MSC sur le plateau, proche du laboratoire de physique des solides constitue également un élément de stratégie de Paris-Sud favorable
- L'implantation de CentraleSupélec et de l'ENS Cachan au sein du campus.
- Paris Centre est un site concurrent pour l'attraction d'étudiants mais en fait essentiellement complémentaire pour notre thématique (nombreux projets en communs)

Menaces :

- Dispersion involontaire thématique liée à la recherche de contrats
- Financement de la théorie (difficulté/ANR)
- Renouvellement d'appareils de pointe, maintenance
- Diminution ou disparition du récurrent
- Gel des recrutements, peu d'attractivité pour les étudiants
- Transport sur le plateau

2 Stratégie partagée de recherche

a) Animation scientifique et structuration

La communauté MSC est assez morcelée et est très demandeuse de moyens lui permettant de se regrouper et de mieux se connaître. **Nous proposons dès cet automne de démarrer des ateliers thématiques et des séminaires communs.** De même l'existence et la gestion (mise à jour) d'une liste de diffusion MSC serait souhaitable. Ces actions ne demandent qu'un financement réduit et du temps de secrétariat. Nous proposons également l'organisation d'écoles prédocs permettant d'attirer des étudiants en nombre plus important.

b) Physique d'objets biologiques, auto-organisation et matière vivante

Les organisations du vivant, à l'instar de la matière complexe, s'étendent sur de larges gammes d'échelles spatiales et temporelles allant des moteurs moléculaires à l'échelle nanométrique aux organes ou populations d'êtres vivants d'échelle macroscopique en passant par les cellules d'échelle micronique. L'étude des phénomènes physiques sous-jacents de ces systèmes multi-échelles pose une première classe de défis de modélisation théorique ou expérimentale. En particulier, il est intéressant de comprendre comment l'assemblage d'éléments unitaires (protéines, bactéries ou poissons, par exemple) permet de former des structures complexes d'échelle supérieure, et possédant de nouvelles propriétés bien définies. Il est ainsi essentiel de considérer le caractère « actif » et hors d'équilibre des systèmes étudiés pour aborder le comportement collectif de cellules vivantes, la croissance de biofilms ou même le comportement collectif d'animaux. A une échelle plus moléculaire, le repliement de protéines, l'auto-organisation de membranes lipidiques, le transport et la mécanique intra-cellulaires, l'infection virale relève d'une autre classe de défis théoriques et expérimentaux également abordés dans MSC.

Une troisième classe de défis concerne la synthèse, l'administration et le suivi de principes actifs, souvent nanostructurés, *in vivo*. La synthèse fait appel à la science de l'auto-assemblage pour obtenir des assemblages bien définis et reproductibles, caractérisés à l'échelle nanométrique, toutes compétences déjà à l'œuvre dans MSC.

On peut citer comme sujets prioritaires dans les prochaines années d'élucider:

- Le rôle des processus d'auto-assemblage dans la morphogénèse des systèmes vivants (noyau cellulaire, cytosquelette, systèmes membranaire, virus, formation de biofilms,...)
- Comment les phénomènes hors d'équilibre à l'œuvre dans le vivant permettent aux différents systèmes de se mouvoir ou se déformer (migration de cellules eucaryotes, auto-propulsion de bactéries, déplacement des bancs de poissons, etc...)
- Comment la structure intracellulaire gêne ou favorise le transport vésiculaire ou de virus entre la membrane et le noyau ?
- Comment des cellules individuelles s'organisent pour former un biofilm ?
- Quels sont les mécanismes physiques sous-jacents à l'organisation en colonies dynamiques de

populations d'individus en réponse à un stress extérieur ?

-Quelle est la relation entre la morphologie et la fonction dans le vivant (par exemple dans l'étude de la morphogenèse du poumon ou du placenta) ?

-Quels sont les mécanismes physiques d'auto-propulsion de bactéries ayant une mobilité flagellaire ?

-Comment fonctionne l'effet EPR (*Enhanced and Permeability Retention Effect*) pour la pénétration accrue de nanoparticules dans les cellules en fonction de l'auto-assemblage choisi pour la formation des nanoparticules ?

-Peut-on efficacement coupler délivrance de médicament et effet d'imagerie (théranostique) à l'échelle de nanoparticules ?

Propositions d'actions structurantes

Les acteurs de la communauté physique et vivant sont non seulement dans PHOM-MSM mais aussi pour certains dans le pôle Optique de PHOM ainsi que dans les départements EOE, Chimie et SDV. Il est donc essentiel et nécessaire de proposer des actions transversales à ces communautés qui se répartissent également dans plusieurs LABEX imperméables. Aussi nous proposons à court terme :

- 1- La mise en place de schémas de financement de type interGT (semblables aux initiatives Interlabex) sur des appels ciblés : en effet le faible nombre de chercheurs au sein d'un unique GT ou Labex (pas de financement Labex pour un non-membre) est un obstacle pour l'élaboration de projets avec des stratégies crédibles. Ces Labex potentiels sont au moins Palm (voir ci-dessous §6), NanoSaclay (cf. §5) et Lermite (§7). **Des effets de levier à partir d'une aide initiale sont donc à prévoir.**
- 2- Le recensement fin et la mise en réseau des chercheurs concernés par ces thématiques grâce à un financement dédié. Cette action pourra s'appuyer sur le travail déjà effectué par N. Hildebrandt (EOE)
- 3- Le développement de compétences et accès aux ressources numériques pour le traitement et l'analyse d'images
 - i. en relation avec les efforts en « BigData »
 - ii. avec la maison de la simulation
 - iii. en lien avec l'infrastructure nationale de recherche FranceBioImaging

Ce développement pourrait prendre la forme d'une mise en commun de ressources au sein d'une structure dédiée à créer en coordination possible avec le pôle 6.

Le développement des actions ci-dessus bénéficie d'un contexte favorable car :

- 4- Au sein du GT PhOM, le pôle 6 (Optique) semble manifester un intérêt pour des actions physique & vivant, puisque les systèmes biologiques sont un terrain de choix et extrêmement demandeurs de caractérisations optiques et développement instrumentaux. Il pourrait s'associer à la demande précédente (§3).
- 5- Au sein de NanoSaclay il existe une communauté déjà structurée au sein du premier flagship « Nanomed » (responsable P. Couvreur) qui sera en mesure de s'associer à des actions dans le périmètre thématique de l'axe physique-vivant lors de la seconde phase d'existence de « Flagships » en cours d'instruction

- 6- Il existe une volonté de PALM de faire évoluer l'actuel thème 2 pour la 2eme phase du Labex vers: « Systèmes complexes: des processus hors équilibre à la matière vivante » en bonne adéquation avec le pôle 3 de PHOM, en particulier sur l'interface Physique-Vivant. Une réunion en ce sens a eu lieu le 22/5/2015 et a validé les conclusions ci-dessus.
- 7- Les recouvrements avec les actions envisagées par le département SDV sont probables (Institut Galien : E. Fattal, P. Couvreur, V. Rosilio, N. Tsapis, ...) ;Groupe SGT 5 de SDV (V. Fromion, J-L Folon) ainsi qu'avec la chimie (ISMO : R. Gref, ICCMO, I. Lavoisier : C. Serre) : notre initiative pourrait donc devenir interdépartemental pour tout ou partie.
- 8- Le défi sociétal « Santé » est très présent à l'ANR et dans H2020 ce qui peut concrétiser des financements incitatifs à une échelle supérieure.

c) Matériaux multi-échelles et adaptatifs :

Les matériaux à échelles multiples bénéficient de l'approche des systèmes complexes puisque:

- 1) l'auto-assemblage peut être utilisé pour créer des matériaux avec des différentes échelles spatiales dans des conditions douces de pression et température.
- 2) l'approche multi-échelle est caractéristique des systèmes complexes dotés d'une structure spatiale et capables de réponses spécifiques à des échelles temporelles différentes.
- 3) des briques élémentaires peuvent être synthétisées par des procédés chimiques: ces nano-objets constituent une première échelle supramoléculaire au dessus de l'échelle moléculaire.

Au-dessus de l'échelle moléculaire, la nanochimie et la physique de la matière condensée donnent des lignes directrices pour synthétiser des nanobriques comme les nanoparticules métalliques ou oxydes, mais aussi des micelles auto-assemblées constituées des surfactants ou des polymères. Les avancées récentes concernent la synthèse contrôlée (d'un point de vue qualitatif et quantitatif) de nanoparticules aux caractéristiques sophistiquées (patchy, Janus, aiguilles et plaquettes anisotropes, nanotubes, ...). L'assemblage de ces nanoparticules dans un solvant ou dans une matrice polymère est une première étape pour la fabrication d'un matériau multi-échelle où les propriétés mécaniques (optiques,...) sont accordables par l'intermédiaire du processus d'assemblage.

D'autres matériaux peuvent être fabriqués par des processus dynamiques comme des mousses, émulsions ou des séparations de phases qui peuvent être stabilisées après un certain stade. Dans ces processus, le contrôle des interfaces est essentiel pour doter le système d'une porosité désirée ou pour engendrer une texture particulière du matériau par rapport à une surface. D'énormes avancées ont été réalisées par une meilleure connaissance des éléments tensioactifs, de la distribution des polymères aux interfaces et grâce aux progrès de la chimie des surfaces. La microfluidique est une approche récente et en expansion croissante pour aider à contrôler les interfaces grâce à leurs propriétés de mouillage spécifiques. Cependant, nous sommes, par exemple, encore loin de reproduire le contrôle des matériaux sur plusieurs échelles, comme dans certains biominéraux, où chaque échelle de la brique élémentaire jusqu'à des microstructures visibles possède une propriété spécifique. Nous manquons également d'une parfaite maîtrise de l'organisation des nanoparticules au sein d'une matrice ou à une interface pour atteindre précisément la propriété souhaitée.

L'autre aspect que nous proposons d'étudier pour ce type de systèmes concerne la formation d'interfaces et l'apparition de motifs géométriques dans les phases condensées (métaux, alliages, oxydes, ...). Parfois, ces formes et structures sont le résultat de l'interaction avec un substrat, comme

dans les procédés de fabrication *top-down*. Mais très souvent, la structure et l'auto-organisation émergent à partir d'un état initialement non structuré. C'est le cas dans de nombreux systèmes initialement maintenus loin de l'équilibre (par un flux de matière ou d'énergie) et qui peuvent évoluer spontanément pour donner lieu à des structures ordonnées et à des motifs géométriques. Dans une démarche visant à comprendre les phénomènes physiques pour concevoir des matériaux avec des propriétés sur mesure, il est alors utile de combiner nos connaissances de l'équilibre avec des concepts des systèmes hors d'équilibre, en utilisant des équations d'évolution impliquant une fonctionnelle de l'énergie libre et des paramètres d'ordre qui décrivent les inhomogénéités du système comme un fluide complexe.

La formation spontanée de motifs est une caractéristique de plusieurs systèmes intéressants et il est généralement la signature de l'apparition d'une régularité, soit dans son organisation spatiale ou bien, en fonction du temps, de son évolution suite, par exemple, à une transformation de phase. Ces phénomènes sont intéressants en soi en raison de leurs caractéristiques non-linéaires, et déjà largement étudiés par les scientifiques concernés par la dynamique des fluides et de la chimie: la compréhension de ces phénomènes en physique du solide est en revanche moins développée et il nous semble important de comprendre les caractéristiques des interfaces et les formations de motifs en présence de défauts cristallins. Ce problème concerne donc le couplage entre plusieurs échelles caractéristiques: atomiques dans la direction normale à l'interface mais mésoscopiques dans les directions parallèles à l'interface.

Dans ces systèmes, il est aussi important de décrire leur évolution lorsqu'ils sont maintenus loin des conditions d'équilibre (températures extrêmes, des pressions et / ou irradiation), car ils peuvent donner lieu à des modifications de leurs propriétés favorables ou indésirables, liées à des phénomènes de recristallisation, grossissement, précipitation spontanée, propagation de fissures, etc. Ces phénomènes représentent d'énormes défis pour prédire le comportement de ces systèmes et contrôler les paramètres pertinents aux différentes échelles est la clé pour parvenir à une meilleure conception de leurs propriétés structurelles et fonctionnelles. Ce type de défi peut bénéficier de l'utilisation du rayonnement synchrotron et des faisceaux de neutrons présentes sur le campus de Paris-Saclay: ces techniques expérimentales sont facilement accessibles et ils peuvent fournir une validation des résultats numériques, permettre le raffinement des modèles et, *in fine*, conduire à une prévision fiable du comportement de ces systèmes.

Quels sont les objectifs?

- 1) fabriquer des matériaux ayant des propriétés améliorées par rapport ux matériaux homogènes, semblables au biominéraux, plus résistants à la rupture, à des attaques chimiques ou bien des matériaux sous forme de multicouches
- 2) obtenir des matériaux poreux de meilleure qualité pour la catalyse, la filtration ou la récupération d'énergie; utiliser des émulsions, des mousses ou matériaux à séparation de phases;
- 3) produire des matériaux par l'assemblage de nanoparticules, avec des orientations contrôlées; être capable d'augmenter les débits des procédés actuels, pour la production de quantités importantes en vue d'applications
- 4) mettre au point des matériaux présentant de nouvelles propriétés pour la transmission des ondes, comme par exemple des métamatériaux: il faut ainsi développer des matériaux composites anisotropes à l'échelle nanométrique
- 5) fabriquer des matériaux multicouches de propriétés contrôlées

De quoi manquons-nous comme connaissances pour aborder les aspects ci-dessus?

- 1) nous ne savons pas comment construire des matériaux hiérarchiques par des procédés *bottom-up*; nous ignorons comment les fractures se propagent dans des matériaux composites; nous ne disposons pas des modèles pour nous guider dans leur synthèse
- 2) nous avons besoin de microfluidique pour contrôler le transport des fluides, d'informations basées sur des approches théoriques pour contrôler la formation de pores lors des séparations des phases ainsi que dans les mousses
- 3) une meilleure description des matériaux vitreux et des transitions de phase associées ; savoir utiliser les progrès théoriques pour obtenir des prescriptions pour fabriquer des matériaux vitreux fonctionnels ou des matériaux faits de briques élémentaires de type vitreux
- 4) utiliser l'auto-assemblage pour construire des matériaux nanostructurés de plus grandes dimensions (2D et 3D) ; mettre au point les processus de conception pour éviter / guérir / contourner les défauts de ces matériaux
- 5) pour les matériaux multicouches quelle est l'importance de la géométrie de l'interface couplée à sa nature chimique? Quelle est l'importance d'une description atomistique de l'interface? Comment établir si les caractéristiques de l'interface sont résilientes à des perturbations externes (irradiation, température)?
- 6) pour tous les problèmes ci-dessus, il est indispensable de développer de nouvelles techniques expérimentales, le plus souvent *in situ*, pour caractériser les mécanismes qui affectent les nanoparticules, par exemple les phénomènes de croissance, en particulier les techniques faisant appel aux neutrons, à la microscopie, au rayonnement synchrotron, aux spectroscopies; développer de nouvelles approches de la microfluidique (approches d'auto-enroulement, l'impression 3D, la nanofluidique) avec de nouvelles techniques (diminution de la taille, plus grand choix de matériaux, instrumentation); faire une plus grande utilisation des centrales et des plateformes de fabrication

Propositions d'actions structurantes

Le développement des actions ci-dessus bénéficie d'un contexte favorable car :

1. Il peut s'appuyer sur un certain nombre d'Equipex présents à proximité des équipes du pôle 3 (Digiscope, Matmeca, Tempos)
2. Ce type de défi est en mesure de fédérer plusieurs laboratoires de PhOM, dans le pôle 3 ainsi que dans le pôle 7, mais aussi des forces présentes dans d'autres départements (en particulier EOE, Chimie et MEP).
3. Plusieurs des actions de ce défi sont susceptibles de s'inscrire dans les thématiques affichées du work-program de H2020, notamment dans les appels de type NMP. Le département PhOM pourrait jouer un rôle structurant pour les chercheurs concernés, souvent présents dans des équipes de taille modeste et favoriser la visibilité des activités de recherche auprès des partenaires industriels indispensables pour monter des projets compétitifs à l'échelle de l'Europe.

Aussi nous proposons à court terme :

1. La mise en place d'un financement dédié pour aider au montage de projets de recherche dans le domaine des matériaux multi-échelle entre équipes thématiquement complémentaires et géographiquement séparées, mais en mesure de constituer des ensembles de chercheurs capables de répondre aux appels H2020 .
2. **La mise en place d'un fond de soutien récurrent pour assurer le fonctionnement d'équipements mi-lourds de caractérisation de pointe présents au sein des équipes et qui**

sont utilisés par plusieurs équipes de Paris-Saclay. Ces équipements sont par exemple des microscopes électroniques ou à sonde locale, des diffractomètres de rayons x ou des rhéomètres. Ils sont souvent indispensables pour préparer et optimiser des études expérimentales sur des plateformes instrumentales nationales ou internationales. Le soutien demandé pour ces appareils permettrait de garantir leur maintenance au meilleur niveau, leur jouvence ainsi que leur réparations éventuelles dans des délais courts. Seraient éligibles les appareils dont la mise à disposition effective à la communauté des chercheurs de Paris Saclay constitue une part importante du temps d'utilisation et que les laboratoires peinent à entretenir sur leurs budgets récurrents. Ce fonds aurait aussi pour effet de favoriser la mutualisation des futurs investissements dans des équipements de pointe. Les appareils visés sont souvent bien entourés par des personnels compétents techniquement pour l'encadrement des expériences, mais aussi capables de mener les développements méthodologiques liés à ces techniques. Le parc d'appareils ainsi **identifié** constituerait aussi une vitrine attractive dans une perspective de valorisation du savoir-faire des compétences des équipes concernées envers les collègues extérieurs à Paris Saclay ou surtout les industriels. Le pôle 7 pourrait s'associer à une telle demande pour une approche caractérisation de matériaux plus large.

d) Risque & Environnement : prédictabilité et variabilité d'événements extrêmes

La gestion des risques et la prévention des catastrophes nécessite très souvent d'être en mesure de prévoir les écarts, les « fluctuations », par rapport à la réponse typique, « en moyenne ». Et cela n'est pas toujours une mince affaire ! Dans nombres de situations incluant par exemple la turbulence des fluides, les avalanches granulaires, les éboulements de terrain, la fracture brutale des solides, les problèmes de tremblements de terre..., le comportement se trouve dominé par un faible nombre d'évènements extrêmes et ne peut pas se déduire à partir des méthodes d'homogénéisation classiques et/ou de l'application du théorème centrale limite.

Dans les problèmes de turbulence, par exemple, des évènements extrêmes apparaissent de manière inhomogènes à la fois en espace et en temps, soit aux échelles macroscopiques (tempêtes, cyclones, brusques changement de vents) ou aux échelles microscopiques (dissipation d'énergie). Etre en mesure de comprendre, pour à terme prévoir et contrôler leur dynamique et leur statistique est un défi majeur dans les domaines de l'énergie (éolien, effets de trainée) du génie civil (design des ponts et bâtiments et estimation des sollicitations subies ou des applications liées aux plasmas (fusion, plasmas magnétiques). La difficulté du problème réside :

1. dans la séparation importante entre l'échelle (macroscopique) à laquelle l'énergie est injectée et l'échelle (microscopique) à laquelle elle est dissipée, ce qui rend toute simulation numérique directe des équations sous-jacentes (équations de Navier-Stoke) impossibles ;
2. Dans la présence d'interactions longues portées, en espace et en temps, qui invalide l'utilisation du théorème central limite ou des outils de la physique statistique à l'équilibre ;
3. La possible existence de singularités à petites échelles amenant un certain nombre de problèmes de convergence et de régularisation des solutions

En revanche, des expériences de laboratoire simplifiées et bien contrôlées semblent reproduire une bonne partie des aspects complexes observés dans les systèmes naturels: Dynamique chaotique des renversements du champ magnétique terrestre (dans l'expérience VKS), dynamique de blocage et présence d'attracteurs dans la circulation atmosphérique (écoulement en géométrie Von-Karman au

CEA), les asymétries cyclone/anticyclone de l'atmosphère (expérience Gyroflow au laboratoire FAST), dynamique de cascades dans les atmosphères stratifiés (expérience au LadHyx). Cela suggère que la complexité du problème est principalement gouvernée par un petit nombre de mécanismes invariants d'échelle qui peuvent être reproduits et étudiés expérimentalement en laboratoire. La connaissance ainsi obtenue peut ensuite permettre de guider des formalismes théoriques (dérivés de la physique statistique des systèmes hors-équilibre, de la théorie des systèmes dynamiques, des modèles stochastiques avec bruits additifs et/ou multiplicatifs, des équations d'amplitudes...).

Dans les problèmes de fracture brutale (ou fracture fragile), la contrainte à rupture des solides se trouve dictée par un petit nombre de points faibles, « extrêmes » dans le matériau. Prévoir sa variabilité n'est alors pas une mince affaire ! En l'absence de corrélations, la statistique sur la contrainte à rupture est donnée par la théorie de Weibull (théorie dite du maillon le plus faible). Celle-ci amène néanmoins un certain nombre de prédictions anormales et en particulier une contrainte à rupture moyenne qui tend vers zéro lorsque la taille des structures diverge, en contradiction avec les observations.

Comment, d'un point de vue pratique, prévoir quand un matériau casse ? Les ingénieurs contournent le problème en le ramenant à la déstabilisation, puis la propagation d'une fissure unique dans un matériau effectif homogène. Cette approche souffre de plusieurs limitations :

1. Elle nécessite l'introduction d'une constante matériau empirique : la ténacité ;
2. Elle prévoit des dynamiques de rupture régulières et continues, en contradiction avec les dynamiques erratiques, dites de crackling, observées dans de nombreuses expériences de rupture, et à plus grande échelle dans la sismicité accompagnant les tremblements de terre.

L'utilisation d'outils et de formalismes issus de la physique statistique hors équilibre s'est récemment avérée extrêmement prometteuse pour examiner ces problèmes de rupture. C'est leur développement et leur qualification sur des expériences de laboratoire analogues bien contrôlées qui pourra permettre de mieux comprendre, puis prévoir et contrôler les aspects statistiques inhérents au problème de rupture..

Dans le cas des milieux granulaires, ces dix dernières années ont vu des progrès importants sur la compréhension de l'état « liquide ». En particulier, il existe maintenant une loi rhéologique simple qui permet de décrire des grains en écoulement dans la plupart des situations. En revanche, la manière dont un empilement de grains transite d'un état « solide » à un état « liquide » reste beaucoup moins bien compris. Cette transition peut être source de catastrophes en amenant la déstabilisation d'un grand nombre de grains : avalanches, effondrements de falaise et génération de tsunamis, liquéfaction des sols induisant l'effondrement de structures...

Ces dernières années ont vu de nombreux développements expérimentaux dans ce domaine et des techniques comme la photoélastimétrie, la diffusion de lumière ou l'acoustique non-linéaire vont permettre de collecter beaucoup d'informations sur ces problèmes dans les prochaines années. Côté simulations et modélisations numériques, les aspects statistiques et nonlinéaires restent difficiles à appréhender mais font l'objet de nombreux travaux. Le rôle potentiel joué par le fluide interstitiel commence aussi à être pris en compte. Plusieurs laboratoires du Campus Paris-Saclay travaillent sur ces aspects et combinent expériences, théorie et simulations.

Un paradigme aux situations discutées ci-dessus est un système désordonné pour lequel l'énergie associée à chaque configuration est aléatoire. A faible température, les configurations les plus

probables sont celles d'énergie minimum et, en l'absence de corrélations, leur statistique est comprise grâce à la théorie classique de Gumbel, Frechet et Weibull sur les statistiques d'événements extrêmes. Le cas des systèmes fortement corrélés reste quant-à-lui encore incompris, mais les progrès se développent très rapidement dans ce domaine.

Propositions d'actions structurantes

Il s'agit ici d'actions à moyen ou long terme qui peuvent s'envisager en liaison avec les départements SPU (plasmas, granulaires, fracture) ou MEP (turbulence).

e) Dynamiques hors équilibre, thermodynamique stochastique

Lors du refroidissement de l'univers qui a suivi le Big Bang, deux formes distinctes de comportements loin de l'équilibre ont émergé: certaines régions se sont écartées de l'équilibre par un apport énergétique constant, tandis que d'autres ont perdu la capacité d'explorer l'espace des phases et sont donc figées dans des configurations hors équilibre.

Le premier de ces comportements génériques était au centre des efforts de recherche intenses : des exemples sont fournis par des matériaux granulaires sous contrainte mécanique et par les matériaux irradiés. Ces systèmes *forcés* explorent l'espace de phase d'une manière très différente par rapport aux systèmes proches de l'équilibre. Il apparaît que le flux énergétique doit être considéré comme un paramètre de contrôle supplémentaire dont l'interaction avec les variables habituelles (température, pression, etc.) conduit à de nouveaux types des diagrammes de phases pour ces systèmes forcés hors d'équilibre. Malgré les progrès constants qui ont eu lieu au cours des dernières décennies, une compréhension des principes généraux régissant de tels systèmes loin de l'équilibre fait toujours défaut et il est certainement un défi majeur de la recherche pour l'avenir.

Le deuxième comportement reste encore mal compris et a des racines profondément ancrées dans l'étude de la transition vitreuse (le gel d'un liquide dans un solide désordonné et hors équilibre) et de l'état vitreux de la matière. La nature des verres nous oblige à considérer plus profondément la question apparemment simple mais non triviale et non résolue "Qu'est-ce qu'un solide?". En outre, sa compréhension est étroitement liée à la solution de la question plus générale du problème du "paysage énergétique rugueux", qui a un grand impact et des ramifications dans des champs disparates tels que le repliement des protéines, le transport biologique dans des environnements denses (par exemple, l'intérieur des cellules et les tissus denses), l'informatique (par exemple, les problèmes d'optimisation), **les lasers aléatoires** et aussi pour la théorie des cordes (le problème du paysage, à savoir l'accroissement exponentiel du grand nombre d'états vides possibles).

Dans les 2-3 ans à venir, les défis les plus urgents, communs à tous les systèmes loin de l'équilibre, **auxquels** nous serons confrontés et que nous espérons résoudre sont:

1. **Le développement ultérieur** de la thermodynamique stochastique et hors d'équilibre pour étudier l'efficacité des machines hors d'équilibre.
2. La généralisation de concepts tels que la température et les relations de fluctuation-dissipation à de nouveaux types de systèmes hors d'équilibre (par exemple, la matière active)

et les systèmes hors d'équilibre quantifiés)

3. La compréhension expérimentale et théorique des propriétés inhabituelles des matériaux irradiés, des solides amorphes, des systèmes bloqués (jammed) de la matière molle, des matériaux granulaires et des verres.

En particulier, la compréhension de la transition de blocage est encore un défi qui peut également être étudié dans les mousses, les émulsions et même dans des nouvelles mousses d'émulsion. Pour ces développements expérimentaux, des spectroscopies en temps résolu avec assez de résolution spatiale sont nécessaires.

Propositions d'actions structurantes

Il s'agit ici d'actions à moyen ou long terme qui peuvent s'envisager en liaison avec le labex PALM.

ANNEXE 1

LPS (Univ. Paris Sud, UMR8502)

12 enseignants-chercheurs, 20 chercheurs CNRS, 6 ingénieurs-techniciens

Tissus biologiques et biofilms : mécanique, mesures de forces, propriétés électriques, propriétés adhésives, bioconvection, structure et morphogénèse, microfluidique, fibres, CEMOVIS, microscopie corrélative.

Dynamique aux interfaces liquides : dynamique des molécules aux interfaces, adsorption, desorption, diffusion, effet Marangoni, rhéologie de surface, polymères aux interfaces.

Matière active : comportement collectif des bactéries, physique statistique, dynamique et formation de motifs de bactéries ou de suspensions actives, motilité cellulaire, chimiotactisme/aérotactisme, comportement en milieux hétérogènes, gradients d'oxygène, fluides actifs sous écoulement.

Milieus confinés : écoulement, sédimentation, jamming, rhéologie, confinement de nanoparticules, propriétés optiques de micro-gouttes cholestériques.

Polymères : interfaces, physique des polymères, friction, adhésion, modification de surface, copolymères à blocs, diffusion, solutions de polymères, mélanges, semi-cristaux, cristallisation sous contrainte, interfaces texturées, instabilités, mouillage.

Matériaux multi-échelles : stabilité et vieillissement des émulsions, mousses, bulles, mousses d'émulsions, matériaux poreux, matériaux hybrides, nanomatériaux, matériaux mésoporeux

Physique de l'ADN : condensation et confinement, encapsidation et éjection de l'ADN du bactériophage, chiralité et frustration, corrélations d'hélices, structure et organisation supramoléculaire des nucléosomes, chromatine et noyau cellulaire, cryoTEM et CEMOVIS.

Systèmes auto-assemblés : colloïdes, cristaux-liquides, tensioactifs, membranes biologiques, peptides, protéines et acides nucléiques, capsides virales, dynamique d'auto-assemblage, états intermédiaires hors d'équilibre, complexes de polyélectrolytes, interactions électrostatiques,

dynamique moléculaire, simulations numériques, diffusion de rayonnements, SAXS/SANS résolu en temps, cryoTEM, mesures de diffusion, RMN, techniques optiques résolues en temps (en dispositif stopped-flow), réponse en champ électrique et magnétique, confinement, contrôle d'assemblage par microfluidique, amyloïdes.

Nanoparticules: synthèse, nanoparticules (métalliques, oxydes, semi-conducteurs, feuillets d'argiles), nanoparticules Janus, élastomères chargés, structure et dynamique de suspensions colloïdales, supra-cristaux, gels, polymères, cristaux liquides minéraux, particules actives.

[LIONS \(CEA Saclay, NIMBE, UMR 3685\)](#)

12 chercheurs CEA, 1 CNRS, 3 femmes, 3 techniciens CEA, 9 thésards/p.docs

Interfaces avec Chimie, Biologie, EOE

Systèmes chargés: distribution des ions aux interfaces, approche expérimentale sur synchrotron avec apport de la microfluidique, approche théorique par équations intégrales et modélisation discrète du solvant et simulations Monte-Carlo. brosses de polyélectrolytes (électrolytes, polyélectrolytes, nanoparticules)

Bio-minéralisation: interaction minéral-organique, nanostructuration, intermédiaires de croissance vitreux

Nucléation et croissance de nanoparticules: mécanismes de sélection de forme des nanoparticules d'or, identification d'intermédiaires réactionnels, nanoparticules d'oxydes et précurseurs vitreux, nanotubes d'imogolite: sélection de forme, formation de cristaux liquides minéraux, modification chimique des surfaces

Microfluidique: détection de molécules biologiques, nanofluides, mélanges réactionnels

Nanotoxicologie: interaction entre nanoparticules et bactéries, détection de concentrations environnementales, écotoxicologie

Fluides complexes: microémulsions et émulsions, émulsions multiples et stimulables, microémulsions solides pour la conduction protonique

Capsules et vésicules: vésicules catanioniques, capsules pour l'imagerie ultrasonore et la délivrance de médicaments (théranostique): mécanique de capsules à l'échelle manométrique, vésicules polymères

Séparation de phases de polymères: mécanismes de séparation de phases dans les solutions concentrées de polymères hydrosolubles, fabrication de membranes, microséparation de copolymères blocs: obtention de structures organisées près d'une surface, contrôle de l'organisation des structures dans les trois dimensions de l'espace

Interaction membranes-ligands: conception et synthèse de polyrotaxanes (cyclodextrines+polymère d'inclusion), ligands glissants à base de polyrotaxanes

[SPEC \(CEA Saclay, URA\)](#)

20 chercheurs CEA, 2 CNRS, 2 techniciens CEA

Systèmes vitreux : Violation du théorème fluctuation/dissipation au cours des dynamiques vitreuses. Réponse non-linéaire au voisinage de la température de transition vitreuse. Dans quelle mesure définir un « ordre amorphe » ? Magnétisme de ferrofluide :

Matière complexe et Energie : thermoélectricité dans les fluides complexes et/ou les ferrofluides. Génération d'entropie par rayonnement dans les gaz. Instabilités oscillantes des interfaces liquides gaz (pour transferts thermiques optimisés).

Turbulence : Construction d'une thermodynamique de la turbulence et mécanique statistique du climat. Sélection des fluctuations dans les systèmes dissipatifs et turbulents. Anomalie de dissipation. Transitions turbulentes et dynamiques lentes. Effet dynamo dans un fluide conducteur en écoulement turbulent. Interaction onde-vortex dans une couche fluide conducteur et turbulence d'ondes.

Théorie des systèmes hors-équilibre : Méthode de normalisation non-perturbative, théorie des systèmes dynamiques, théorie des grandes déviations

Matière active : Nouveaux modèles pour décrire des ensembles de particules autopropulsés et/ou s'auto-alignant. Emergence de mouvements collectifs cohérents dans la matière biologique, les troupeaux, les colonies d'insectes, ou les foules. Transition de phase et classe d'universalité associées. Modélisation d'expériences in vivo.

Fracture: Cracking dans la fissuration des matériaux hétérogènes et lien avec la sismicité. Rugosités auto-affines des surfaces de fracture. Modèles stochastiques de rupture dans les solides désordonnés. Statistique et effets d'échelle sur les propriétés de rupture. Dynamiques lentes dans les verres en corrosion sous contrainte et/ou sous irradiation.

Matériaux granulaires : Transitions de phase, jamming, rhéologie et hétérogénéités dynamiques dans les empilements granulaires.

[Laboratoire de Photonique Quantique et Moléculaire \(ENS Cachan et ECP, CNRS UMR 8537\).](#)

10 chercheurs (CNRS, Universitaires, ENS Cachan)

Interfaces avec EOE

Matériaux moléculaires et polymères : Composants nanostructurés pour l'optique, cristaux photoniques

Microfluidique : Développement de capteurs, application aux lasers

[Laboratoire de Physique Théorique et Modèles Statistiques \(U. P. Sud, UMR 8626\)](#)

14 chercheurs (CNRS, U. P. Sud)

Interfaces avec Biologie et Mathématiques

Systèmes désordonnés et dynamique vitreuse : verres, verres de spins, [polymères dirigés en milieu aléatoire](#), interfaces rugueuses. Vieillessement, effets mémoire, dynamique hors équilibre, effet Casimir, avalanches.

Fluide complexes: colloïdes, matière molle, matière active, matière granulaire, physique des membranes, problèmes d'agrégation, fluides chargés.

Approches statistiques:

Méthodes exactes en physique statistique de basse dimension.

Processus stochastiques (brownien, marches aléatoires, diffusion anormale), matrices aléatoires, systèmes dynamiques.

Interface avec la théorie de l'information, les sciences computationnelles et le traitement du signal: satisfabilité, compressed sensing.

Systèmes biologiques : mécanique cellulaire, auto-organisation, trafic intracellulaire, moteurs moléculaires.

[FAST \(Univ. Paris Sud, UMR 7608\)](#)

17 enseignants-chercheurs (9 Paris Sud, 8 UPMC), 10 chercheurs CNRS, 7 techniciens
Interface avec Mécanique, SPU

Instabilités, Onde et Turbulence : Ecoulements à surface libre (instabilités de vagues, sillages). Interactions non-linéaires d'ondes d'inertie et turbulence en rotation. Mélange de fluides miscibles, proche du seuil d'instabilité ou en configuration pleinement turbulente.

Convection et Transferts : Instabilités en présence d'une surface libre (films tombants cisailés, séchage, ligne triple). Convection thermique et mélange dans les fluides complexes. Dynamique interne des planètes.

Granulaires et Suspensions : Déstabilisation des milieux granulaires, Avalanches, érosion et intrusion en milieux granulaires. Rhéologie, structuration sous écoulements des suspensions.

Milieux poreux et fracturés : Ecoulements réactifs, actifs (microorganismes) et complexes en milieux poreux. Instabilité de rupture et fracture de milieux hétérogène. Consolidation. Dynamique du pelage adhésif.

[PMC \(CNRS, Ecole Polytechnique, UMR 7643\)](#)

En total, 20 chercheurs CNRS au PMC, groupe « Physique de l'irrégularité » impliqué en matières complexes - **7 chercheurs CNRS**

Interfaces avec Mathématiques, Biologie, Médecine

Morphogénèse et croissance : Modélisation par la méthode de champ de phase. Solidification. Ecoulement de fluides complexes. Dynamique de fracture dans des systèmes désordonnés. Croissance dendritique en électrochimie. Formation de biofilms.

Dynamique multi-échelle de fluides complexes : Caractérisation des milieux poreux et de la dynamique par RMN. Transport hydrique et ionique dans des solutions aqueuses. Dynamique des pétroles. Dynamique multi-échelles dans les matériaux cimentaires/adjuvants. Dynamique de l'eau aux interfaces des objets biologiques (protéines, tissus). Transport des liquides ioniques confinés. Ecoulements multiphasiques.

Localisation des ondes et vibrations : Propagation et localisation d'ondes de toute nature (acoustique, électromagnétique, élastique, etc.). Propriétés géométriques des fonctions propres du Laplacien. Mécanismes universels de localisation. Capture de rayonnement par les structures irrégulières, murs anti-bruits.

Interface avec les sciences du vivant : Physique de la respiration (fonctionnement des poumons et du placenta). Transport de fluides complexes dans les poumons (surfactant, perfluorocarbène, mucus). Transport à l'intérieure des cellules vivantes. Dynamique des protéines. IRM pondérée par diffusion du cerveau et des poumons.

Diffusion dans des milieux complexes : Distributions des temps de premier passage. Méthodes avancées de simulation. Processus gaussiens à mémoire. Méthodes d'inférence statistiques. Diffusions anormales.

[SPMS \(Ecole Centrale Paris, UMR8580\)+ SRMA \(CEA Saclay\)](#)

4 chercheurs CNRS, 2 chercheurs CEA, 8 enseignants-chercheurs, 13 techniciens (3CNRS, 10 ECP)

Irradiation ionique et matériaux: nanostructuration, effets mésoscopiques, modification des diagrammes de phases d'équilibre: simulation numérique (dynamique moléculaire, champs de phases, ...) et études expérimentales (diffraction de rayons X et neutrons, total scattering, réflectivité, ...)

Interfaces nanostructurées. Stabilité vis-à-vis de la décohésion et comportement thermo-mécanique d'interfaces hétérophases entre matériaux non miscibles. Effets de la microstructure et de la géométrie des bi- ou multicouches.

Matériaux mésoporeux et à échelles multiples. Structure, microstructure, coarsening, contraintes mécaniques

Modélisation des matériaux pour l'énergie. Design et tests de nouveaux matériaux pour piles à combustible. Modélisation multi-échelle des matériaux conducteurs ioniques

IPhT (CEA Saclay, URA)

22 chercheurs (environ). Liens avec Maths, EOE

Systèmes vitreux : Théorie des verres structuraux, granulaires et colloïdes. Longueurs de corrélation statiques et dynamique. Mécanismes universels pour la dynamique lente.

Systèmes désordonnés : Verres de spins, localisation d'Anderson. Méthodes de renormalisation non-perturbative.

Interfaces avec la théorie de l'information et le traitement du signal : problème de satisfabilité, compress-sensing.

Réseaux dans les systèmes complexes : réseaux sociaux et technologiques.

Théorie des systèmes hors-équilibre : Thermodynamique stochastique, théorèmes des fluctuations hors-équilibre. Systèmes quantiques hors-équilibres et dynamique complexe résultante.

Biophysique et matière molle : repliement des protéines, ARN, polymères et solutions ioniques.

LLB (CEA-Saclay, UMR 12) (8 CNRS, 5 CEA, 3 University, 4 associated researchers)

Polymers: polymer structure and conformation in bulk and at interface using SANS/SAXS and neutron reflectivity; origin of enhanced mechanical properties of polymer-based nanocomposites; behavior of polyelectrolytes and their complexation with objects of opposite charge; thermosensitive polymers and their modulation of optical properties of plasmonic nanoparticles; polymer glass transitions

Self-assembling systems: polymersomes, amphiphilic block copolymers with flexible chemical design and stimuli-responsiveness for applications in drug delivery and imaging agent carriers; biopolymers and cellulose nanocrystals

Foams, emulsions, asphaltenes: thermosensitive green surfactants, phase transitions from micellar to onion-like cylindrical phases, highly-stable thermo-stimulable foams; armored systems, lyotropic liquid crystalline domains stabilized by solid nanocolloids of different geometric shapes; asphaltene aggregate structure

Confined systems: polyelectrolytes and ionic liquids with perspectives in new technologies for energy; nanometric confinement and interplay of confinement topology, dimensionality, surface/volume ratio, origin of difference in polymer glass transition in ultra-thin films and in bulk; confined charges and conductivity; single-pore confinement, cooperative motions of confined ions

Water and protein dynamics: water under nanometric confinement in relation to protein dynamics; extension of H-bond networks in binary mixtures

Crowding in biophysics: molecular crowding on protein and nucleic acid conformation, stability and mobility in relation to physiological implications; helix-to-coil transition

Membranes: interaction of anti-microbial peptides with lipid bilayers, dynamics of pore opening for permeation, fluctuation of peptide concentration at membrane surface, Random Surface Approximation model

[ISMO \(U. P. Sud, \) 10 permanents](#)

- 1) Adhésion bactérienne et la formation de biofilms ;
- 2) Evolution des cellules neuronales dans la maladie d'Alzheimer ;
- 3) Amélioration des traitements du cancer par association de sources médicales d'irradiation d'irradiation (hadronthérapie, protonthérapie) et de nanodrogues.
- 4) synthèse et bioactivité de nanovecteurs de molécules thérapeutiques et de nanosondes fluorescentes organiques et inorganiques des biostructures (cellules, biofilms)

[LPT \(U. P. Sud, \) 6 permanents](#)

- 1) physique statistique à l'équilibre :

- théorie et simulations des fluides, en particulier avec interaction à longue portée (liquides, ferrofluides, colloïdes magnétiques, plasmas) : diagramme de phase et effets de géométrie confinée (transition de fusion d'un cristal en basse dimension, interfaces fluide-fluide ou fluide-solide avec application à la biologie).

- géométrie aléatoire

- 2) physique statistique hors équilibre :

- processus stochastiques: thermodynamique stochastique, processus d'exclusion, théorie cinétique.

- applications au transport de particules auto-propulsées (routier, piétonnier, intracellulaire)

[GEMAC \(UVSQ\)](#) 4 permanents + 1 Prof. Emérite + 3 thésards

-Physique des solides commutables : dynamique de ces transitions de phase: nucléation, croissance de domaines et propagation de fronts (interface) de transformations (microscopie optique)

-Modélisation par des modèles stochastiques de type Ising-élastique (résolus par Monte Carlo, combiné à de la dynamique moléculaire) ; équations d'évolution de mécanique des milieux continus, aboutissant à des équations de Navier stokes mais pour milieux déformables.

[Laboratoire des solides irradiés \(Ecole Polytechnique, CEA\) 2 chercheurs](#)

Verres : (structure, propriétés optiques, vieillissement sous irradiation)

Polymères

[Laboratoire de physique des plasmas \(Ecole Polytechnique, CNRS\) 7 chercheurs](#)

Plasmas magnetisés, fusion magnétique, turbulence, confinement de plasmas, transport turbulent, réflectométrie, diffusion micro-ondes, modélisation de la turbulence, théorie

[Synchrotron SOLEIL 2 chercheurs](#)

Grazing incidence Small Angle X-ray Scattering: application aux monocouches, surfaces nanostructurées

ANNEXE 2



NOTE

LIEU - DATE : 30 janvier 2015

DESTINATAIRE : Patrick GUENOUN (IRAMIS-Nimbe)

OBJET : Bibliométrie du département PHOM – pôle 3

ÉMETTEUR : Marie-anne Leriche

Indicateurs bibliométriques du département PHOM– pôle 3 (2008-2014)

**Sources des données : *Web of Science – Journal Citation Reports – Essential Science Indicators*
(ISI/Thomson Reuters) - Années de publication : 2008-2014**

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
Centre de Saclay | 91191 Gif-sur-Yvette Cedex
T. +33 (0)1 69 08 60 45 | F. +33 (0)1 69 08 36 62
Marie-anne.Leriche@cea.fr
Etablissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775 685 019

Direction des Sciences de la Matière
Unités de Soutien Technique
Section Valorisation de l'information
Cellule Nationale de l'IST

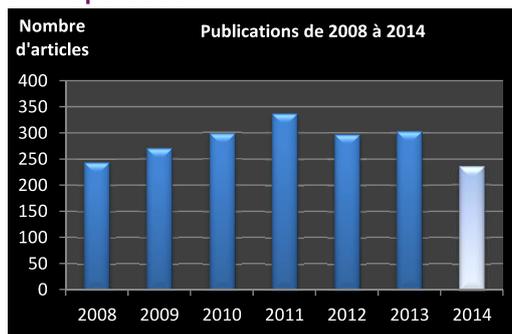


AVERTISSEMENT : La diffusion de ce document est restreinte aux commanditaires de l'étude

Contexte de l'étude

Département PHOM- pôle 3 depuis 2008 : les publications indexées dans le *Web of Science®* (Thomson Reuters) sont prises en compte dans l'analyse bibliométrique.

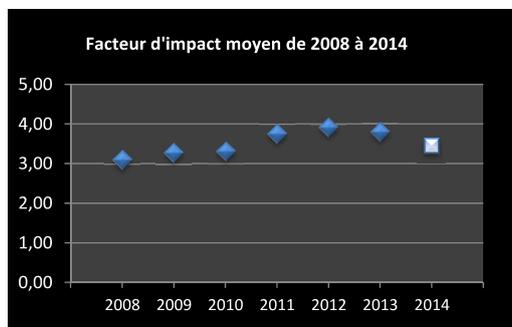
1984 publications depuis 2008



Remarque : Les publications de l'année 2014 ne sont pas complètement intégrées dans le Web of Science à la date de l'étude. Leur nombre est sous-estimé de 5 à 10%.

Facteur d'impact moyen

Le facteur d'impact moyen est la moyenne des facteurs d'impact ISI des journaux dans lesquels les articles ont été publiés.



Remarque : Les facteurs d'impact 2014 ne sont pas encore connus. Ce sont donc les valeurs 2013 qui sont employées par approximation.

Tableau I : Nombre de publications et facteur d'impact moyen de 2008 à 2014

PHOM	Année de publication							total
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Nombre d'articles ISI	244	270	298	337	297	303	235	1984
Nombre d'articles avec facteur d'impact	207	245	274	306	273	293	226	1824
Facteur d'impact moyen = Nb d'articles X Facteur d'impact ISI du journal la même année	3,11	3,29	3,32	3,76	3,92	3,80	3,46	3,52

Domaine thématique de référence

La catégorie disciplinaire ESI est déterminée par le titre du journal dans lequel l'article a été publié, selon la classification de la base ESI-Essential Science Indicators®. Les catégories se recouvrent légèrement car un même journal peut parfois appartenir à 2 catégories disciplinaires (chimie et matériaux par exemple, ou encore physique et engineering).

La catégorie disciplinaire permet de comparer les performances de citation des publications (nombre de citations réelles reçues) à une moyenne mondiale dans le même domaine. Pour les publications PHOM, nous avons retenu comme critères de comparaison ceux de la catégorie ESI « Physique ». Ce sont les **valeurs en rouge** dans le tableau II ci-dessous.

Répartition des articles de la fiche programme PHOM dans les catégories disciplinaires ESI :

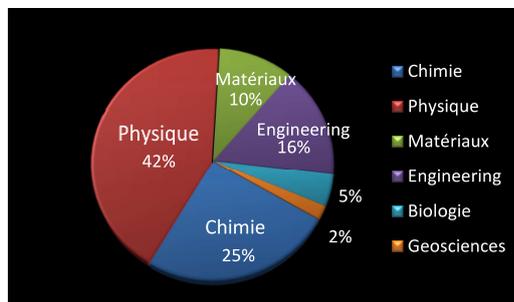
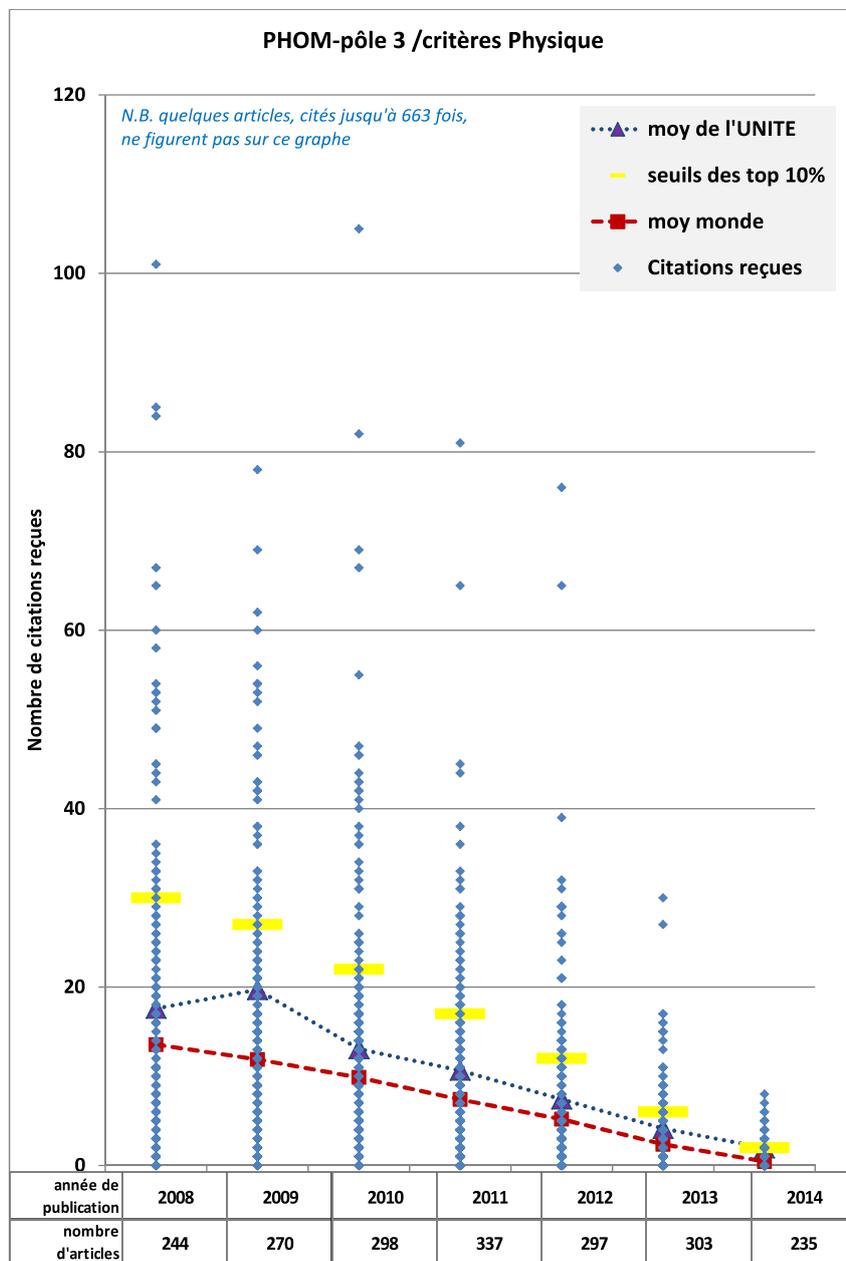


Tableau II : Performances de citations réelles de 2008 à 2014

PHOM	Année de publication							total
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Nombre d'articles ISI	244	270	298	337	297	303	235	1984
Somme des citations réelles (au 25 janvier 2015)	3642	4789	3565	3289	1973	962	200	18420
Moy cit° ESI Physique	13,5	11,9	9,9	7,4	5,2	2,4	0,4	
Nombre moyen de citations réelles par article (au 25 janvier 2015)	14,9	17,7	12,0	9,8	6,6	3,2	0,9	9,3
Nombre d'articles non cités (au 25 janvier 2015)	37	27	25	28	31	70	132	350
	14%	9%	7%	9%	10%	23%	56%	18%
Seuils de citations des Top 10% ESI Physique	30	27	22	17	12	6	2	
Top 10% Nb et part d'articles > seuils des 10% d'articles les plus cités au monde en Physique	33	41	38	48	47	56	47	310
	14%	15%	13%	14%	16%	18%	20%	16%
Seuils de citations des Top 1% ESI Physique	119	98	83	61	42	21	6	
Top 1% Nb et part d'articles > seuils des 1% d'articles les plus cités au monde en Physique	1	3	1	4	2	2	4	17
	0%	1%	0%	1%	1%	1%	2%	1%

Guide de lecture du tableau, 1ère colonne :

- En 2008, 244 articles ont été recensés dans le Web of Science.
- Ensemble, ces 244 articles ont cumulé 3642 citations réelles. Un article publié en 2008 a donc été cité en moyenne 14,9 fois depuis sa publication. Ce chiffre est supérieur à la moyenne mondiale de citations des articles du domaine de la physique (13,5 citations reçues).
- 37 publications 2008 n'ont pas encore été citées (à la date de l'étude, en janvier 2015), soit 14% des publications 2008.
- 33 publications 2008, soit 14%, ont reçu davantage de citations que le seuil exigé (30 citations) pour faire partie des « top10% » des publications les plus citées au monde en physique.



Légende du graphique :

Chaque **point bleu** correspond à **un article du département PHOM- pôle 3**

Abscisse : Année de publication des articles

Ordonnée : Nombre de citations réelles reçues par les articles, comptabilisées par la base de données Web of Science® en date du 25 janvier 2015

Ligne pointillée bleue : moyenne de citations réelles des **articles du programme PHOM**

Ligne pointillée rouge : moyenne mondiale de citations réelles dans le domaine considéré (le domaine est déterminé par le titre du journal dans lequel l'article a été publié, selon la classification de la base ESI-Essential Science Indicators®)

Tirets jaunes : Le seuil des top 10% est le nombre de citations réelles, qu'un article doit avoir reçu, pour être parmi les 10% d'articles les plus cités au monde dans le domaine considéré (le domaine est déterminé par le titre du journal dans lequel l'article a été publié, selon la classification de la base ESI-Essential Science Indicators®).

→ Les articles situés au-dessus de ce seuil ont obtenu davantage de citations, et font partie du Top10%

Publications très citées

Auteurs	Titre	Journal	Citations	Année
Chate, H; Ginelli, F; Gregoire, G; Raynaud, F	Collective motion of self-propelled particles interacting without cohesion	PHYSICAL REVIEW E	140	2008
Cailleteau, C; Angeli, F; Devreux, F; Gin, S; Jestin, J; Jollivet, P; Spalla, O	Insight into silicate-glass corrosion mechanisms	NATURE MATERIALS	101	2008
Parker, D; Dupuis, V; Ladieu, F; Bouchaud, JP; Dubois, E; Perzynski, R; Vincent, E	Spin-glass behavior in an interacting gamma-Fe(2)O(3) nanoparticle system	PHYSICAL REVIEW B	85	2008
Mellenthin, J; Karma, A; Plapp, M	Phase-field crystal study of grain-boundary premelting	PHYSICAL REVIEW B	84	2008
Chate, H; Ginelli, F; Gregoire, G; Peruani, F; Raynaud, F	Modeling collective motion: variations on the Vicsek model	EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL B	67	2008
Demortiere, A; Launois, P; Goubet, N; Albouy, PA; Petit, C	Shape-Controlled Platinum Nanocubes and Their Assembly into Two-Dimensional and Three-Dimensional Superlattices	JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY B	65	2008
Gonze, X; Amadon, B; Anglade, PM; Beuken, JM; Bottin, F; Boulanger, P; Bruneval, F; Caliste, D; Caracas, R; Cote, M; Deutsch, T; Genovese, L; Ghosez, P; Giantomassi, M; Goedecker, S; Hamann, DR; Hermet, P; Jollet, F; Jomard, G; Leroux, S; Mancini, M; Mazevet, S; Oliveira, MJT; Onida, G; Pouillon, Y; Rangel, T; Rignanese, GM; Sangalli, D; Shaltaf, R; Torrent, M; Verstraete, MJ; Zerah, G; Zwanziger, JW	ABINIT: First-principles approach to material and nanosystem properties	COMPUTER PHYSICS COMMUNICATIONS	663	2009
Buongiorno, J; Venerus, DC; Prabhat, N; McKrell, T; Townsend, J; Christianson, R; Tolmachev, YV; Keblinski, P; Hu, LW; Alvarado, JL; Bang, IC; Bishnoi, SW; Bonetti, M; Botz, F; Cecere, A; Chang, Y; Chen, G; Chen, HS; Chung, SJ; Chyu, MK; Das, SK; Di Paola, R; Ding, YL; Dubois, F; Dzido, G; Eapen, J; Escher, W; Funfschilling, D; Galand, Q; Gao, JW; Gharagozloo, PE; Goodson, KE; Gutierrez, JG; Hong, HP; Horton, M; Hwang, KS; Iorio, CS; Jang, SP; Jarzabski, AB; Jiang, YR; Jin, LW; Kabelac, S; Kamath, A; Kedzierski, MA; Kieng, LG; Kim, C; Kim, JH; Kim, S; Lee, SH; Leong, KC; Manna, I; Michel, B; Ni, R; Patel, HE; Philip, J; Poulikakos, D; Reynaud, C; Savino, R; Singh, PK; Song, PX; Sundararajan, T; Timofeeva, E; Trittak, T; Turanov, AN; Van Vaerenbergh, S; Wen, DS; Witharana, S; Yang, C; Yeh, WH; Zhao, XZ; Zhou, SQ	A benchmark study on the thermal conductivity of nanofluids	JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	236	2009
Asta, M; Beckermann, C; Karma, A; Kurz, W; Napolitano, R; Plapp, M; Purdy, G; Rappaz, M; Trivedi, R	Solidification microstructures and solid-state parallels: Recent developments, future directions	ACTA MATERIALIA	190	2009
Jouault, N; Vallat, P; Dalmas, F; Said, S; Jestin, J; Boue, F	Well-Dispersed Fractal Aggregates as Filler in Polymer-Silica Nanocomposites: Long-Range Effects in Rheology	MACROMOLECULES	78	2009
Langevin, D	Complexation of oppositely charged polyelectrolytes and surfactants in aqueous solutions. A review	ADVANCES IN COLLOID AND INTERFACE SCIENCE	69	2009

Auteurs	Titre	Journal	Citations	Année
Ginelli, F; Peruani, F; Bar, M; Chate, H	Large-Scale Collective Properties of Self-Propelled Rods	PHYSICAL REVIEW LETTERS	105	2010
Deseigne, J; Dauchot, O; Chate, H	Collective Motion of Vibrated Polar Disks	PHYSICAL REVIEW LETTERS	82	2010
Bain, CD; Claesson, PM; Langevin, D; Meszaros, R; Nylander, T; Stubenrauch, C; Titmuss, S; von Klitzing, R	Complexes of surfactants with oppositely charged polymers at surfaces and in bulk	ADVANCES IN COLLOID AND INTERFACE SCIENCE	69	2010
Agut, W; Brulet, A; Schatz, C; Taton, D; Lecommandoux, S	pH and Temperature Responsive Polymeric Micelles and Polymersomes by Self-Assembly of Poly[2-(dimethylamino)ethyl methacrylate]-b-Poly(glutamic acid) Double Hydrophilic Block Copolymers	LANGMUIR	67	2010
Sanson, C; Schatz, C; Le Meins, JF; Brulet, A; Soum, A; Lecommandoux, S	Biocompatible and Biodegradable Poly(trimethylene carbonate)-b-Poly(L-glutamic acid) Polymersomes: Size Control and Stability	LANGMUIR	55	2010
Berthier, L; Biroli, G	Theoretical perspective on the glass transition and amorphous materials	REVIEWS OF MODERN PHYSICS	243	2011
Sanson, C; Diou, O; Thevenot, J; Ibarboure, E; Soum, A; Brulet, A; Miraux, S; Thiaudiere, E; Tan, S; Brisson, A; Dupuis, V; Sandre, O; Lecommandoux, S	Doxorubicin Loaded Magnetic Polymersomes: Theranostic Nanocarriers for MR Imaging and Magneto-Chemotherapy	ACS NANO	135	2011
Chou, T; Mallick, K; Zia, RKP	Non-equilibrium statistical mechanics: from a paradigmatic model to biological transport	REPORTS ON PROGRESS IN PHYSICS	81	2011
Chevigny, C; Dalmas, F; Di Cola, E; Gignes, D; Bertin, D; Boue, F; Jestin, J	Polymer-Grafted-Nanoparticles Nanocomposites: Dispersion, Grafted Chain Conformation, and Rheological Behavior	MACROMOLECULES	65	2011
Eyssautier, J; Levitz, P; Espinat, D; Jestin, J; Gummel, J; Grillo, I; Barre, L	Insight into Asphaltene Nanoaggregate Structure Inferred by Small Angle Neutron and X-ray Scattering	JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY B	45	2011
Bonamy, D; Bouchaud, E	Failure of heterogeneous materials: A dynamic phase transition?	PHYSICS REPORTS-REVIEW SECTION OF PHYSICS LETTERS	44	2011
Wensink, HH; Dunkel, J; Heidenreich, S; Drescher, K; Goldstein, RE; Lowen, H; Yeomans, JM	Meso-scale turbulence in living fluids	PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE USA	76	2012
Sumino, Y; Nagai, KH; Shitaka, Y; Tanaka, D; Yoshikawa, K; Chate, H; Oiwa, K	Large-scale vortex lattice emerging from collectively moving microtubules	NATURE	65	2012
Cammarota, C; Biroli, G	Ideal glass transitions by random pinning	PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE USA	39	2012
Dunkel, J; Heidenreich, S; Drescher, K; Wensink, HH; Bar, M; Goldstein, RE	Fluid Dynamics of Bacterial Turbulence	PHYSICAL REVIEW LETTERS	30	2013
del Barrio, J; Horton, PN; Lairez, D; Lloyd, GO; Toprakcioglu, C; Scherman, OA	Photocontrol over Cucurbit[8]uril Complexes: Stoichiometry and Supramolecular Polymers	JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY	27	2013
Langevin, D	Rheology of Adsorbed Surfactant Monolayers at Fluid Surfaces	ANNUAL REVIEW OF FLUID MECHANICS, VOL 46	8	2014
Di Leo, JF; Walker, AM; Li, ZH; Wookey, J; Ribe, NM; Kendall, JM; Tommasi, A	Development of texture and seismic anisotropy during the onset of subduction	GEOCHEMISTRY GEOPHYSICS GEOSYSTEMS	7	2014

Pôle 4 : Lumière extrême

Pôle 4 du Groupe de Travail PHOM

LUMIERE EXTRÊME

Nouvelles sources de particules et matière hors équilibre

Table des matières

1	Potentiel scientifique	123
1.1	Présentation du pôle	123
1.2	Grands projets en cours	123
1.2.1	Attolab	123
1.2.2	CILEX	124
1.2.3	OPT2X	126
1.2.4	PALM	126
1.2.5	XFIVE	127
1.2.6	LUNEX5 et COXINEL	127
1.2.7	SMILEI	128
1.3	Enjeux	129
1.3.1	Sources de lumière extrême	129
1.3.2	Nouvelles sources de particules → F. Tissandier+ P. Monot	133
1.3.4	Dynamique ultra-rapide	135
1.3.5	Matière sous condition extrême	137
1.4	Potentiel de recherche	138
1.4.1	Personnel	138
1.4.2	Equipement	140
1.4.3	Analyse Swot	141
1.4.4	Indicateurs bibliographiques	146
	<i>Evolution du facteur d'impact intégré</i>	<i>146</i>
	<i>Performances de citations réelles de 2010 à 2013</i>	<i>147</i>
1.4.5	Valorisations et lien avec le tissu industriel	161
1.5	Faits marquants	161
1.6	Positionnement international	164
1.7	Positionnement par rapport aux stratégies nationales et Européennes	165
2	Stratégie	166
2.1	Assurer la construction puis l'exploitation scientifique des équipements en cours de développement	166

3	Promouvoir les applications des nouvelles sources de lumière et de particules	168
3.1	Explorer de nouveaux champs théoriques aux frontières	169

Potentiel scientifique

Présentation du pôle

Les chercheurs du Pôle Lumière extrême développent et exploitent des lasers capables de produire des faisceaux lumineux aux propriétés variées et remarquables. Selon les sujets d'étude ils peuvent transporter une énergie élevée (plusieurs kilojoules) sous la forme d'impulsions nanoseconde, ou bien délivrer des impulsions à la fois très brèves, jusqu'à une dizaine de femtosecondes et très puissantes, d'une centaine de terawatts aujourd'hui à bientôt 10 petawatts.



Expérience utilisant un laser de classe 100 TW de l'université Paris-Saclay. crédit Ph Stroppa/CEA

Focalisés sur des cibles, ces lasers sont utilisés pour exciter la matière dans tous ses états, mettre en mouvement ses constituants dans le but d'étudier les comportements associés. En régime d'impulsion longue, les études sur la matière à haute densité d'énergie trouvent des applications à l'astrophysique ou à la fusion thermonucléaire contrôlée. Pour des impulsions plus brèves, soumise à des champs électromagnétiques intenses la matière libère des jets de particules rapides, génère du rayonnement secondaire. Ces nouvelles sources aux propriétés originales constituent à leur tour des outils d'exploration pour la recherche dans des domaines variés.

Elles couvrent une large gamme spectrale, des fréquences THz aux longueurs d'onde les plus courtes (extrême ultraviolet à X durs). La dynamique de la matière (gaz, solides, plasmas) qu'elles permettent d'explorer s'étend jusqu'aux échelles de temps les plus courtes, dans le domaine attoseconde ($1\text{as}=10^{-18}\text{s}$). Les recherches couvrent également de nouveaux développements théoriques et numériques dans des régimes encore peu explorés, et le développement de composants, briques technologiques et instrumentation de pointe, qui jouent un rôle essentiel dans le développement et l'utilisation des sources. Enfin bien que de nature essentiellement fondamentale, les recherches s'appuient sur une relation étroite avec le monde industriel, grâce à la présence sur le plateau de Saclay de nombreuses entreprises de rang international dans le domaine de l'optique.

Grands projets en cours

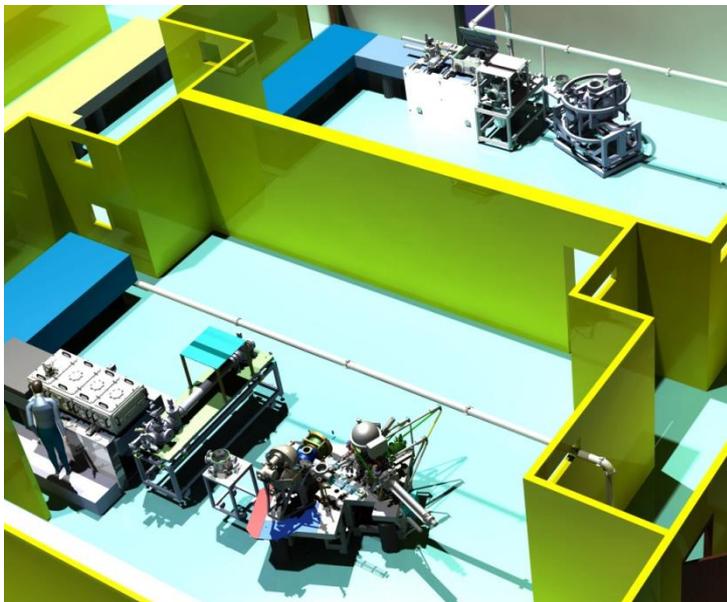
Attolab

ATTOLAB (ANR-11-EQPX-0005) est un Equipex porté par neuf unités partenaires du campus Paris-Saclay (LIDyL, ISMO, LCF, LFP, LOA, LPS, LSI, ESML, SOLEIL), représentant ~50 chercheurs et huit

institutions. Il prévoit l'installation d'une plateforme multi-site dédiée aux études interdisciplinaires de dynamique ultra-rapide, en phase gazeuse, condensée et plasma. La dynamique ultra-rapide a pour objectif d'étudier « en temps réel » et de contrôler les mouvements électroniques et nucléaires, aux échelles temporelles les plus courtes, respectivement, atto-femtoseconde et femto-picoseconde, et aux échelles spatiales correspondantes (Ångström). Dans les études résolues en temps, de type pompe-sonde, on excite dans le système un paquet d'ondes localisé (électronique/nucléaire), dont on « suit » l'évolution temporelle au moyen d'une sonde ultra-brève. La notion d'évolution cohérente de paquets d'ondes localisés est commune à plusieurs champs disciplinaires que l'on peut ainsi réunir dans le même projet.

ATTOLAB comprend trois « lignes de lumière » qui intègrent chacune un système laser femtoseconde dans le domaine spectral IR-vis, une source secondaire harmonique dans le domaine extrême-UV (XUV), un ou plusieurs dispositifs expérimentaux dédiés. Les équipements sont totalement ou partiellement financés par l'Equipex.

ATTOLAB est installé sur trois sites, respectivement, du CEA-l'Orme-les-merisiers dédié aux études en phase gazeuse et condensée, de l'ESNTA-LOA dédié aux études en phase plasma, de l'IOGS-LCF dédié à la conception/fabrication des optiques XUV. Le montant total de l'aide de l'ANR s'élève à 5 M€ sur la période 2013-2019. ATTOLAB est étroitement lié au LIDEX OPT2X qui développe des équipements optiques très performants dans le domaine XUV, installés notamment sur les lignes de lumière d'ATTOLAB. Sur les trois sites, les équipements sont en cours de réalisation/installation en 2014-2015, pour être opérationnels au début de 2016.



*Postes expérimentaux de la future facilité laser ATTOLAB
Crédit photographique CEA/LIDyL*

ATTOLAB a vocation de servir aux études de dynamique ultra-rapide, dans l'Université Paris-Saclay et au-delà. L'accès sera ouvert aux utilisateurs non partenaires, dans le cadre de collaborations qui sont vivement encouragées, ou à travers des appels à projets contractuels (20% du temps d'accès) dans un cadre national (réseau Femto) ou européen (Laserlab-Europe).

CILEX

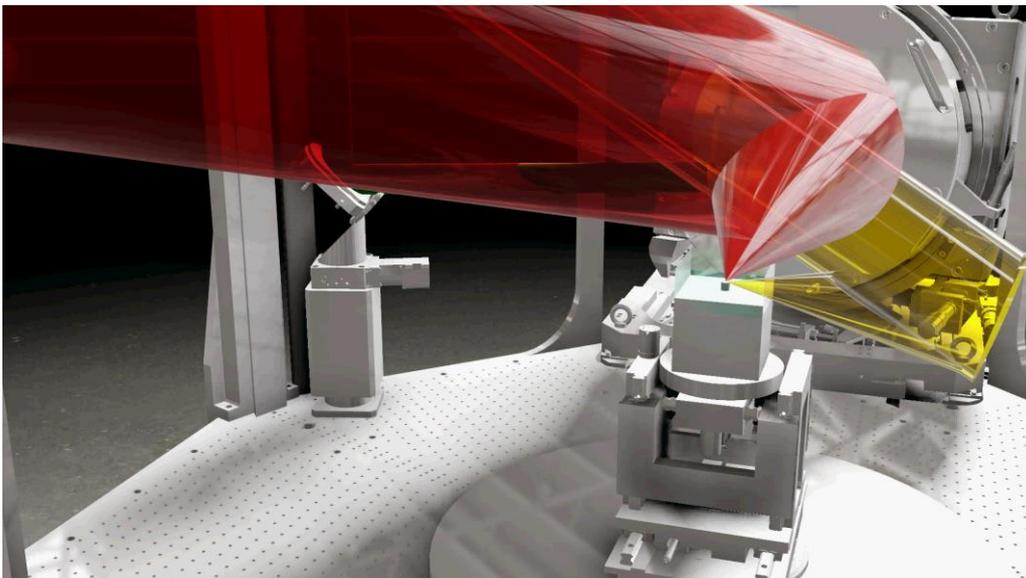
CILEX (Centre Interdisciplinaire Lumière EXTRême) est un centre de dimension mondiale dédié à l'étude de l'interaction de la lumière laser avec la matière, dans des conditions d'éclairement extrême. Les lasers qui y sont rassemblés sont si intenses et si brefs que leur impact avec la matière

génère des faisceaux d'électrons, d'ions ou de rayonnement X et gamma, comme le ferait un accélérateur de particules.

Un des objectifs de CILEX est l'étude et le développement de ce type de sources qui présentent de nombreux avantages en termes de compacité, de brièveté, de maniabilité. Elles offrent ainsi des perspectives très prometteuses pour des applications dans des domaines extrêmement variés incluant des enjeux sociétaux (traitements cancéreux par exemple). D'un point de vue plus fondamental, la rupture technologique qui y sera développée promet d'ouvrir de nouveaux horizons aux chercheurs qui envisagent ainsi de modifier les propriétés du vide.

Financé dans le cadre des Investissements d'avenir, "l'Equipex" CILEX, géré par le laboratoire LULI (CNRS, Ecole Polytechnique, CEA et Université P. et M Curie) accueille le laser APOLLON d'une puissance record de 10 PW (1016 W) ainsi que les lasers de classe 100 TW (1014 W) LASERIX et UHI100, respectivement implantés aujourd'hui à l'Université Paris-Sud et au CEA-Saclay. Avec les installations laser du LOA (ENSTA, CNRS et Ecole polytechnique) et l'équipement ELFIE du LULI, ces sources lasers préparent aujourd'hui les programmes scientifiques qui seront développés demain sur APOLLON.

CILEX fédère douze laboratoires du Plateau de Saclay (LCF, LAL, Soleil, LOA, LLR, LUMAT, CPHT, LULI, IRAMIS, IRFU, DSM) qui couvrent l'ensemble des compétences nécessaires à la construction et l'exploitation de Lasers de forte puissance. Le centre est administré par le laboratoire LULI dont les équipements lasers ont le statut d'Infrastructure de Recherche (IR). Cilex est un "équipement d'excellence" financé dans le cadre des investissements d'avenir.



Focalisation du futur laser Apollon dans l'enceinte d'interaction, Crédit CEA/LIDyL-LULI-CILEX

Implanté au cœur de L'université Paris-Saclay, CILEX a la vocation de se positionner au tout premier plan international en fédérant l'ensemble des équipes de la spécialité de la Région Ile-de-France (Universités, grandes écoles, organismes de recherche académiques, partenaires industriels). Il sera localisé sur le site d'un ancien accélérateur de particules sur le site de l'Orme des Merisiers du CEA doté d'une infrastructure garantissant la sécurité du personnel et la protection de l'environnement.

OPT2X

Le projet Lidex OPT2X « OPTimizing OPTical pulses for XUV ultrafast science » (avril 2014- juin 2016) est porté par 9 laboratoires partenaires de l'Université Paris-Saclay (ISMO, LPS, LIDyL, LFP, LOA, LPGP, LCF, SOLEIL, LUMAT coordinateur) représentant 7 établissements (CNRS, UPSud, CEA, IOGS, SOLEIL, ENSTA, Ecole Polytechnique) et un ensemble de plus de 100 chercheurs et ingénieurs de plusieurs départements, avec une forte présence dans PhOM et en particulier le pôle 4. Il a pour objectif le développement d'instruments optiques originaux de très haute performance et leur implantation sur les lignes de lumière XUV associées aux sources d'impulsions XUV ultrabrèves : sources à génération d'harmoniques dans le cadre de l'Equipex ATTOLAB (fs et as) au LIDyL-CEA à l'Orme des merisiers et au LOA, et source laser X sur la plateforme LASERIX du CLUPS (ps) partenaire de l'Equipex CILEX. Assurant le transport, le contrôle et la caractérisation des impulsions en termes de structures spectrale et temporelle, polarisation ou propriétés spatiales, cette instrumentation innovante est cruciale pour les études de dynamique électronique et nucléaire menées par des chercheurs de plusieurs disciplines. Cette communauté d'utilisateurs composée de physiciens et physico-chimistes en matière diluée, matière condensée et plasmas, les équipes du Plateau de Saclay expertes dans le développement des sources d'impulsions XUV ultrabrèves, comme celles expertes en optique XUV, constituent les trois piliers du projet OPT2X.

OPT2X associe recherche fondamentale, développement technologique visant à un fort partenariat avec le secteur industriel, et applications avancées en dynamique ultrarapide dans différents états de la matière. Cet environnement offre un cadre de formation très riche aux jeunes scientifiques (doctorants, ingénieurs, étudiants de masters).

PALM

PALM (Physique Atomes Lumière Matière) est un labex qui comprend 37 laboratoires, 11 tutelles et 730 chercheurs de Paris-Saclay, avec un budget total de 17 M€ pour la période 2011-19 (pour sa seconde phase, 2016-2019, le budget estimé est de 5.5 M€). PALM soutient l'activité de recherche de la communauté de Paris-Saclay via des AAP annuels, qui encouragent les collaborations entre différents laboratoires et tutelles de Paris-Saclay.

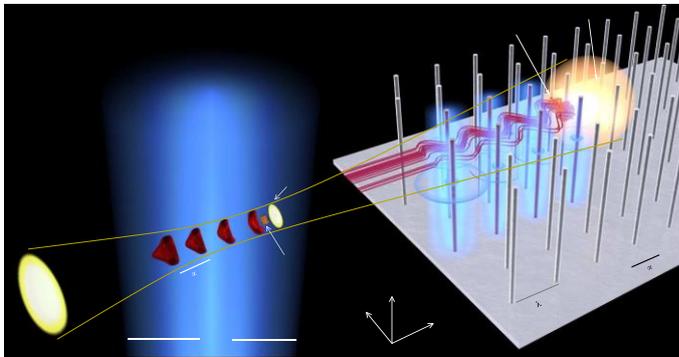
PALM est organisé en 3 axes prioritaires : en particulier, le thème 3 de PALM « Dynamique ultrarapide : des sources de rayonnement aux applications multi-échelles » présente un fort recouvrement avec le pôle 4 de PHOM, en termes de thématiques et de la communauté des chercheurs. L'action de PALM est souvent celle d'un « accélérateur de recherche », qui permet d'amorcer des nouveaux projets qui peuvent après leur lancement chercher de financements complémentaires ailleurs. PALM a surtout la vocation de financer des projets structurants autour d'équipements, des chaires (junior et senior), des bourses de thèse et postdoc, etc.

XFIVE

Le projet ERC X-Five : Sources X, de 5^{ème} génération, ultra brillantes issues d'accélérateurs laser plasmas

La production de champs électriques extrêmement intenses dans les plasmas (gaz ionisés) permet d'accélérer efficacement des particules chargées. Le premier défi a consisté à mettre en mouvement de façon collective les électrons du plasma de façon à créer des champs électriques intenses. Le deuxième défi a été de contrôler l'injection des électrons dans les puits de potentiels électriques correspondants. En surmontant ces deux défis, les accélérateurs à plasma laser produisent aujourd'hui sur de très courtes distances des faisceaux de particules aux propriétés tout à fait uniques. Les objectifs du projet ERC X-Five sont :

- La démonstration de nouveaux schémas d'accélérateurs à laser plasma optimisée pour la production de rayonnement X intense.
- La démonstration de l'amplification d'un laser à électron libre sur la base d'un accélérateur à plasma laser
- L'exploration de nouveaux types d'onduleur ultra compacts à partir de plasma laser.



Concept d'onduleur plasma ultra-compact nanostructuré[1]. Couplé à un accélérateur d'électrons par plasma laser, cet onduleur constitue une source synchrotron X de taille millimétrique nécessitant une impulsion laser TW unique. Il consiste en une grille de nano-fils ionisés par l'impulsion laser ayant servi à créer l'accélérateur plasma. Ce système devrait permettre de produire des faisceaux de photons brillants, collimatés et accordables entre 10 et 100KeV.

[1] Andriyash et al, Nat. Comm 5 (08) 10.1038/ncomms5736 (2014)

LUNEX5 et COXINEL

Un peu plus de cinquante ans après la découverte des lasers, les lasers à électrons libres (LEL) dans le domaine X (LCLS aux États Unis (plusieurs mJ à 1.5 Å), SACLA au Japon, FLASH en Allemagne, FERMI en Italie), avec des impulsions d'énergie allant jusqu'à plusieurs mJ et de durée de quelques femtosecondes permettent d'étudier des propriétés jusque-là inexplorées de la matière et de sonder la dynamique des processus élémentaires et collectifs. Les sources LEL X ont d'ores et déjà conduit à une foison de résultats scientifiques dans des domaines encore inexplorés. Après les LELs X LCLS et SACLA actuels à 10-100 Hz, on peut noter une évolution vers l'emploi de linacs supraconducteurs avec le European XFEL et LCLS II pour lequel le DOE a récemment demandé de passer aussi en haute cadence et de rendre possibles les utilisations simultanées de différentes lignes laser à électrons libres, réduisant ainsi les coûts de construction et de fonctionnement de ces installations par expérience.

Dans ce contexte, les équipes de Paris Saclay du domaine, pionnières dans différents domaines (comme pour le seeding avec les harmoniques dans les gaz), sont actuellement rassemblées autour

du projet LUNEX5¹ (Laser à électrons libres Utilisant un accélérateur Nouveau pour Exploitation de rayonnement X de cinquième génération), démonstrateur de source laser à électrons libres avancée et compacte dans la plage 40-4 nm avec des impulsions de 10-20 fs. LUNEX5 utilisera un linac supraconducteur de 400 MeV pour fournir à terme une source à haute cadence multi-utilisateurs, et un accélérateur compact laser plasma (LWFA : Laser WakeField Accelerator) à basse cadence, tous deux couplés à une ligne LEL commune avec des onduleurs cryogéniques et des schémas de seeding, associée à deux stations expérimentales pilotes en matière condensée et sur les espèces isolées (fig. 1) pour l'étude des dynamiques ultra-rapides et l'analyse des systèmes isolés. Le Linac supraconducteur permettra de fournir une source à haute cadence puis multi-utilisateurs par distribution des électrons sur différentes branches LEL et de réduire significativement les coûts de fonctionnement par expérience scientifique. L'utilisation d'un LWFA pour une amplification laser à électrons libres permet d'explorer un schéma à haut risque et peut donc être considérée comme une application intermédiaire de qualification de ce type d'accélérateur, avant d'envisager des développements en vue de futurs collisionneurs.

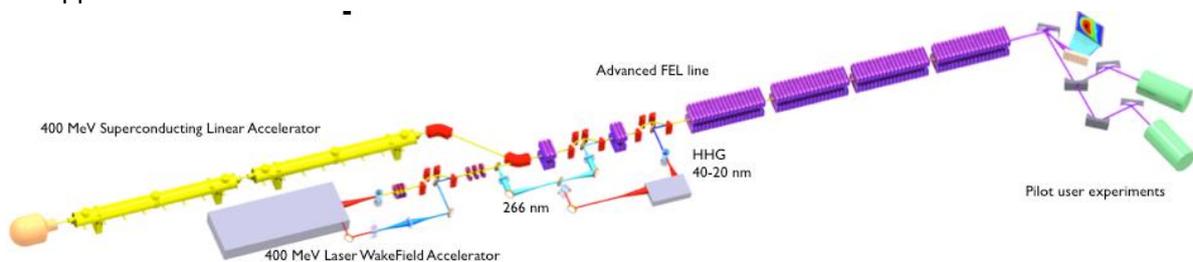


Fig. 1 : Représentation schématique de LUNEX5

L'Avant-Projet Sommaire a été finalisé en 2011, et le projet LUNEX5 est actuellement dans une phase d'études complémentaires et de R&D associée, sur financement spécifique. On peut citer comme gros financements reçus à SOLEIL une bourse ERC (European Research Council) de type « Advanced Grant » : COXINEL (contrat 340015, pour une durée de 5 ans à compter du 01/01/2014) porté par M.E. Couprie (2.5 M€) visant à démontrer l'amplification laser à électrons libres avec les faisceaux produits par un accélérateur plasma (collaboration LOA) grâce à une ligne de transfert vers l'onduleur permettant de manipuler les propriétés des électrons, un financement pour un onduleur prototype cryo-ready U15 de 3 m de long dans le cadre de la collaboration Franco-Suédoise (1,16 M€). Le projet QUAPEVA (QUADrupole à Aimants Permanents Variable du Triangle de la Physique, action Valorisation) associant l'entreprise SIGMAPHI comme partenaire, a conduit à une conception originale d'un quadrupôle à aimants permanents de gradient variable pour gérer les faisceaux produits par accélérateur plasma et à un dépôt de brevet.

SMILEI

The Particle-In-Cell (PIC) code **SMILEI** is an **open-source project** developed by the PIC community at the Plateau de Saclay to support the development of the Apollon laser within the CILEX framework.

¹ La collaboration regroupe différents partenaires : SOLEIL (porteur), LOA, PhLAM, CEA (IRFU ET IRAMIS), LCPMR, LAL, ESRF.

SMILEI stands for **Simulating Matter Irradiated by Light at Extreme Intensities**, and is developed through a collaboration between various teams at Ecole Polytechnique, at the CEA/Saclay and with strong support from the Maison de la Simulation and IDRIS on the numerical side.

To face the diverse needs of the teams involved in its development, SMILEI is developed in C++ based on an **object-oriented architecture**. Its modularity allows to run simulations in various dimensions and geometries. Today, the one-dimensional in space three-dimensional in velocity (1D3V) and 2D3V versions of the code have been developed and benchmark.

SMILEI modularity also allows to chose between various Maxwell solvers and particle pushers, and different order of interpolation/projection are available. It should also be noted that Maxwell's equations are solved on the so-called Yee-mesh with centered electric and magnetic fields using the finite-difference time-domain (FDTD) method or related methods [Nuter2014]. Moreover, charge deposition is computed following the charge conservation scheme proposed by see [Esirkepov2001]. Finally, Monte-Carlo routines are currently under development to account for (i) high-energy (gamma) photon emission and its back-reaction on the electron dynamics, as well as (ii) electron-positron pair creation. These developments are undertaken in collaboration with the team that has introduced similar routines in the PIC code CALDER see [Lobet2013]. Such routines will be of particular importance for the modelling of strongly relativistic astrophysical scenarii.

On the parallelisation side, SMILEI benefits from a state-of-the-art hybrid **MPI/OpenMP parallelisation**, and an original particle sorting algorithm. Dynamical load balancing will also be developed within the next months. SMILEI is therefore designed to run on massively parallel machines, and its flexibility should allow one to benefit from the newest and futures HPC architectures.

Enjeux

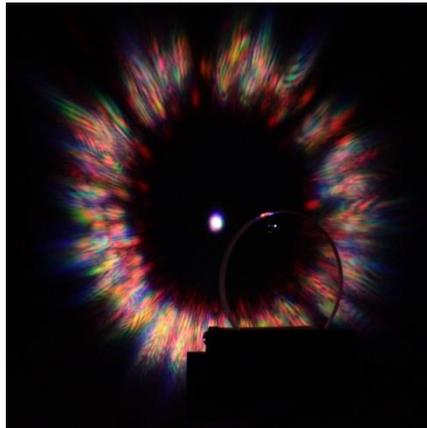
L'analyse prospective de l'activité scientifique révèle l'émergence de 4 thématiques phares qui ont vocation à se développer.

Sources de lumière extrême

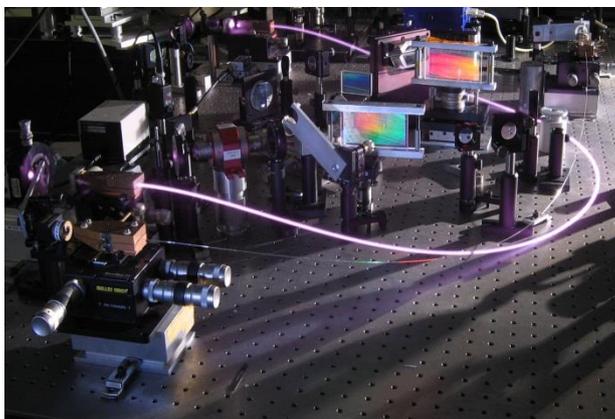
IR:

Plusieurs grands axes apparaissent dans la recherche sur les sources lasers extrêmes IR, tels la montée en puissance (crête et/ou moyenne), l'accès à des impulsions toujours plus courtes –de l'ordre du cycle optique– et au champ électrique contrôlé, l'extension en longueur d'onde notamment vers le moyen infrarouge et le domaine THz. D'un point de vue plus pragmatique, une plus grande compacité, efficacité et fiabilité des systèmes laser constitue un enjeu majeur.

La science attoseconde nécessite le développement de sources d'impulsions extrêmement courtes, stabilisées en phase enveloppe porteuse, dans des domaines de longueur d'onde variés (du visible à l'infrarouge moyen), et diverses techniques sophistiquées d'optique non linéaire permettent d'avancer dans cette direction, notamment l'OPCPA (amplification paramétrique optique à dérive de fréquence), la compression non linéaire, et la filamentation.



Émission ciliaire de lumière blanche lors de l'ablation laser d'un solide transparent – crédit LOA



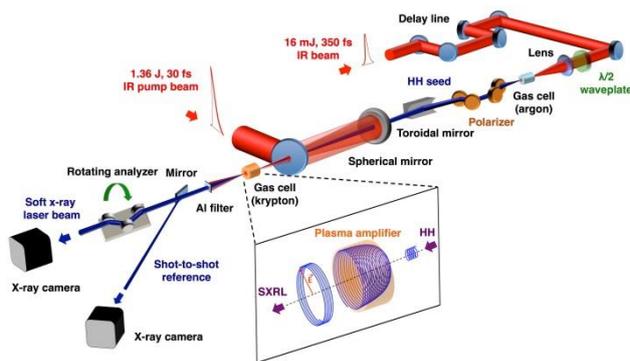
Amplificateur d'impulsions femtosecondes à fibre dopée ytterbium, copyright : Institut d'Optique

Un autre défi extrêmement important concerne la montée en cadence, c'est-à-dire en puissance moyenne, des sources extrêmes. Cet objectif est clé pour permettre de développer les applications sociétales de cette physique. Dans ce cadre, la recherche porte sur les lasers à base de matériaux ytterbium (notamment verre, Yb:YAG et Yb:CaF₂), pompés par diode dans diverses géométries (fibres, disques minces, slab). La combinaison cohérente de sources lasers présente également des perspectives très prometteuses.

Enfin la recherche porte également sur la réalisation d'intensité et d'énergie extrême avec des projets de sources multi-PW ou kJ comme outils pour la physique de la matière sous conditions extrêmes. Ces projets présentent des défis technologiques sur les optiques de grandes dimensions, les aspects de contraste, et les effets laser transverses.

XUV:

Les recherches sur l'interaction laser matière à haute intensité ont permis de faire éclore au cours des 15 dernières années une panoplie extrêmement riche de nouvelles sources dans le domaine XUV, basés essentiellement sur deux types de processus de génération: interaction fortement non-linéaire d'un laser ultra-bref et intense avec des atomes ou des molécules d'un gaz ou avec un solide d'une part, et pompage et amplification laser dans un plasma dense fortement ionisé d'autre part. Les sources de rayonnement qui en résultent, harmoniques d'ordre élevé et lasers XUV, possèdent des caractéristiques uniques et complémentaires des sources générées par accélérateur (notamment synchrotrons) en termes de brillance, de flux cohérent, ou encore de durée d'impulsion (picoseconde à attoseconde).



Génération de laser XUV polarisé circulairement par injection d'harmonique d'ordre élevé - crédit LOA

Un des principaux axes de recherches, qui rassemble autour de ces sources une large communauté dans le projet OPT2X, concerne la caractérisation et le contrôle de leurs propriétés spatiales, spectrales et temporelles à des échelles ultimes. Ce programme constitue un enjeu pour que ces sources s'établissent comme de véritables outils scientifiques pour une large communauté.

Des recherches sur l'amélioration des sources vont se poursuivre en parallèle. En particulier pour les lasers XUV à plasma les principaux défis concernent l'étude de nouveaux milieux amplificateurs, le développement d'architectures avancées incluant plusieurs étages d'amplification, et la maîtrise du fonctionnement en mode injecté par des impulsions harmoniques d'ordre élevé (en termes notamment de durée, polarisation, contraste ASE). La transposition de la technique CPA au domaine XUV est également à l'étude.

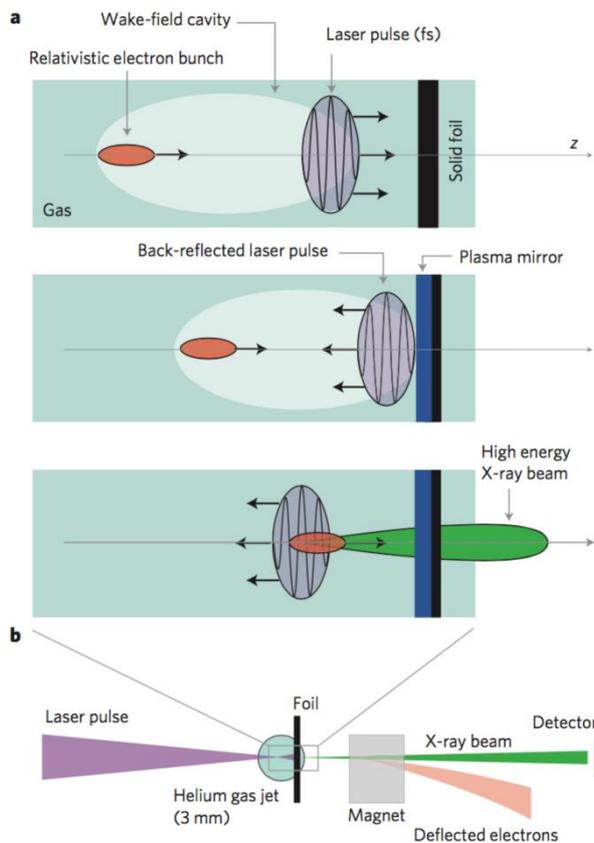
Au-delà des études fondamentales, expérimentales et théoriques, de la physique des sources et de leurs propriétés, un moteur essentiel est le développement des applications. La dynamique ultra-rapide y joue un rôle particulièrement important, qui fait l'objet d'une section à part entière, en raison de son considérable développement aussi bien au plan international que dans l'environnement Paris-Saclay. Par ailleurs la brillance, la cohérence et la brièveté des sources, mais aussi leur compacité, sont exploitées pour le développement de nouvelles techniques d'imagerie à très haute-résolution spatiale (micron et sub-micron) et temporelle (picoseconde à attoseconde), en particulier la diffraction cohérente.

Le développement de ces applications implique en général des dispositifs expérimentaux complexes et nécessite d'améliorer encore la fiabilité et la stabilité des sources. Ces progrès sont à leur tour intimement liés à ceux des lasers générateurs, comme noté dans la section précédente (cadence/puissance moyenne, stabilisation de la phase enveloppe porteuse, ...), mais aussi à ceux de l'instrumentation spécifique qu'elles nécessitent (miroirs multicouches XUV notamment).

À côté des sources déjà existantes de nouveaux concepts de sources dans le domaine XUV sont actuellement à l'étude, ou commencent à fonctionner, et vont se développer dans les prochaines années. Citons notamment la génération d'harmoniques d'ordre élevée associée aux structures plasmoniques. Par ailleurs de concepts novateurs de laser X à électrons libres, combinant des techniques d'accélération d'électrons par laser et par accélérateur conventionnel sont actuellement développés dans le cadre du projet LUNEX5 et de deux projets ERC décrits plus haut.

X:

La génération de rayonnement X dur est basée sur l'interaction laser-plasma en régime relativiste.



Principe de la source par rétrodiffusion Compton – crédit LOA

À ce jour, deux mécanismes directs ont été mis en évidence. Le premier est la diffusion Thomson non-linéaire, associée à la réponse non-linéaire des électrons du plasma lorsque leur mouvement dévient relativiste. Le second repose sur l'accélération d'électrons dans le plasma. Ces électrons oscillent transversalement et émettent un rayonnement X, appelé rayonnement betatron. Du rayonnement X peut également être généré en transportant ces électrons jusque dans un onduleur, ou en les faisant osciller dans une impulsion laser contre-propagative (diffusion Compton vers l'arrière). Les sources X plasma actuellement disponibles constituent une approche complémentaire aux sources conventionnelles, et en particulier au laser à électrons libres X qui est aujourd'hui la source la plus avancée, produisant un rayonnement ultrabref et extrêmement brillant.

Ces sources présentent également des avantages comme une durée femtoseconde, une taille de source micrométrique, ou une synchronisation naturelle avec d'autres sources issues de la même installation laser. Du fait de leur caractère relativement récent, les applications de ces sources ne sont pas encore très développées.

Les principaux axes de recherche sur cette thématique sont l'amélioration des propriétés des sources X déjà existantes, l'étude et la réalisation de nouveaux schémas de sources X laser plasma, et enfin la réalisation d'expériences simples visant d'une part à démontrer le potentiel de ces sources et d'autre part à susciter l'intérêt d'utilisateurs provenant de différentes communautés scientifiques.

Sur le synchrotron SOLEIL, une nouvelle technique, appelée "slicing" et permettant de générer des impulsions X femtoseconde, est en cours de commissioning sur les lignes CRISTAL (X dur, 140 fs) et TEMPO (X mou, 200 fs). L'interaction d'un laser avec un paquet d'électrons dans un onduleur conduit à un échange d'énergie. En séparant spatialement la tranche d'électrons ayant interagi avec le laser du reste des électrons du paquet, il est possible de la faire rayonner et de produire ainsi du rayonnement synchrotron sub-picoseconde, pour des expériences pompe sonde. L'interaction a été mise en évidence et analysée, des premiers photons issus du slicing ont d'ores et déjà été observés sur CRISTAL.

Filamentation et sources THz

La filamentation femtoseconde est un phénomène d'optique nonlinéaire qui apparaît spontanément lorsqu'une impulsion laser ultra-courte amplifiée se propage dans l'air ou dans un milieu transparent. Elle se traduit par la contraction spatiale du faisceau laser pour former un long et

mince canal de lumière intense laissant dans son sillage une colonne de plasma. Outre les effets physiques inédits qu'offre ce système fortement non linéaire, la capacité des filaments à générer une intensité élevée et un plasma à grande distance de la source laser permet d'envisager de nombreuses applications : le guidage de la foudre, la génération à distance de rayonnement THz et d'une émission stimulée UV par le plasma, la formation de guides d'ondes optiques dans l'air, le contrôle d'écoulements ou encore la génération de sources acoustiques dans l'eau.

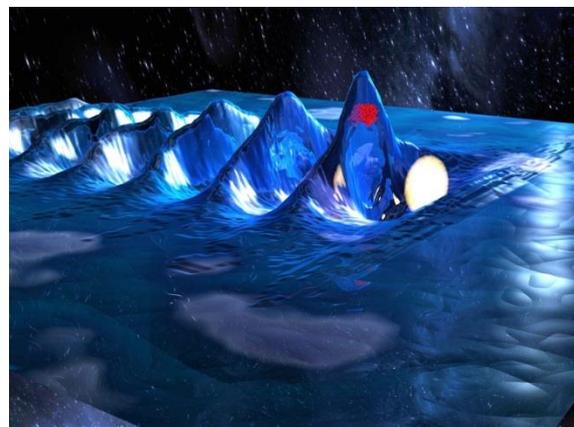
Les recherches s'orientent plus particulièrement sur le développement de la source laser UV par filamentation dans l'air. Le mécanisme physique à l'origine du gain laser dans l'azote doit être mieux compris afin d'augmenter l'intensité du rayonnement, de préférence vers l'arrière. Une difficulté à surmonter pour le schéma moléculaire neutre est l'effet néfaste de quenching de l'oxygène. Plusieurs études expérimentales récentes ont également mis à jour l'importance du dépôt d'énergie dans l'air et dans l'eau par filamentation laser. Ce chauffage induit l'émission d'une onde acoustique large bande et la formation d'un canal sous dense de longue durée de vie permettant le guidage de décharges électriques ou d'impulsions laser énergétiques dans l'atmosphère. Le challenge consiste aujourd'hui à comprendre et modéliser les mécanismes de dépôt d'énergie, de relaxation du plasma et d'évolution hydrodynamique du milieu liés au filament femtoseconde.

Nouvelles sources de particules

Electrons

L'accélération d'électrons dans une onde plasma générée dans le sillage du laser permet de produire en quelques millimètres des faisceaux d'électrons de courte durée à de hautes énergies. La majorité des applications de ces faisceaux sont des applications de recherche (génération de rayonnement X ou gamma, laser à électrons libres, diffraction électronique, radiographie, étude de la radiolyse) mais ils ont également un fort potentiel pour la radiothérapie.

Les caractéristiques des faisceaux d'électrons accélérés par laser ne sont néanmoins toujours pas à la hauteur de celles des faisceaux produits par les accélérateurs traditionnels, ce qui limite aujourd'hui leur utilisation. L'enjeu principal de cette thématique est donc l'amélioration de la qualité et de la stabilité des faisceaux d'électrons. Ceci passe notamment par une meilleure compréhension de l'interaction laser-plasma dans ce régime relativiste (avec une forte composante numérique), la maîtrise des processus d'injection des électrons dans l'accélérateur (auto-injection, injection optique, rampe de densité, injection par ionisation, ...), et l'étude de nouvelles géométries comme l'accélération multi-étage et l'utilisation de tubes capillaires.



Simulation de l'onde de sillage plasma créée par une impulsion laser fs intense – Crédits A. Lifschitz/LOA

Ions

L'accélération d'ions par laser est un phénomène qui a toujours été observé lors de l'interaction laser-cible solide. L'avènement des lasers femtosecondes intenses a néanmoins permis de déplacer cette interaction dans le régime relativiste et découvrir de nouveaux mécanismes

d'accélération. Les faisceaux d'ions, et particulièrement de protons, accélérés en face arrière d'une cible solide sont bien collimatés, laminaires et de faible émittance.

Les efforts fournis dans ce domaine visent d'abord à se rapprocher des performances des accélérateurs traditionnels: augmentation de l'énergie du paquet d'ions (pour la protonthérapie) ou de sa charge (pour la fusion inertielle), et stabilisation de la source d'ions. Le deuxième axe de recherches majeur est la production de faisceaux mono-énergétiques, nécessaires à certaines applications comme la protonthérapie.

Afin d'atteindre ces objectifs, un effort particulier est mis sur la compréhension des processus qui entrent en jeu dans l'interaction, notamment les mécanismes d'absorption de l'énergie laser, et sur la recherche de nouveaux mécanismes d'accélération plus favorables. Ceci passe par un important travail en amont, plus particulièrement sur les qualités du laser de pompe (amélioration du contraste) ou sur la cible d'interaction (cibles solides nanostructurées, cibles gazeuses de forte densité).

Applications des nouvelles sources de particules

Les faisceaux d'ions accélérés par laser sont déjà couramment employés aujourd'hui en recherche académique, en tant que sources auxiliaires lors d'expériences « intégrées » d'interaction laser-matière. Il s'agit aussi bien de les utiliser comme pompe (chauffage isochore de la matière, allumage de la fusion par confinement inertiel) que comme sonde (radiographie de plasmas denses).

De nombreuses initiatives se développent pour étendre le champ d'application de ces sources et promouvoir leur application à des problématiques d'intérêts sociétaux, en particulier dans le domaine des sciences du vivant, de la santé. Les applications pressenties concernent l'imagerie médicale et surtout le traitement anti cancéreux, que ce soit à partir de faisceaux d'électrons ou de faisceaux de protons. On peut citer par exemple des projets exploratoires en matière de stérilisation des champs opératoires par électrons après ablation tumorale, ou la destruction de tumeurs dans des tissus difficilement atteignables par les techniques chirurgicales conventionnelles (proton thérapie). Si les perspectives sont sérieuses, des progrès significatifs restent à accomplir tant sur le plan des performances que de la fiabilité et la reproductibilité des sources que de leur contrôle.

Enfin, la démonstration de l'accélération d'électrons multiétages devrait ouvrir la voie vers le développement d'accélérateurs d'intérêt pour la communauté de la physique des hautes énergie, grâce aux forts gradients de champ accélérateur autorisés par le principe de l'accélération laser-plasma.

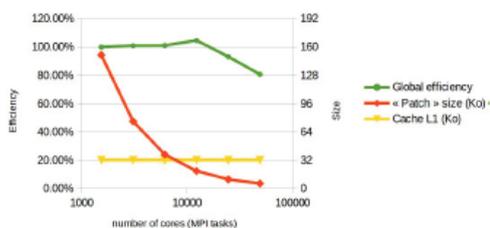
Développement des simulations PIC

Sur le plan théorique et numérique un effort particulier est entrepris pour doter la communauté d'outils modernes accessibles à tous, notamment dans le cadre du projet SMILEI



An innovative, efficient and open-source PIC code

SMILEI stands for *Simulating Matter Irradiated by Light at Extreme Intensities*. It is developed through a collaboration between various teams at Ecole Polytechnique and with a strong support from the Maison de la Simulation and IDRIS on the numerical side. SMILEI is developed in C++ and based on an object-oriented architecture. It continuously includes more and more physics modules and geometries following the needs of the users community. Simultaneously, developers dedicated to the core of the code make sure that it performs well on the newest HPC systems. The latest HPC-relevant algorithms are implemented and innovative ones are developed.



The chart to the left shows how well SMILEI performed on the new OCCIGEN system operated in CINES (France). These very high efficiencies have been obtained for simulations of Brillouin amplification of ultra-short laser pulse in a very homogeneous plasma within the framework of a GENCI Grands Challenges*.

(*) M. Grech & J. Dérouillat, *Amplification Brillouin de Faisceaux Laser Ultra-Courts*

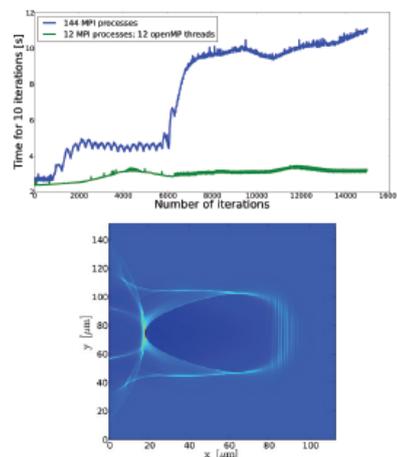
SMILEI relies on an innovative hybrid MPI-OpenMP

The chart to the right shows that a pure MPI implementation suffers severely from this imbalance whereas the clever particle sorting joined with a dynamic openMP scheduling developed for SMILEI virtually suppresses all imbalance effects at this scale.

Results presented here corresponds to the simulation of electron wakefield acceleration, and the slow down of CPU efficiency occurs due to charge imbalance when the “bubble” is formed.

Further improvements in the mitigation of imbalance effects are to be expected with the forthcoming versions of the code.

More info on SMILEI on the dedicated [website](#).



Dynamique ultra-rapide

La présence dans le campus d’une concentration exceptionnelle de sources de lumière extrême avec des performances au plus haut niveau international représente une opportunité unique pour confirmer et renforcer la visibilité de la communauté scientifique de Paris-Saclay dans la dynamique ultra-rapide (sur l’échelle pico, femto, et atto-seconde) de la matière. Ce domaine scientifique est en train de monter en puissance dans le contexte international de la physique de la matière, et présente des caractéristiques de forte interdisciplinarité, qui dépassent les frontières conventionnelles entre la physique des atomes, des molécules, des plasmas et des solides. Quand les

électrons sont photoexcités, les limites entre les différents états de la matière deviennent moins rigides, et des approches interdisciplinaires (qui peuvent par exemple être communes à la physique de la phase diluée et de la phase condensée) deviennent plus efficaces pour la description des systèmes hors équilibre. Ces approches interdisciplinaires sont possibles aussi bien au niveau de techniques expérimentales que de modélisation théorique. Parmi les lignes de recherche émergentes dans le domaine de la dynamique ultra-rapide on citera les suivantes :

Matière diluée:

Dans la physique atomique et moléculaire, le développement des sources XUV ultrarapides offre des opportunités nouvelles pour l'étude des processus multiphotoniques XUV/IR et XUV/XUV, caractérisés par la production d'états électroniques fortement excités. En combinaison avec les sources laser, les développements instrumentaux concernant les sources d'électrons ou d'ions et les spectromètres expliquent la forte activité dans l'étude de la dynamique d'ionisation et de dissociation. Les mécanismes des réactions peuvent en particulier être caractérisés par les techniques de multi-coïncidence et donnant accès à l'impulsion, basées sur les détecteurs sensibles à la position, et très bien développées dans le cadre de Paris-Saclay.

L'étude des corrélations électroniques jouera certainement un rôle important, car il est absolument central dans l'étude de la dynamique des systèmes à plusieurs corps. Les effets des corrélations électron-électron sont visibles dans les phénomènes de photoionisation, et ont lieu sur des échelles de temps très courtes, sub-fs. D'ailleurs, la production d'impulsions attoseconde permet les études résolues en temps de la dynamique électronique cohérente à l'échelle atomique : la dynamique attoseconde donne accès en particulier à l'évolution de la tomographie orbitale en temps réel.

Matière condensée:

Dans la matière condensée, la recherche sur la dynamique ultrarapide adresse des questions ouvertes qui ont à la fois un grand intérêt fondamentale et importantes implications technologiques. En particulier, la dynamique d'aimantation et de désaimantation est un sujet central dans le progrès de la spintronique et de la technologie de stockage de données, et des approches originales utilisant les sources ultrarapides dans l'extrême ultraviolet ont été développées pour l'étude de la dynamique de désaimantation en relation à l'ordre magnétique à l'échelle nanométrique. Dans l'étude des matériaux fortement corrélés, la possibilité d'induire des transitions de phase photoinduites et de séparer de façon transitoire les degrés de liberté électroniques et réticulaires permet une approche alternative à la compréhension théorique de ces systèmes, et ouvre des opportunités pour une nouvelle génération de dispositifs. La possibilité de mesurer l'évolution temporelle des bandes électroniques dans les solides avec la spectroscopie ultrarapide de photoélectrons résolue en angle permet aussi d'observer en temps réel la dynamique électronique des fermions de Dirac dans les matériaux comme le graphène et les isolants topologiques.

Transition matière solide-plasmas:

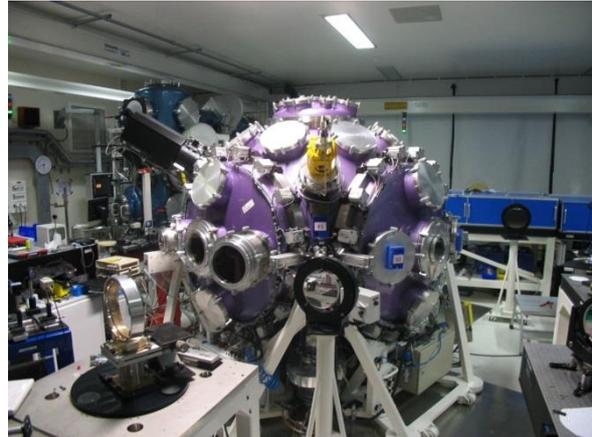
Dans l'étude de la matière à haute densité et température modérée, où l'énergie cinétique des électrons est comparable à l'interaction coulombienne entre électrons et noyaux, les études résolues en temps permettent une autre approche à la compréhension de ces systèmes, en suivant en temps réel la transition de la matière solide vers le plasma. Grâce aux sources ultrarapides dans l'extrême ultraviolet présentes sur le plateau de Saclay, l'énergie peut être déposée de façon

beaucoup plus efficace dans la matière, ce qui optimise la transition vers le plasma. La photoionisation des niveaux électroniques de coeur permet de créer un état transitoire sur l'échelle de la femtoseconde qui donne de nouveaux éléments pour la validation des modèles théoriques.

Matière sous condition extrême

Les sources de lumière extrême en développement et les installations puissantes existantes sur le site Paris-Saclay peuvent délivrer des énergies élevées (plusieurs kilojoules), et rendre la matière irradiée dans un état extrême de température et de pression, et/ou dans un régime transitoire de haute excitation hors équilibre.

Les activités de recherche sur la thématique de la matière en conditions extrêmes, à la fois expérimentales et théoriques, visent à mieux comprendre la complexité des phénomènes dans le contexte de l'astrophysique, de la planétologie, de la fusion thermonucléaire par confinement inertiel (FCI) et des phénomènes en électrodynamique quantique provoqués par des champs laser de très forte amplitude. Dans ce contexte scientifique, les thématiques émergentes qui motivent aujourd'hui la communauté du plateau et qui rassembleront les efforts pendant les années à venir de déclinent en trois grande préoccupations :

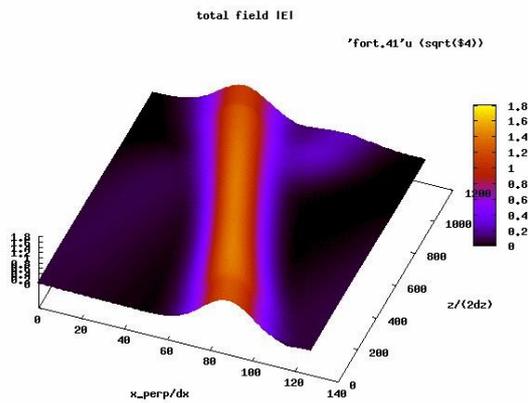


Salle expérimentale du LULI/ crédit LULI

- **Les propriétés microscopiques de la matière (du solide au plasma)**
- **La physique à haute densité d'énergie (HDE)**
- **La physique en présence de champs électromagnétiques élevés (champ fort).**

Il s'agit :

- d'acquérir les données de base (équations d'état, opacités, etc) qui régissent les propriétés radiatives, spectroscopiques et thermodynamiques de la matière qu'elle soit mise en conditions extrêmes (par exemple par des ondes de choc), ou qu'elle subisse une transition entre l'état solide et l'état de plasma chaud,
- d'étudier les propriétés du transport des particules énergétiques et leur pouvoir d'arrêt dans ces milieux,
- de rendre maitrisables des multiples instabilités qui conduisent potentiellement à une dégradation du couplage entre les sources laser et la matière (plasma) pour la FCI ou
- d'appliquer certaines propriétés de ces instabilités pour amplifier – d'une façon contrôlée – des sources de lumière,
- de proposer des solutions innovantes d'obtention des réactions de fusion,
- d'élaborer des scénarios qui provoquent et mettent en évidence des phénomènes de l'électrodynamique quantiques dorénavant accessibles par des installations laser de dernière génération.



Sur le plan théorique, les études, internationalement reconnues, comportent à la fois la construction de modèles théoriques et le développement de méthodes numériques et de codes de simulation qui visent à décrire des mécanismes allant de l'échelle microscopique (description cinétiques par exemple) jusqu'à l'échelle macroscopique du plasma (hydrodynamique fluide).

Simulation numérique de l'amplification laser dans un plasma. Crédit CPHT

Les équipes expérimentales et théoriques sur le site participent efficacement aux grands programmes internationaux, notamment EUROfusion. Elles jouent un rôle moteur dans la coordination et la structuration de la communauté nationale, au travers de deux Fédérations de Recherche, et dans la formation par le biais de son implication dans le parcours national "Sciences de la Fusion".

Potentiel de recherche

Personnel

nb chercheurs total 148

	28	90	102	3	27	30	63	94	85	15	67
nb chercheurs total	28	90	102	3	27	30	63	94	85	15	67
Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés	4	15	47	3	3	23	16	23	3	4	8
Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés	3	3	1	0	3	0	4	8	1	1	4
Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)	1	33	19	0	8	2	17	25	27	3	21
Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)	5	3	1	0	1	2	4	5	2	2	4
Autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.)	6	9	15	0	11	3	13	24	44	4	9
Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)	3	7	12	0	0	0	3	2	0	0	7
Doctorants	0	5	0	0	1	0	1	3	3	0	5
Thèses soutenues	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité											
Nombre d'HDR soutenues											
Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées											

DOTA	0	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0
LPS	2	2	1	0	0	0	2	2	0	0	2
LUMAT	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	1
LSI	1	2	0	0	0	0	2	2	2	0	2
Soleil	7	1	0	0	0	0	0	0	3	0	2
LCP	1	2	3	0	0	0	0	0	0	1	2

Répartition par laboratoire des personnels concernés par le pôle lumière extrême selon chaque catégorie professionnelle

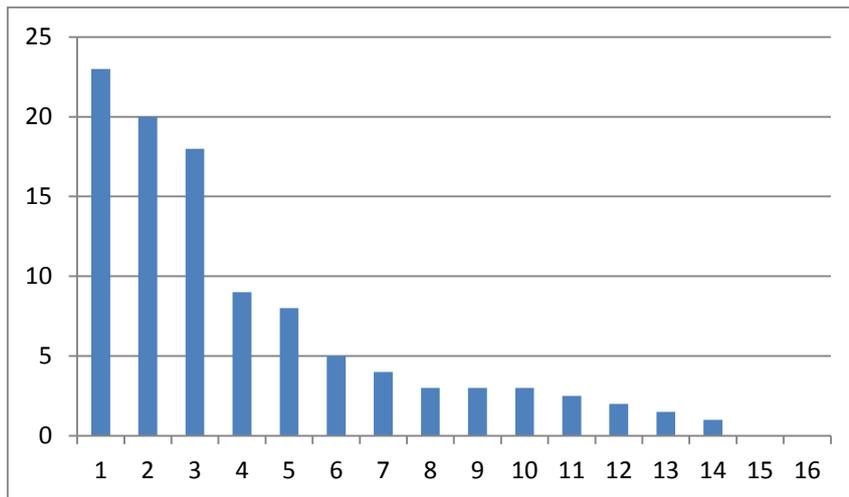
Total ETP 103

38 21.5 19 24.5

Laboratoire	Chercheurs ETP			
	Sources de lumière	Nouvelles sources de particules	Dynamique ultra-rapide	Matière sous condition extrême
CPhT	1	1.5	1	2.5
ICMMO	0	0	1	0
ISMO	1	0	2	0,5
LCF	8	0	0	0
LCP	3	0	0	0
LIDYL	13	4	2	4
LOA	1.5	13	4.5	1
LPGP	3	1	0	0
LPN				
LPS	0	0	2.5	0
LSI	0	0	2	1
LULI	0	2	0	16
LUMAT	2	0	0	0
SOLEIL	9	0	0	0
SPEC				
DOTA	1.5	0	0	0

Répartition des chercheurs par thématique, en équivalent temps plein

Parité : 16,5 % de femmes parmi la population des ETP



Histogramme du nombre de chercheur ETP par laboratoire. Le cumul des populations de 3 laboratoires représente 60% des effectifs du pôle 4

Equipement

La communauté du pôle 4 dispose d'un parc instrumental unique à l'échelle internationale. Il rassemble des plateformes laser au plus haut niveau de performance basées d'une part sur la technologie titane-saphir, largement dominée par les acteurs du plateau depuis son origine il y a une vingtaine d'années, d'autre part sur l'installation laser civile délivrant la plus haute énergie en France. De multiples installations additionnelles pavent la périphérie du pôle comme le laser à électron libre CLIO par exemple. Ces infrastructures de recherche sont largement ouvertes à la communauté nationale et internationale, la plupart d'entre elles étant membres du réseau d'infrastructures européennes Laserlab Europe. Le LULI occupe une place singulière dans ce paysage, puisqu'il assure l'exploitation de la seule infrastructure de recherche (IR) financée de façon récurrente au titre de son ouverture à la communauté.

Analyse Swot

Sources de lumière extrêmes de l'IR aux X

Equipes : LULI,LOA(PCO,FLEX,ILM), LIDyL (SLIC, ATTO,PHI), LPGP (LASERIX), ISMO, LCF (Laser, Optiques XUV), SOLEIL, ICCMO, LCP, CPhT

— Atouts :

- Forte reconnaissance internationale: Prix, ERC, ...
- Position de leader dans plusieurs domaines
- Grande diversité de sources ultrarapides aux caractéristiques variées et complémentaires
- proximité d'utilisateurs qui motivent et valorisent les progrès des sources
- grande maîtrise des technologies verre, CPA, Ti-Saphir, laser fibré et diagnostic+ métrologie associée (spider, sequoia, rabbit, thermitte, streaking..)
- expertise tout au long des lignes de lumière (intégration, transport, composants spécifique notamment dans l'UV-X)
- formation d'étudiants de qualité sur le plateau
- très vaste panorama de sources, capables de satisfaire une grande variété de demandes.
- proximité entre développeurs des sources primaires et secondaires
- Lien avec enseignement Master
- Forte interaction avec industriels
- Proximité d'une vaste communauté utilisatrice qui peut promouvoir l'intérêt des sources
-

— Faiblesses

- Culture « grands instruments » à développer pour concrétiser les concepts et développements de laboratoire en des machines destinées à être exploitées.
- Personnel d'exploitation souvent insuffisant et difficulté à valoriser ces tâches
- Coordination insuffisante des différentes installations en termes de moyens et de développements
- Financement de recherche pour faire progresser les performances des installations source laser

— Menaces

- Concurrence avec projet ELI: fuite de compétences, épuisement des fonds européens en raison de l'investissement massif dans les 3 piliers (3x250 M€)+ projets allemands (Garching, Dresde, Jena, Hambourg,...)
- Risque de décrochage de la communauté LEL si elle n'est pas stimulée par la perspective d'un projet de développement national (LUNEX ?)
- incertitude sur le financement des centrales de proximité (UHI100 et LASERIX) autour d'Appollon-CILEX
- Concurrence internationale mieux financée
- Concurrence Paris-Saclay / Bordeaux

— Opportunités

- Bassin local d'entreprises partenaires pour accompagner les projets ou les valoriser
- Financement de R&D par ELI
- Application aux technologies pour la santé= source de financement croissante
- Meilleure coordination des installations sur le Plateau.

Nouvelles sources de particules

- Equipes : LIDyL(PHI), LOA(SPL,APPLI),LULI(TIPS,SPRINT), LSI (ILS) LPGP (ITFIP) SOLEIL, CPhT

— **Atouts :**

- Forte visibilité internationale ; collaborations internationales développées.
- Accès privilégié en local ou à l'étranger à des équipements au plus haut niveau de performance ;
- Plusieurs bourses ERC sur le développement de concepts originaux
- Fortes compétences en physique des plasmas et diagnostics associés
- Proximité avec communautés accélérateur et haute énergie
- Projets Cilex en cours de développement. Facilité bientôt disponibles pour la communauté

— **Faiblesses**

- infrastructures peu adaptées (radioprotection)
- Fiabilisation des sources encore insuffisante pour répondre aux enjeux de leur utilisation en remplacement de sources conventionnelles
- Manque de coordination sur des projets scientifiques qui demandent une mobilisation importante
- incertitude sur le financement des centrales de proximité (UHI100 et LASERIX) autour d'Appollon-CILEX

— **Menaces**

- Concurrence avec projet ELI: fuite de compétences, épuisement des fonds européens en raison de l'investissement massif dans les 3 piliers (3x250 M€)
- Risque de perte d'expertise au profit des facilités XFEL européennes

— **Opportunités**

- ELI : accès à des facilités très performantes à plus long terme
- Sources de financement croissantes auprès des SDV et Technologies pour la santé

Dynamique ultra-rapide (atto-femto) de l'atome aux plasmas

Equipes : LIDyL(DYR, ATTO,DICO PHI), LOA (PCO), ISMO, LSI(ILS), LPS

– Atouts :

- Thématique en pleine émergence, forte croissance de l'activité scientifique au niveau international et national
- Conjonction d'une vaste communauté d'utilisateurs et de développeurs de sources
- Grande diversité de sources ultrarapides aux caractéristiques variées et complémentaires
- Parc de plateformes laser accessibles et versatiles
- Communauté des développeurs déjà structurée
- Communauté très présente au niveau international, visible au plus haut niveau.
- Gros projets en cours qui dynamisent la communauté et contribuent à la fédérer.
- Grand bassin d'utilisateurs potentiel sur une large étendue thématique (physique, chimie, sciences de la vie)
- Nombreuses possibilités de synergies et d'animation scientifique à développer
- Nouvelles installations vont démarrer et attirer des projets innovants
- Projet Attolab, OPT2X pour le développement de lignes de lumière
- Labex PALM pour soutenir le démarrage de nouveaux projets
- Attolab=moyen d'explorer les interfaces (physico Chimie, matière condensée..)

– Faiblesses

- Visibilité des sources et communauté des utilisateurs encore limitées au regard des enjeux et des potentialités scientifiques.
- Compromis à trouver entre performance des sources et versatilité (Ouverture interdisciplinaire / spécialisation)
- Maturité des sources secondaires: Encore peu de lignes de lumière extrême suffisamment fiabilisées pour permettre le développement de programmes de recherche sur le long terme.
- Performances des infrastructures souvent insuffisantes en termes de stabilité, régulation, radioprotection pour fournir l'environnement indispensable au bon fonctionnement des sources secondaires. Personnel d'accueil peu nombreux.

– Menaces

- Pas assez de financement récurrent et de personnel pour soutenir l'ouverture des installations aux équipes extérieures ni d'aides aux équipes extérieures pour favoriser leur itinérance sur les sources.
- Difficultés d'accès aux sites, démarches administratives lourdes et longues peuvent limiter l'ouverture à des collaborations extérieures.
- Pérennité du financement du fonctionnement des installations
- Coordination insuffisante des différentes installations en termes de moyens et de développements
- Concurrence internationale dotée de davantage de moyens (ELI ALPS=250 M€), non soumise à la contrainte du compromis performance/versatilité

– Opportunités

- Effort de développement théorique en cours; nouveaux sujets à explorer
- Transfert industriel (lasers, instrumentation, ...)
- Accès aux sources d'ELI et XFEL européens
- Développement d'instrumentation adaptée pour les postes expérimentaux dans les équipes du campus
- Synergies à développer avec les lasers X à électrons libres

Matière sous condition extrême

- Equipes : LULI (ILP, PAPD, PHYDEL, TIPS, SPRINT), CPHT, LPGP(G. Maynard, Laserix), ISMO, LIDyL(MHDE)

— Atouts :

- Des thématiques émergentes à forte visibilité et enjeux
 - Astrophysique de laboratoire
 - Warm Dense Matter
 - Fusion Inertielle
- Fort soutien des tutelles en budget récurrent et en ITA
- Mise en compétition des équipes pour l'accès aux facilités via comité de programme
- Liens forts avec les communautés nationale et internationale en physique des plasmas, visibilité et reconnaissance des équipes au niveau international.
- Accès aux meilleures installations à l'échelle internationale.

— Faiblesses

- Dispersion sur beaucoup de thématiques en regard des effectifs
- Peu de collaborations interdisciplinaires
- Permanents théoriciens peu nombreux
- Nombreux départs en retraite prévus
- Intégration d'Apollon (répartition du budget de fonctionnement et du personnel d'exploitation)
- Incertitude sur le financement des installations pour le maintien de la double compétence UHI et HDE
- Pérennité des installations HDE (LULI 2000) pas garantie à moyen terme

— Menaces

- Peu d'installations laser kiloJoules/HDE accessibles à l'échelle internationale

— Opportunités

- Perspectives d'accès à des nouvelles installations nationales et internationales (LMJ/PETAL, ILE, LCLS, FLASH, ...).
- Renforcement des liens entre expérimentateurs et théoriciens sur le Plateau.

Général

— Atouts :

- Fort lien avec le tissu industriel, notamment local (labos communs, start up, brevets, licences, sources cifre)
- Facilités à la pointe ;(qualité attesté par demande auprès des comités de programme)
- Communauté globalement large
- Forte reconnaissance internationale
- Formation de beaucoup d'étudiants docteurs avec un fort taux de succès de recrutement post thèse
- Thématique d'actualité, en plein essor
- Grands projets en cours (Cilex, ATTOLAB, OPT2X)
- Parc potentiel d'utilisateurs des sources (chimie, sdv...)
- Lien avec la communauté des grands instruments, de la physique des accélérateurs, des hautes énergies, des sciences de l'univers.
-

— Faiblesses

- Infrastructures peu adaptées (stabilité mécanique, régulation température hygrométrie, pression, propreté, radioprotection)
- Taille sous critique de certains groupes
- L'Intérêt sociétal des activités est peu mis en avant, ce qui ferme un certain nombre de guichets de financement
- Postes permanents peu attractifs pour les seniors internationaux et certaines catégories d'ITA
- Nombre important de projets ambitieux en cours, risque de dispersion des forces
- Freins administratifs à la mobilité intra-UPSaY
- Manque de visibilité/coordination

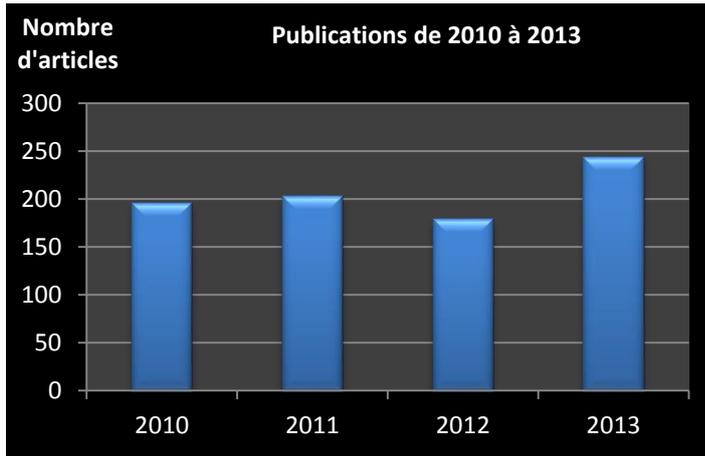
— Menaces

- Concurrence des projets ELI en termes de financement et de moyens humains
- Mobilisation des forces locales pour participer au développement d'ELI, au détriment des projets locaux. Risque potentiel équivalent auprès des facilités européennes de XFEL.
- incertitude sur le financement des centrales de proximité (UHI100 et LASERIX) autour d'Appollon-CILEX
- Echéance 2019 pour les grands projets
 - Devenir des partenariats ?
 - Budget de fonctionnement ?

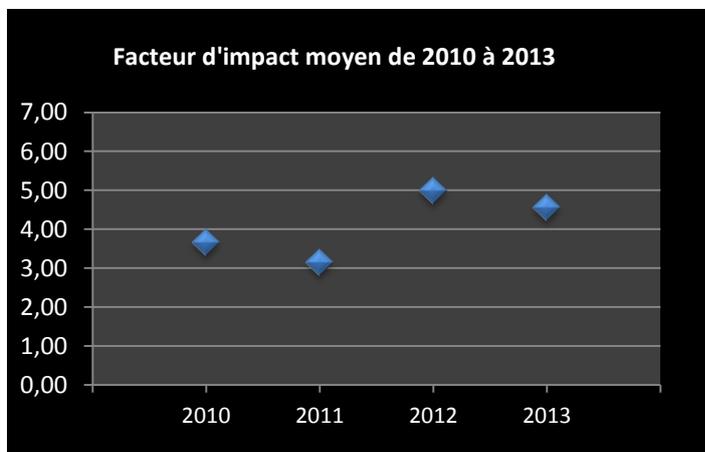
— Opportunités

- Accès futur aux ELI
- Valoriser le travail d'exploitation des sources secondaires (rayonnement et particules)

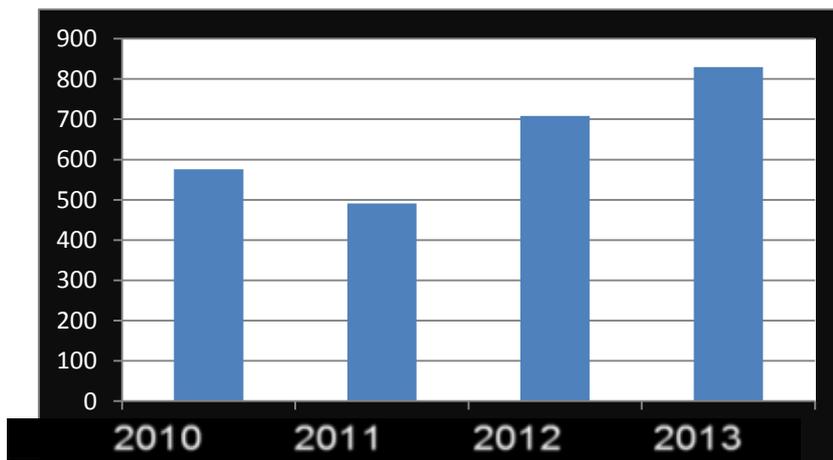
Indicateurs bibliographiques



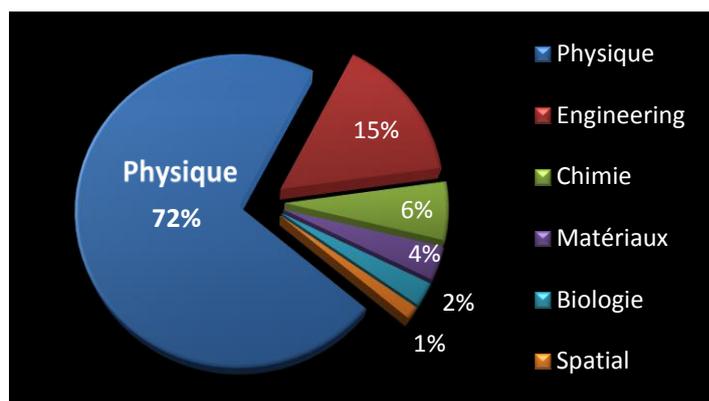
Nombre d'articles



Facteur d'impact moyen.



Evolution du facteur d'impact intégré

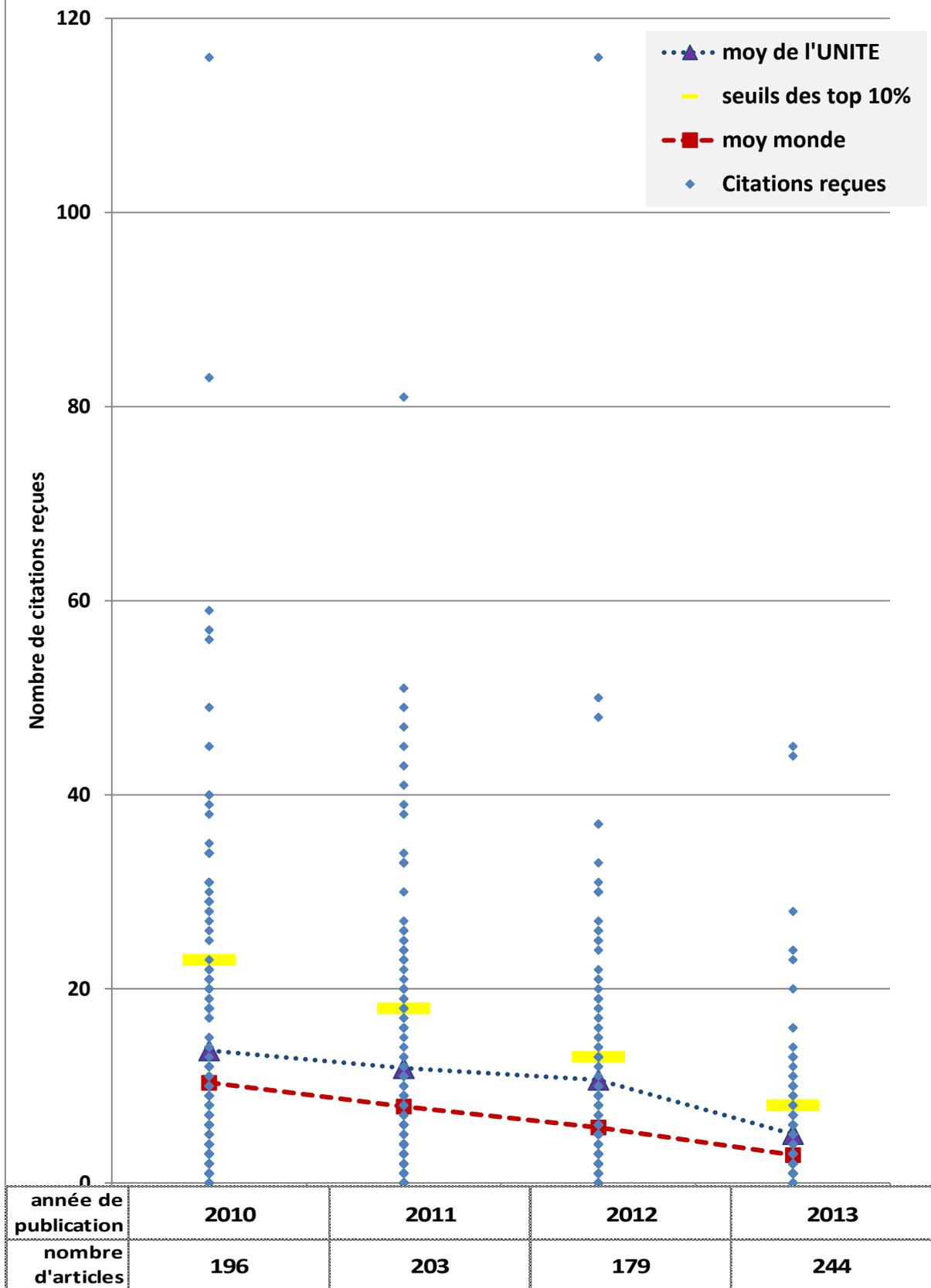


Répartition des articles du pole 4 PHOM dans les catégories disciplinaires ESI :

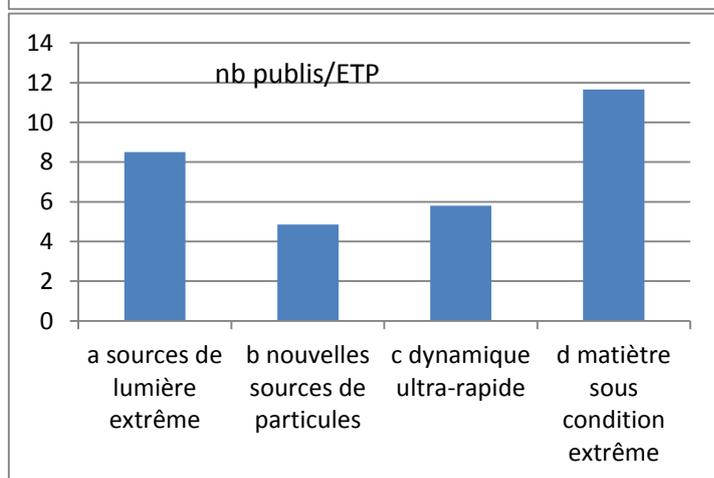
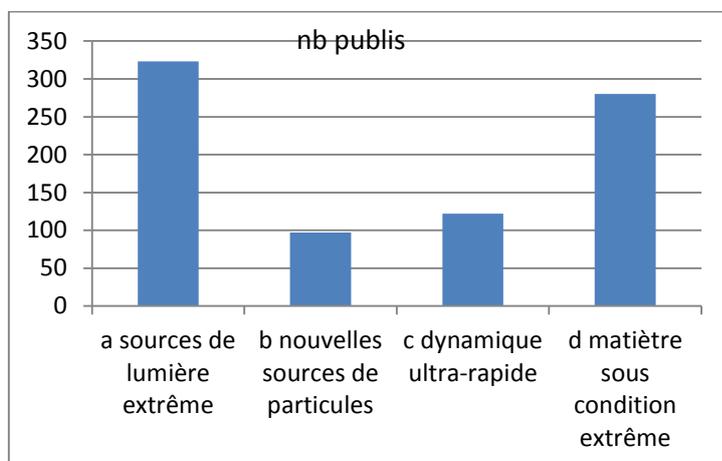
	Année de publication				total
	2010	2011	2012	2013	
PHOM-pole 4					
Nombre d'articles ISI	196	203	179	244	822
Somme des citations réelles (au 20 mars 2015)	2252	1881	1477	861	6471
Moy cit° ESI Physique	10,3	7,9	5,7	2,9	
Nombre moyen de citations réelles par article (au 20 mars 2015)	11,5	9,3	8,3	3,5	8,1
Nombre d'articles non cités (au 20 mars 2015)	31	44	40	73	188
	15%	25%	22%	30%	23%
Seuils de citations des Top 10% ESI Physique	23	18	13	8	
Top 10% Nb et part d'articles > seuils des 10% d'articles les plus cités au monde en Physique	28	36	38	29	131
	14%	18%	21%	12%	16%
Seuils de citations des Top 1% ESI Physique	88	65	46	25	
Top 1% Nb et part d'articles > seuils des 1% d'articles les plus cités au monde en Physique	1	1	3	3	8
	0,5%	0,5%	1,7%	1,2%	1%

Performances de citations réelles de 2010 à 2013

PHOM-pôle 4 /critères Physique

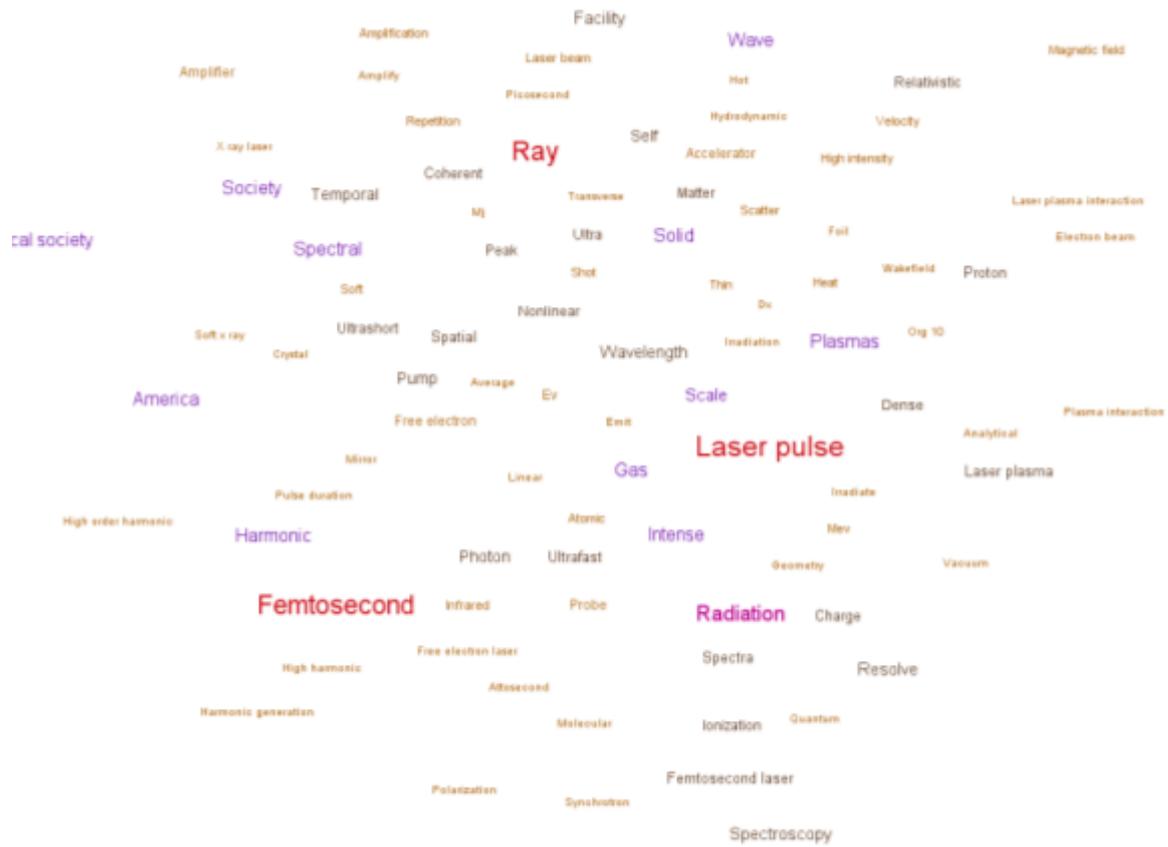


Analyse Thématique



En relation avec le nombre d'ETP impliqués, les indicateurs bibliométriques soulignent le poids plus important des thématiques SLE et MCE. Les cultures de publication ne sont pas identiques au sein de la communauté, ce qui conduit à de différences significatives concernant le nombre de publications par ETP.

Occurrence des mots clés de titre

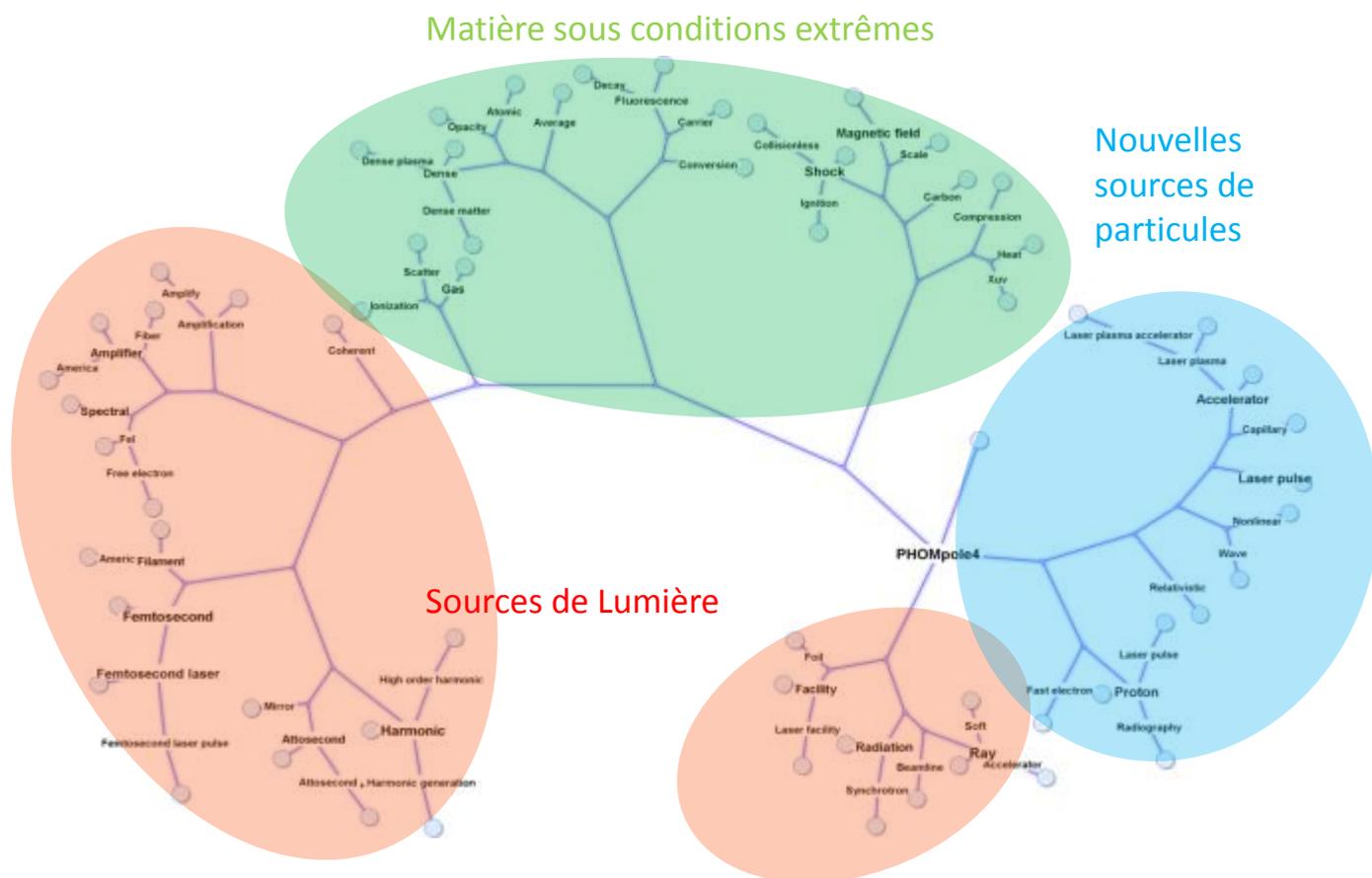


Le terme laser pulse est très dominant, puis Femtoseconde et Ray se détachent.

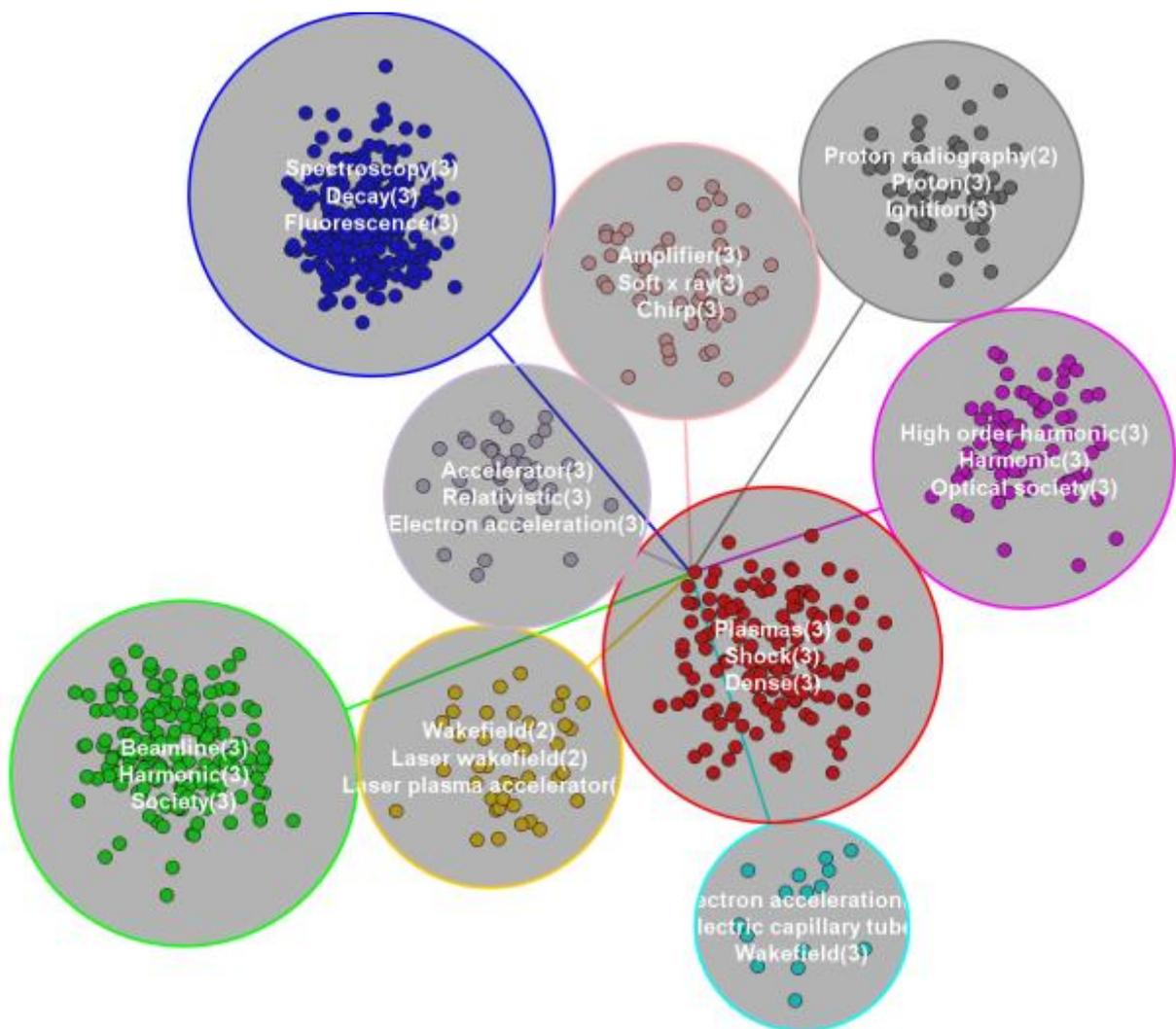
Optical society of America apparait comme parasite

Arbre phylogénique des principaux concepts

3 thématiques du Pole 4 apparaissent clairement. La 4^{ème} thématique (dynamique ultra-rapide) est moins visible pour deux raisons: D'une part elle est davantage dispersée sur les objets d'étude (matière diluée, matière dense, molécules, systèmes biologique...) de sorte qu'il y a moins d'occurrence par mot clef, d'autre part il s'agit d'une activité à caractère plus transverse, davantage diluée dans les 3 thématiques visibles

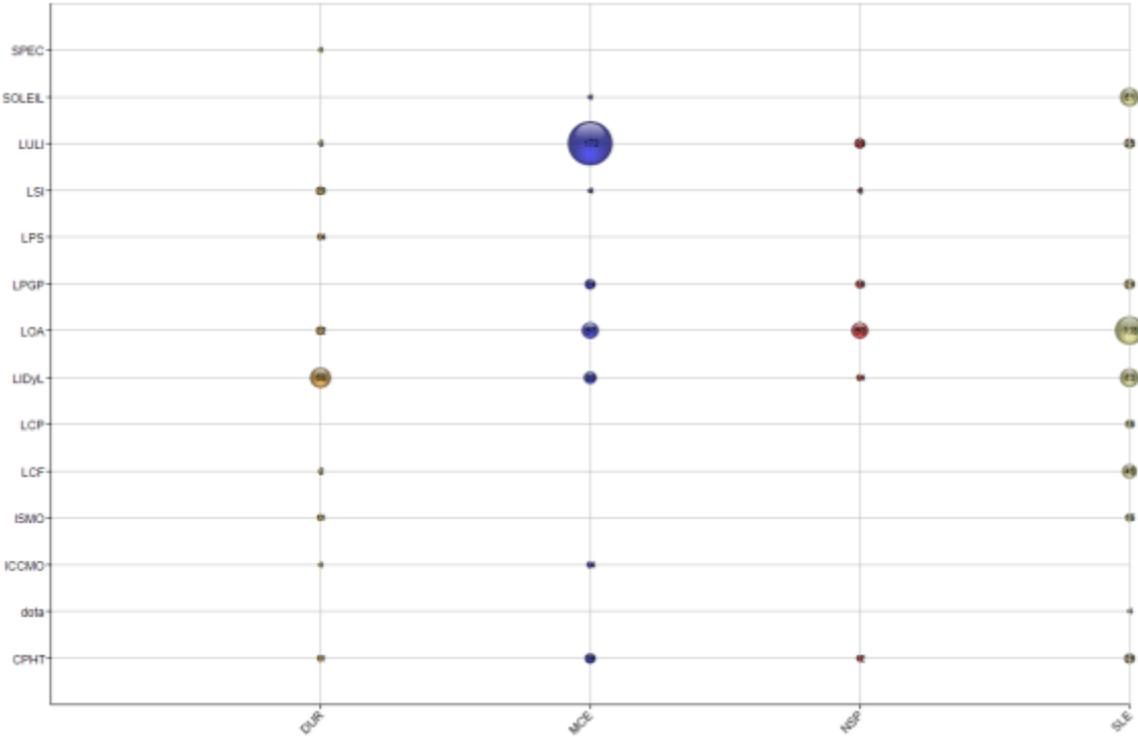


Clusters des concepts.



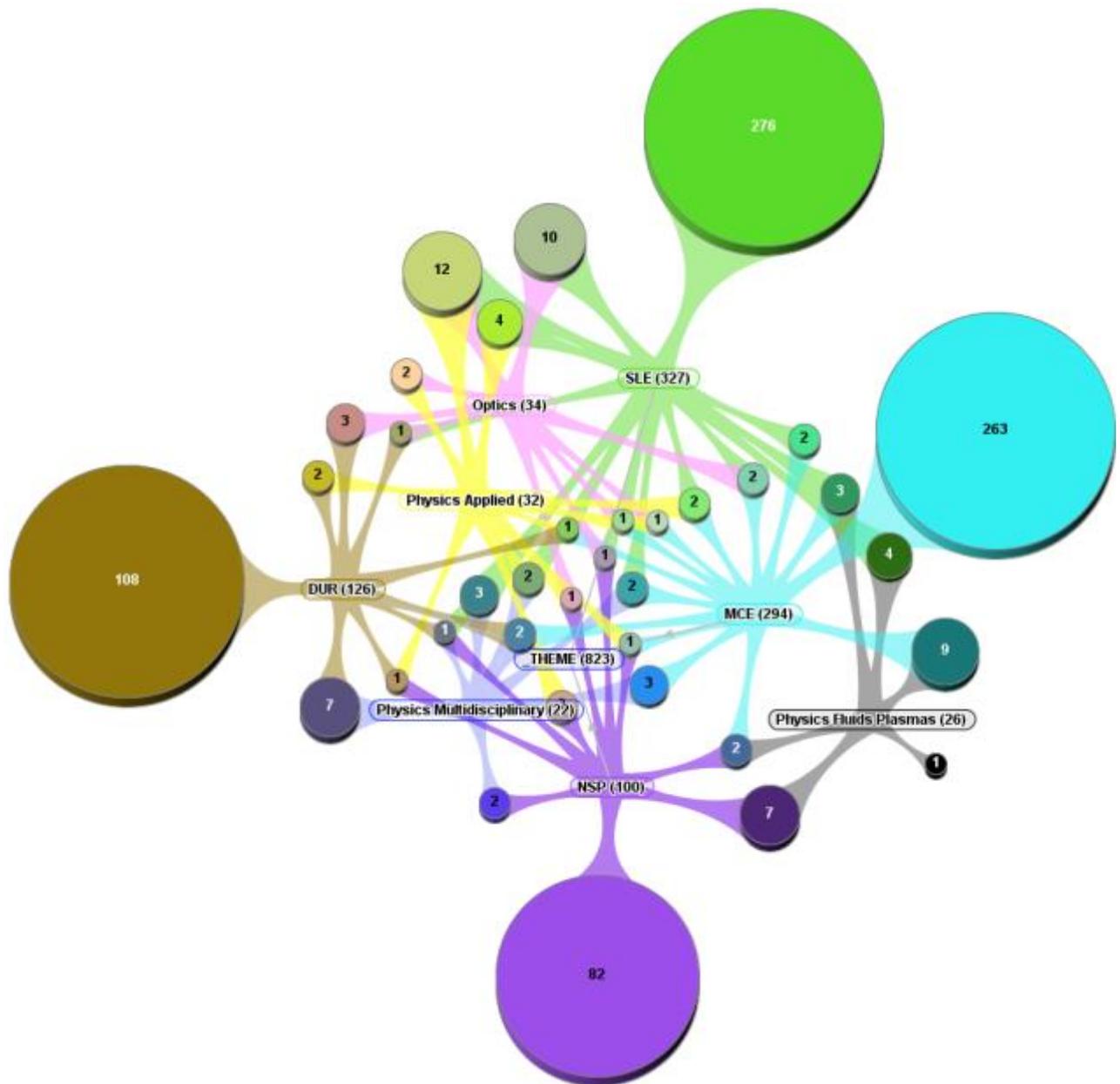
Chaque élément rassemble une sous communauté scientifique. La présence de trois blocs dédiés à l'accélération d'électrons souligne que 3 activités sont développées en parallèle dans le pôle 4 dans cette thématique (régime très non linéaire, guidage en capillaire, application aux LEL). Malgré les intitulés proches, les deux blocs dans lesquels apparaissent « harmonics » sont assez distincts et correspondent plutôt aux développements des sources primaires d'une part et secondaires d'autre part.

Cooccurrence laboratoire-thématique



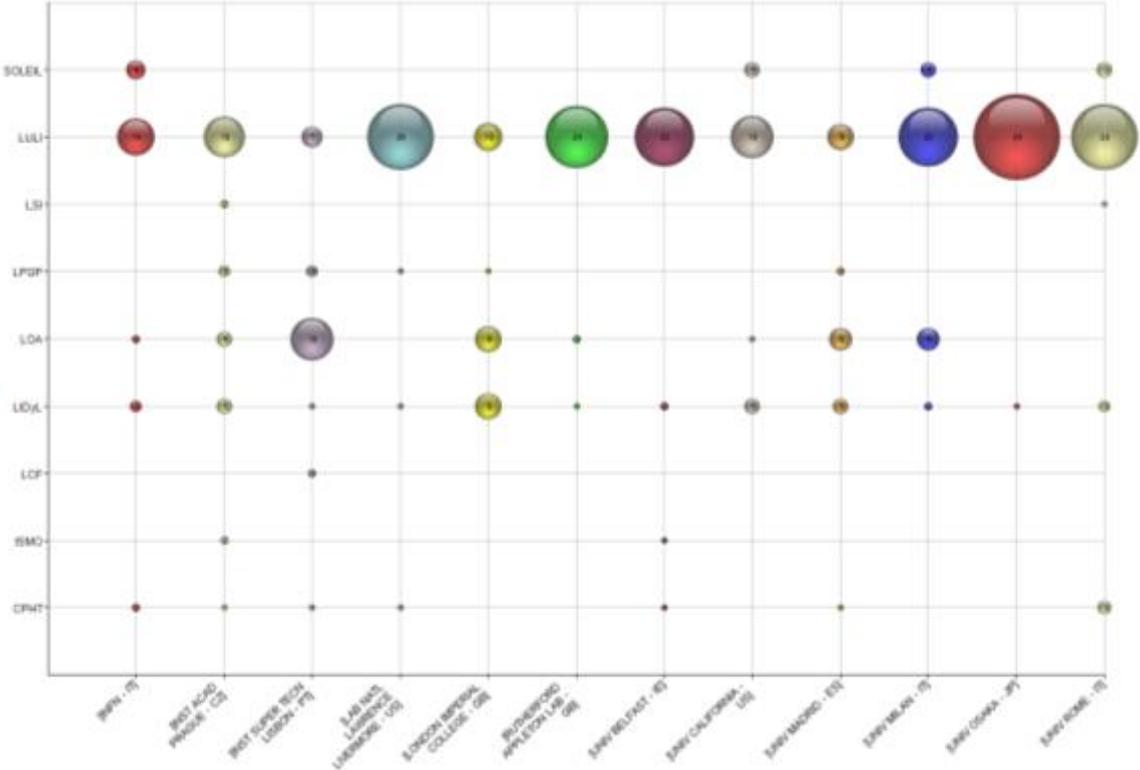
Le laboratoire LULI concentre la plupart de ses efforts sur la thématique Matière sous Condition Extrême et fournit en conséquence une forte partie de l'activité dans ce domaine. La thématique Source de Lumière Extrême est en revanche très distribuée dans les laboratoires

Cartographie des corrélations thématique-champ lexical



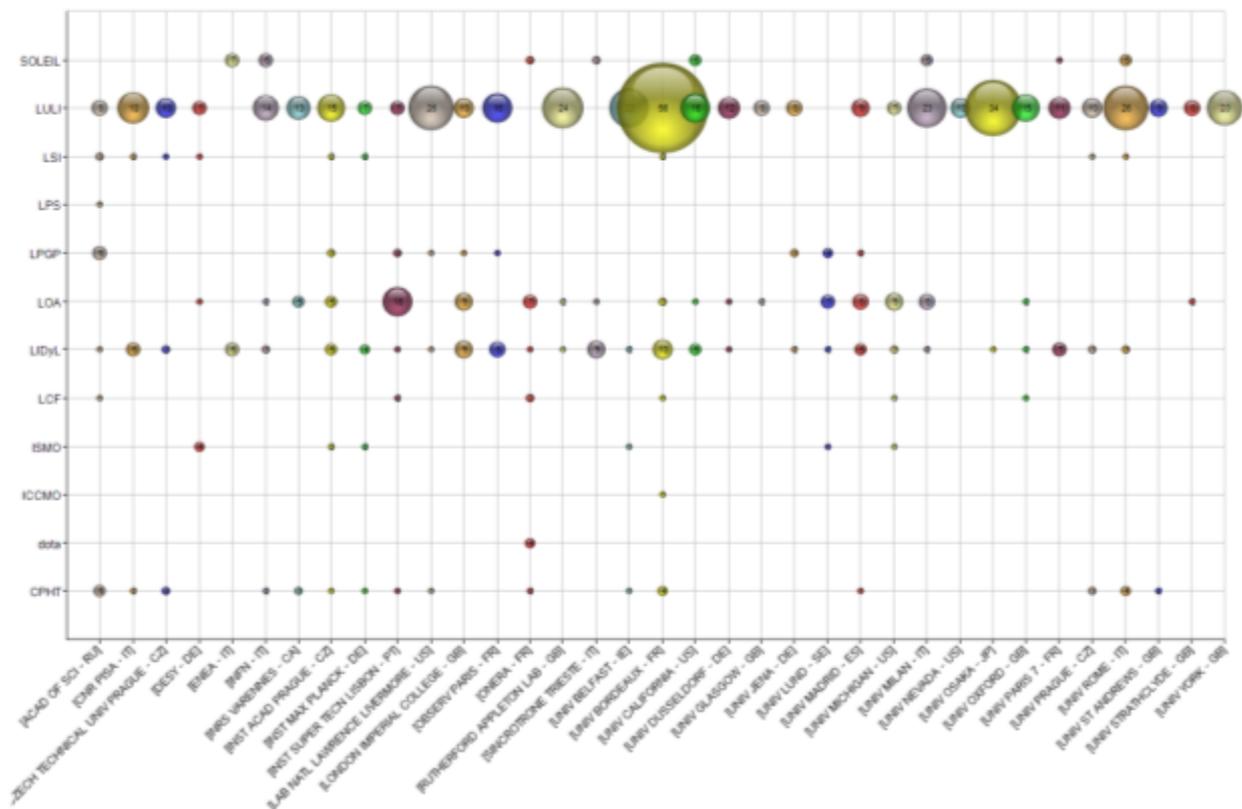
Les thématiques lexicales majoritaires sont identifiables et distinctes pour chaque thématique scientifique. Nouvelles Sources de Particules et Matière sous Condition Extrême sont majoritairement affiliés à « Physics fluids plasmas », alors que Source de Lumière extrême est connecté à « Optics et Physics Applied », tandis que Dynamique Ultra-Rapide est majoritairement relié à « Physics Multidisciplinary »

Poids des Principaux collaborateurs étrangers, par laboratoire



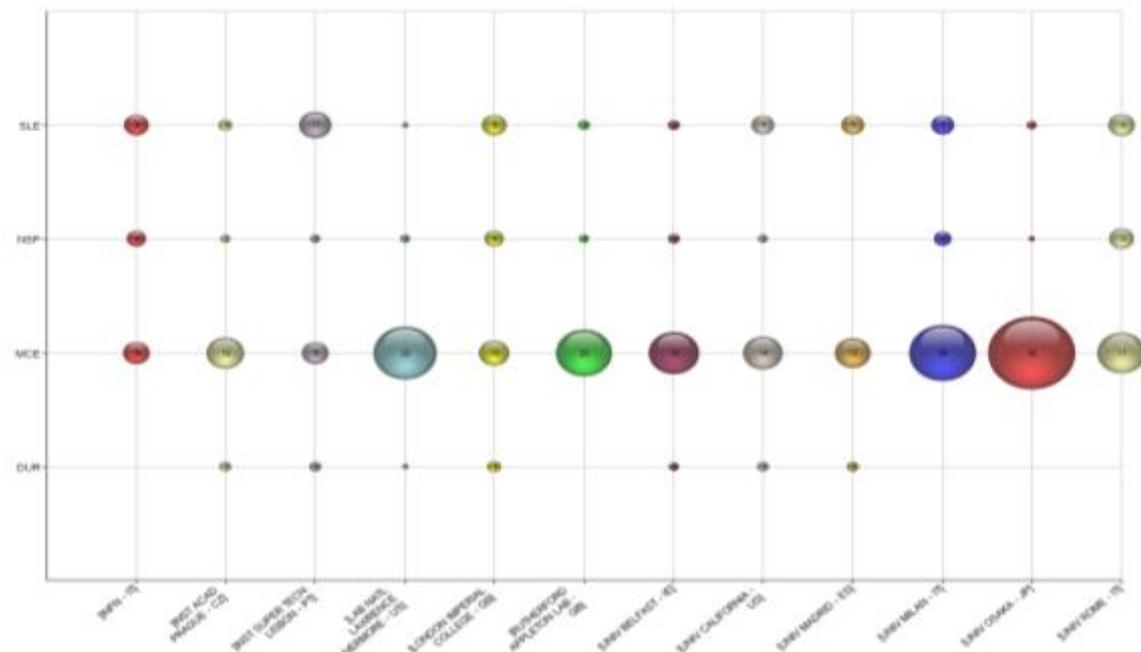
La culture de Publication du LULI se distingue de celle des autres laboratoires. Les recherches rassemblent un plus grand nombre de partenaires

Poids des collaborations, par laboratoire



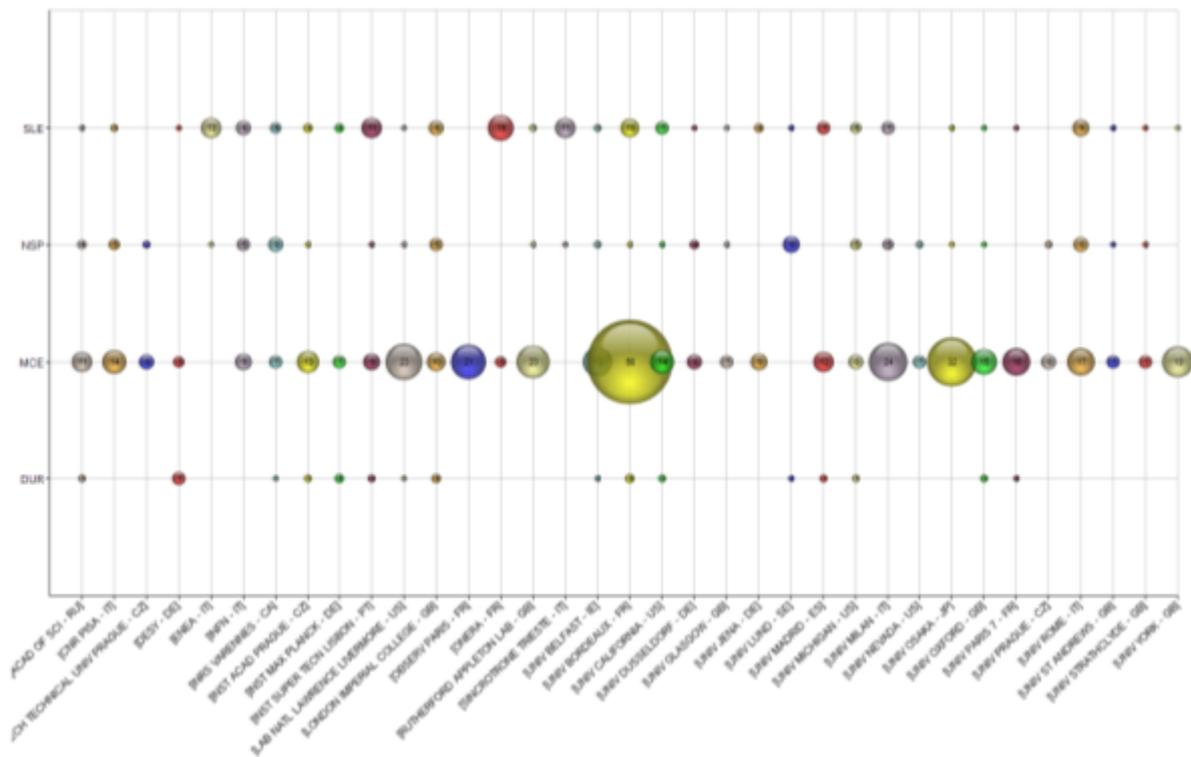
Hors cas particulier du LULI, on voit apparaître quelques collaborations particulières très soutenues comme entre le LOA et Lisbonne par exemple

Poids des principales collaborations étrangères, par thématique



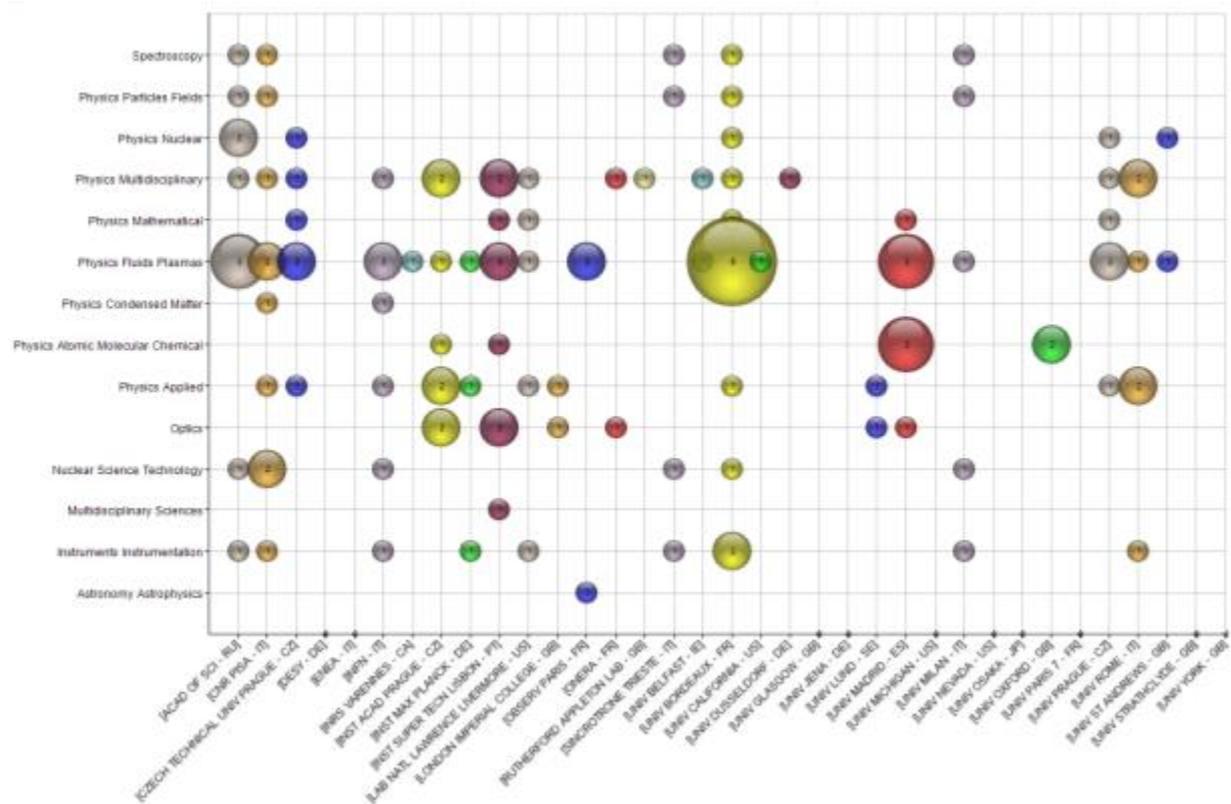
La thématique Matière sous Condition Extrême fait davantage l'objet de collaborations que les autres thématiques. De façon générale les collaborations sont réparties sur un nombre important de laboratoires

Poids des collaborations, par thématique



Bordeaux est le plus gros collaborateur essentiellement en ce qui concerne la thématique Matière sous Condition Extrême. Le poids des collaborations est davantage réparti pour les autres disciplines

Poids des collaborations, par champ lexical



Permet d'identifier le champ thématique particulier qui fait l'objet d'une collaboration. Par exemple

la collaboration avec l'université de Lund concerne essentiellement le domaine de l'optique et de la physique appliquée

Valorisations et lien avec le tissu industriel

Les acteurs du Pôle 4 entretiennent une relation étroite avec le tissu industriel local dans le domaine de l'optique principalement. Il s'agit des grands intégrateurs de laser de puissance comme Amplitude Technologies et Thales laser aussi bien qu'avec des PME spécialisées dans la fourniture de composants de haute technologie comme Imagine Optic, Phasics, Fastlite, ITEOX... Les chercheurs du pôle sont souvent à l'origine des principes qui sont exploités par les partenaires industriels, soit via un brevet, une cession de licence ou encore la création d'un laboratoire commun.

Bilan des actions durant la période 2010-2013

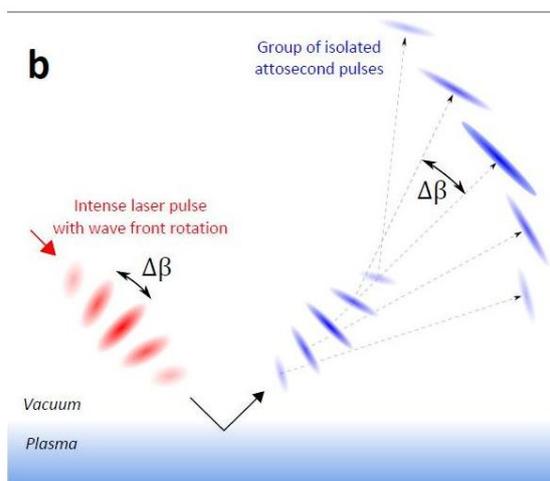
- 21 Brevets
- 4 Laboratoires communs
- 1 Spin off
- 9 Thèses Cifres

Les initiatives de valorisation sont financées soit directement par le partenaire industriel, soit par les outils mis à disposition à l'échelle locale, nationale ou européenne (6 Astre, 3 Sésame, 18 DGA, 1 FUI, 1 OSEO, 2 ERC proof of concept). L'analyse SWOT révèle que ce premier cercle de partenaires est difficile à franchir, alors que l'écosystème de financement de la recherche européenne promeut la valorisation vers des acteurs davantage tournés vers des applications d'intérêt plus large.

Faits marquants

- Phare Attoseconde

Une collaboration entre les chercheurs de l'IRAMIS et du Laboratoire d'Optique Appliqué (LOA) annonce la découverte d'un nouveau procédé d'une grande simplicité pour la génération d'une impulsion attoseconde unique, basé sur la génération d'harmoniques en présence d'une rotation ultrarapide du front d'onde de l'impulsion laser incidente. Il est ainsi possible aujourd'hui de disposer d'une source de lumière particulièrement bien adaptée aux expériences pompe-sonde permettant l'exploration de la dynamique électronique.



En utilisant des impulsions laser de quelques cycles optiques (5 fs), fortement focalisées sur une cible solide à une intensité de l'ordre de 10^{18} W/cm², des impulsions attoseconde sont obtenues par réflexion sur le "miroir plasma" généré à la surface de la cible, par un mécanisme appelé "émission cohérente de sillage". En introduisant une très faible dispersion angulaire sur le faisceau laser avant focalisation, les équipes de l'Université Paris-Saclay ont pu observer pour la première fois, et conformément aux simulations, un "phare attoseconde", émettant trois à quatre faisceaux XUV séparés spatialement, et ne contenant chacun qu'une impulsion attoseconde unique.

Cet effet ouvre de nouvelles perspectives pour la nouvelle science attoseconde, en plein développement depuis 10 ans. En permettant d'obtenir, à partir d'une seule impulsion laser, plusieurs impulsions attoseconde isolées, sous forme de faisceaux bien séparés angulairement et parfaitement synchrones, les phares attoseconde constituent des sources de lumière idéales pour les futures expériences pompe-sonde visant à étudier la dynamique électronique dans la matière.

J. Wheeler, A. Borot, S. Monchocé, H. Vincenti, A. Ricci, A. Malvache, R. Lopez-Martens, and F. Quéré, Nature Photonics, 6 (2012) 829

- L'auto-injection longitudinale découverte par analyse du rayonnement betatron

Le rayonnement betatron, produit lorsque les électrons oscillent dans le champ électrique transverse du laser, permet d'obtenir des informations sur le faisceau d'électrons de manière simple et non invasive car il dépend directement des conditions d'injection des électrons dans la zone accélératrice.

Le mécanisme d'injection le plus simple est l'auto injection qui a lieu lorsque l'onde de sillage est suffisamment forte pour piéger des électrons dans la cavité accélératrice. En utilisant une cellule de gaz de longueur variable, les chercheurs ont pu mettre en évidence deux modes différents d'auto

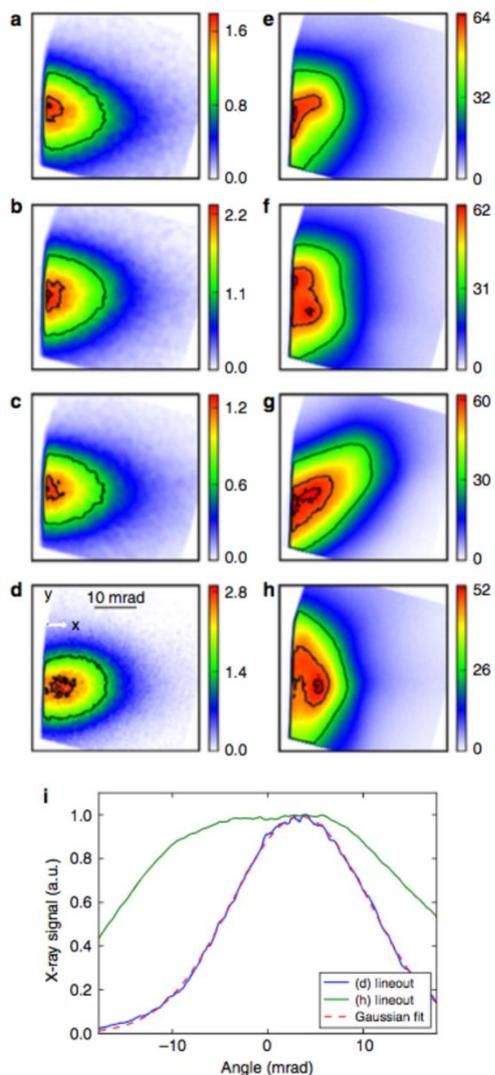


Figure 4 | X-ray beam angular profiles for $n_e \sim 1.1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. Typical angular profiles emitted by the low-charge bunch for $L \sim 1.2 \text{ mm}$ (a-d) and the high-charge bunch for $L \sim 4 \text{ mm}$ (e-h). The field of view in each image is $44 \text{ mrad} \times 44 \text{ mrad}$ and the colour scale gives the number of counts recorded by the X-ray charge-coupled device, divided by 1,000. Photon noise is reduced by a mean filter, and contour lines at 50, 90 and 98% are shown for each image. Transverse axis \hat{x} and \hat{y} are defined in d, where \hat{x} is the laser polarization direction. (i) Lineout in the \hat{y} direction (integrated over 2.25 mrad in the \hat{x} direction) of image d and h, and a Gaussian fit of the d lineout.

injection. Pour des faibles longueurs, le paquet d'électrons accélérés est quasi-monoénergétique et de faible charge, alors que pour de grandes longueurs, son spectre est large et sa charge importante. Ceci montre que deux injections successives ont lieu au cours de la propagation du laser dans le plasma.

Le profil angulaire du rayonnement betatron produit par les oscillations transverse des électrons dépend des propriétés transverse du paquet d'électrons. Les profils produits par les paquets de forte charge sont fortement asymétriques et fluctuent tir-à-tir. Ceci est compatible avec le mécanisme d'injection transverse, où les électrons circulent autour de la cavité ionique pour y être injectés à l'arrière. Par ce mécanisme, tous les électrons acquièrent une énergie transverse similaire mais ont une distribution en impulsion transverse non gaussienne, propriété qui directement transférée au profil du rayonnement betatron. Les fluctuations tir-à-tir s'expliquent par la forte dépendance de ce mécanisme à la forme de l'impulsion laser.

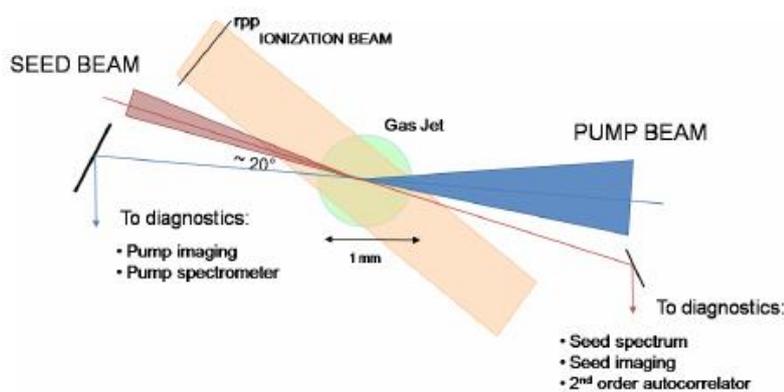
Le mécanisme d'injection longitudinale a été observé dans des simulations PIC et a lieu lorsque l'amplitude de l'onde plasma est suffisamment forte pour permettre un déferlement longitudinale et ainsi le piégeage d'électrons. Les conditions nécessaires sont produites par l'auto-focalisation et l'auto compression de

l'impulsion laser au début de la propagation. Par ce mécanisme, les trajectoires d'injection des électrons sont peu sensibles à la forme de l'impulsion laser puisque ces derniers restent proches de l'axe, ce qui explique la forte stabilité tir-à-tir du profil betatron.

Le paquet d'électrons accélérés par ce mécanisme d'auto-injection longitudinale possède, malgré sa faible charge (qq pC) des propriétés très intéressantes en vue de certaines applications : très bonne stabilité tir-à-tir, faible émittance, accordabilité en énergie et faible dispersion en énergie.

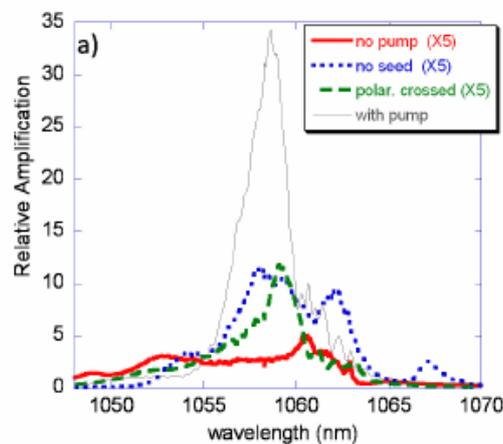
Ref : S Corde, C Thauray, A Lifschitz, G Lambert, K Ta Phuoc, X Davoine, R Lehe, D Douillet, A Rousse and V Malka, Nat. Comm .4, 1501 (2013)

- Amplification d'une impulsion laser sub-picosecondes par l'instabilité de diffusion Brillouin



Les instabilités de diffusion stimulées ont des conséquences plutôt néfastes pour le couplage laser plasma dans le contexte de la fusion par laser. Cet exemple d'une collaboration entre le LULI et le CPHT de l'Ecole Polytechnique montre, pourtant, que l'instabilité de diffusion Brillouin peut être utilisée pour amplifier des impulsions laser d'une durée sub-picoseconde par transfert d'énergie.

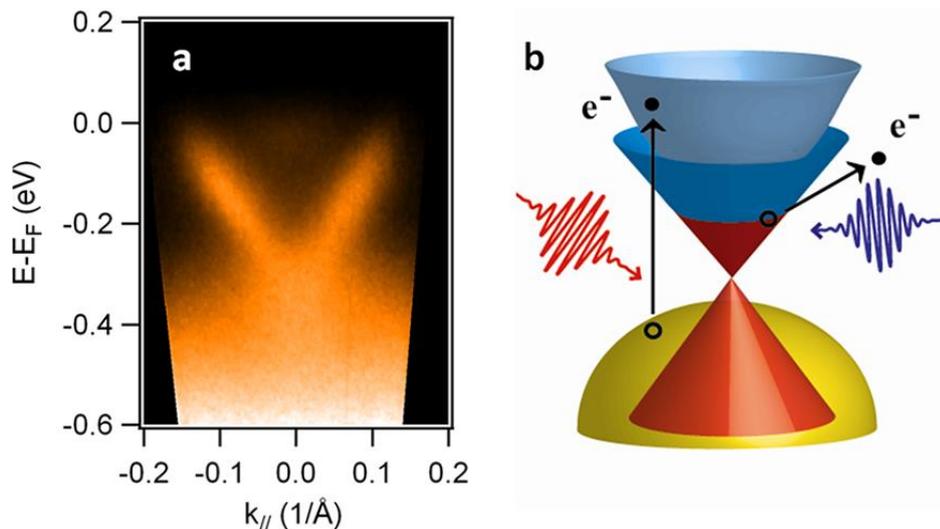
Suite à la modélisation théorique et numérique, l'expérience conduit au laboratoire LULI a démontré qu'un faisceau sonde a pu être amplifié dans un plasma de jet de gaz dans le régime du couplage fort de l'instabilité Brillouin, provoqué par l'excitation d'une onde plasma sonore de large bande. L'optimisation de ce schéma d'amplification – qui a déclenché plusieurs autres études – est en cours et est prometteur aussi pour des installations futures.



Spectre du faisceau sonde après amplification par transfert d'énergie, comparaison avec et sans faisceau de pompe, polarisation alignée ou croisée entre sonde et pompe. L. Lancia et al., Phys. Rev. Lett. 104, 025001 (2010).

- "Ultrafast surface carrier dynamics in the topological insulator Bi₂Te₃ "

La photoémission angulaire avec une sources laser femtoseconde permet d'observer en temps réel la dynamique des bandes électroniques. Cette méthode permet l'observation directe de l'évolution des électrons de surface, qui dans les isolants topologiques sont organisés dans des bandes avec une structure particulière —le cône de Dirac. Cette étude sur les matériaux de la famille Bi₂Te₃ et Bi₂Te₂Se, ont montré que l'on peut générer avec la lumière des états électroniques fortement hors équilibre et avec une durée de vie exceptionnellement longue, ce qui est sans précédent pour un état métallique.



ARPES image acquired along the ΓK direction in s polarization with the 6.3 eV laser source. (b) Pictorial view of the experiment; the infrared laser pump excites electrons from the sample valence band (orange) into the empty conduction band (light blue). The subsequent carrier flow produces a transient variation in the charge population in the surface Dirac cone, both for empty (blue) and filled (red) electronic states and is probed by the ultraviolet probe.

M. Hajlaoui et al. Nano Letters, 12, 3532 (2012)

Positionnement international

- Si chacun des différents champs thématiques couverts par le pôle lumière extrême est développé dans bien d'autre campus étrangers, dotés souvent de ressources bien supérieures, il n'existe pas d'autre unité territoriale qui rassemble l'ensemble des disciplines concernées. Le contour scientifique du pôle 4 est donc unique à l'échelle internationale, et ce, à plusieurs titres :
 - Il rassemble le plus grand éventail de développement de sources lumineuses extrêmes, de l'infra-rouge aux X, incluant des lasers de forte énergie aussi bien que de forte puissance moyenne
 - Il comprend beaucoup d'équipes leaders dans le domaine de la physique fondamentale de l'interaction lumière extrême-matière
 - Il interagit avec un réservoir presque inépuisable d'acteurs scientifiques du plateau motivés par l'exploitation des sources secondaires, rayonnement ou particules.

Ce dernier aspect mérite d'être encore davantage exploité à l'avenir (CF analyse SWOT)

- Le programme Extreme Light Infrastructure (ELI) finance le développement pour 750 M€ environ de 3 infrastructures laser et sources secondaires associées en République Tchèque, Hongrie et Roumanie. Les équipes du Pôle 4, à l'origine de ce programme, sont également fortement investies dans la conception des différents équipements qui composeront ces futures infrastructures. Il faut souligner que le soutien académique apporté aux industriels Français dans ces opérations leur permet de se positionner très favorablement et de remporter des marchés importants, comme celui du laser 10 PW par Thales en Roumanie.

La motivation principale des équipes du plateau réside dans l'exploitation scientifique de ces futures installations, qui compléteront l'offre présente au sein de l'Université Paris-Saclay, et permettront de poursuivre les programmes. Pour exploiter au mieux ces grandes infrastructures européennes de recherche, la communauté met en avant la nécessité de disposer d'installations satellites sur lesquelles les programmes sont développés, les champs de paramètres explorés. Ce principe justifie la mise en cohérence d'un continuum d'infrastructures qui comprendra à terme les installations actuelles, celles en cours de développement sur le plateau, ainsi que les grands équipements d'Europe centrale. Si l'accès à ces grandes infrastructures par notre communauté apparaît comme une fantastique opportunité scientifique, l'analyse force et faiblesse souligne également qu'il faut veiller à maintenir, dans l'aide à leur conception, un niveau d'investissement humain qui soit compatible avec les besoins de nos propres projets nationaux, Cilex /Apollon en particulier.

Les pays d'accueil ne disposent pas à ce jour d'un réservoir de personnel compétent dans les différents domaines nécessaires à l'exploitation de telles sources (opticiens laseristes, physiciens spécialisés dans l'interaction laser-matière...). L'université Paris Saclay pourrait jouer un rôle moteur dans la formation de personnels qualifiés à la conduite de grands instruments et à leur exploitation scientifique, notamment par un renforcement de la formation de doctorants en cotutelle.

Positionnement par rapport aux stratégies nationales et Européennes

L'activité du pôle 4 se concentre très majoritairement dans les volets "excellence scientifique" et "progrès de la connaissance" des stratégies de recherche élaborées, de façon cohérente, au niveau national (SNR) et européen (H2020). Elle ne se retrouve que marginalement dans la liste des programmes d'action de la Stratégie Nationale de la Recherche, ou dans celle des défis sociétaux identifiés dans H2020.

Pour cette raison, les financements obtenus aujourd'hui par les équipes sur appel à projet le sont principalement dans le cadre d'appels blancs, défi de tous les savoirs ... Par ailleurs si le soutien de l'Europe apporté aux infrastructures laser dans le cadre du Programme Infrastructures de Recherche (contrat Laserlab-Europe) est capital, il est loin de couvrir le coût de leur fonctionnement qui doit être obtenu par ailleurs.

Si les ressources contractuelles et/ou récurrentes devaient diminuer au profit d'appels plus ciblés, le maintien de l'activité et l'entretien des plateformes seraient conditionnés à une inscription plus visible dans des défis sociétaux. La piste la plus prometteuse consisterait sans doute à exploiter davantage les possibilités d'usage des sources secondaires pour l'imagerie médicale ou la thérapie. Cet aspect est présenté comme une menace dans l'analyse SWOT.

Stratégie

Assurer la construction puis l'exploitation scientifique des équipements en cours de développement

Comme indiqué dans l'analyse SWOT, de nombreux projets d'équipements sont en cours de construction sur le campus (CILEX, ATTOLAB, XFIVE, COXINEL...). La réussite de ces projets est affichée clairement comme une priorité par la communauté du pôle 4. Cela signifie aussi bien le succès dans la construction et la mise en œuvre technologique des équipements que le développement des programmes scientifiques tirant au mieux le bénéfice de ces nouvelles installations. Il faudra en particulier assurer le démarrage des deux Equipex CILEX et ATTOLAB à partir de 2016, avec l'objectif d'atteindre un fonctionnement en routine et une pleine exploitation scientifique à l'horizon 2018. Après 2019 se posera la problématique du financement récurrent du fonctionnement de ces installations, avec la fin du financement de la phase 2 des Equipex.

Moyens :

1) Développer les synergies avec les grands projets internationaux

Il s'agit en particulier de tirer bénéfice de l'opportunité offerte par le développement des grands projets ELI en Europe centrale. La signature d'un MOU entre l'université Paris-Saclay et ELI pourrait favoriser l'accès par les chercheurs du plateau aux futures installations en l'échange de formations de haut niveau, dispensées par l'université Paris-Saclay aux personnels de ces installations étrangères, ainsi que par des thèses de doctorat en co-tutelle.

2) Faciliter la mobilité des chercheurs et l'accessibilité des installations

L'offre d'accès aux plateformes laser bénéficierait d'un affichage plus visible, de procédures de sélection claires et mises en cohérence. L'accès lui-même doit être simplifié d'un point de vue administratif. On peut imaginer un « passeport » Paris-Saclay qui établit les règles de propriétés intellectuelles, de droit du travail, de sécurité et simplifie les modalités d'entrée sur les sites des différents établissements où sont localisées les installations (CEA, Ecole polytechnique, ENSTA, Université Paris-Sud, SOLEIL, ...). Pour les chercheurs qui effectuent des expériences sur ces différentes installations il est important de minimiser les barrières et complications administratives actuellement bien réelles.

3) Pérenniser l'offre des plateformes, incluant les centrales de proximité

Parmi les plate-formes identifiées dans PHOM, il existe 4 installations laser de classe multiterawatt qui ont été labellisées centrales de proximité lors de la mise en place de l'Equipex CILEX autour du projet Apollon de laser multipetawatt. Ce sont la salle jaune du LOA, le laser UHI 100 du CEA Saclay, l'installation LASERIX de l'Université, et le laser ELFIE du LULI. Ces centrales sont chargées d'accompagner la montée en puissance de la communauté des laseristes, des développeurs et des utilisateurs de sources secondaires. Ces installations sont déjà en fonctionnement depuis plusieurs années et développent des aspects innovants de la physique de l'interaction laser/matière à haute intensité. L'excellence de ce travail est clairement identifiée au niveau de PHOM et constitue une part de l'identité spécifique de la physique dans Paris Saclay, unique en France. Le budget d'investissement de départ (~50 M€) ainsi que les frais de fonctionnement estimés (~2 M€/an) placent l'ambitieux projet Apollon plutôt à une échelle nationale en termes de financement. Pour les centrales de proximité, déjà

existantes, les coûts de fonctionnement sont plus modestes (quelques centaines de k€/an pour l'ensemble du parc). Ils pourraient être partiellement supportés par le département PhOM, moyennant un effort de meilleure coordination entre les différentes tutelles qui soutiennent ces installations et entre les laboratoires qui les exploitent. Ce cercle a naturellement vocation à être élargi aux 3 autres installations constitutives du second Equipex ATTOLAB après l'échéance de la fin de leur financement, soit 2019 .

Dans cette configuration, un certain nombre de semaines de temps de faisceau sur ces installations est mis à disposition du département PHOM, qui organise le processus de sélection des demandes d'accès.



Station laserix de l'université Paris sud. Crédit Université Paris-Sud

Une approche alternative ou complémentaire consiste à promouvoir la création d'un « TGIR » distribué, incluant d'une part les installations exploitées par le LULI (les seules à disposer du statut d'IR à l'heure actuelle) et d'autre part le reste du parc laser, notamment centrales de proximité de CILEX et installations ATTOLAB. Dans cette configuration, l'université Paris-Saclay jouerait le rôle de porteur de projet auprès du ministère ou auprès d'autres acteurs de financement afin d'obtenir les financements nécessaires à l'accueil des équipes utilisatrices sur les installations. Le financement de chaque installation serait négocié sur la base d'un engagement sur un nombre de semaines ouvertes à des utilisateurs extérieurs et sur l'évaluation des demandes d'accès par un comité de sélection indépendant.

Ces deux propositions sont de nature à accroître l'accessibilité sur ces installations et faciliter la lisibilité de l'offre laser de puissance sur le plateau de Saclay en définissant plus clairement les spécificités propres à chaque installation. Un exemple de ce type de fonctionnement est le réseau européen d'infrastructures Laserlab-Europe (<http://www.laserlab-europe.net/>) qui fonctionne avec succès depuis une dizaine d'années et a certainement contribué à une meilleure cohérence de ce type d'infrastructures en Europe.

Cela contribuerait à une politique de rayonnement de site au niveau de Paris Saclay et permettrait à PHOM de s'impliquer dans la mesure de ses moyens au développement des futures expériences sur ses plateformes laser.

4) Equiper la communauté en moyen d'élaboration et de caractérisation des cibles

Plusieurs laboratoires du Pôle 4 (LOA, LIDyL, LPGP, LULI, ISMO) manifestent des besoins en termes de capacités de fabrication et caractérisation de cibles et de couches minces. Il serait très bénéfique de développer et mutualiser l'infrastructure existante au LULI (comprenant notamment une loupe binoculaire avec caméra et logiciel d'acquisition, un microscope avec

caméra et logiciel d'acquisition et des micromanipulateurs). Une telle infrastructure devrait répondre à deux besoins distincts : la fabrication et la caractérisation. En ce qui concerne la fabrication, un besoin récurrent exprimé par la communauté consiste en la possibilité de déposer des feuilles métalliques d'épaisseur allant de la centaine de nm à la dizaine de μm . Ces dépôts ont une grande utilité, d'une part pour filtrer la radiation dans le domaine visible, XUV et X et d'autre part en tant que cibles pour les faisceaux laser. Un bâti de dépôt sous vide des matériaux en couche mince est donc un appareil très demandé. A côté de cet équipement, l'outil le plus employé dans le domaine de la fabrication de cibles est le microlaser, qui permet des découpes précises, reproductibles et de petites dimensions (quelques dizaines de μm). A l'heure actuelle, les cibles nécessitant d'être fabriquées avec cette technique sont achetées à l'étranger (Royaume Uni et Allemagne, principalement). En ce qui concerne l'aspect lié à la caractérisation des cibles, il apparaît souhaitable de compléter les équipements du LULI par un profilomètre mécanique pour caractériser les surfaces et les épaisseurs.

- L'investissement nécessaire serait de l'ordre de :
- bâti de dépôt de couches minces 100 k€
- microlaser de découpe 250 k€
- profilomètre 15 k€

Promouvoir les applications des nouvelles sources de lumière et de particules

Objectifs :

- i) Fiabiliser les sources, améliorer leurs performances, leur stabilité, leur taux de disponibilité, leur accès
- ii) Soutenir le développement de nouveaux axes de recherche basés sur l'exploitation des caractéristiques uniques des sources de Paris-Saclay, les développements instrumentaux nécessaires et l'activité théorique associée

Moyens :

- 1) Développer les moyens de caractérisation (dosimétrie absolue, mesure de durée, métrologie des faisceaux, polarisation des impulsions brèves) en favorisant des projets au sein du campus
- 2) Développer et entretenir des savoir faire partagés sur les domaines techniques nécessaires à l'exploitation des sources, de l'instrumentation associée en favorisant l'animation « technique » du campus et en valorisant les carrières des personnels d'exploitation.
- 3) Financer une chaire pour développer et caractérisation des sources innovantes pour application à la dynamique ultra-rapide

Projet scientifique

La frontière temporelle actuelle des connaissances et des savoirs faire en ce qui concerne l'étude des phénomènes dynamiques se situe à l'échelle femtoseconde voire attoseconde. L'exploration de cette thématique scientifique nécessite le développement de sources lumineuse UVX toujours plus

performantes et font naître un besoin sans cesse renouvelé de moyens de caractérisations originaux. Il s'agit d'une discipline extrêmement compétitive à l'échelle internationale et les équipes de l'université de Paris Saclay y occupent un rang particulièrement élevé.

Côté utilisateurs, le site regroupe un potentiel considérable de chercheurs pouvant tirer bénéfice de ces nouvelles techniques, en physique, chimie, biologie. Nous proposons à travers cette chaire de renforcer le lien entre la communauté des développeurs et celle des utilisateurs en finançant le projet d'un jeune chercheur qui aurait pour vocation d'améliorer les performances et la caractérisation des sources disponibles sur le plateau de façon à les rendre encore davantage attractives et de développer des applications originales associées dans la perspective d'en offrir le bénéfice à une communauté la plus large possible.

Valeur ajoutée pour Paris Saclay

L'étude des processus dynamiques aux échelles de temps est un domaine de recherche multidisciplinaire particulièrement actif. Dans l'Université Paris-Saclay, il concerne directement près d'une centaine de chercheurs dans une quinzaine de laboratoires, couvrant des domaines qui vont de la physique atomique/moléculaire en phase gazeuse, la chimie, la biologie, la physique de la matière condensée, jusqu'aux plasmas denses. La possibilité offerte à cette communauté de réaliser des expériences à l'aide de nouvelles sources plus performantes et mieux caractérisées est de nature à la positionner au tout premier plan à l'échelle internationale.

Ce sujet en pleine émergence attire actuellement des jeunes docteurs et post-doctorants d'excellent niveau qui constituent un vivier de candidat(e)s potentiel(le)s. Une chaire Junior attribuée au meilleur d'entre eux accroîtrait sans aucun doute ses chances d'un recrutement pérenne dans l'Université Paris-Saclay.

Budget

3 ans salaire chaire 250 k€, équipement – instrumentation XUV (130 k€), missions (10 k€).

Modalités

Un appel d'offre sera ouvert sur cette thématique ; tous les chercheurs non-permanents seront éligibles. Après l'échéance du dépôt des projets, un comité de sélection sera réuni et rendra un classement après lecture des projets des candidats, de leur audition et le cas échéant après avoir pris connaissance de rapports d'expertises extérieures.

Agenda

Mise en place de la chaire souhaitée le plus tôt possible en 2016, après une période d'appel d'offres (~6 semaines à 2 mois) et le délai nécessaire à l'évaluation et au classement des dossiers (6 semaines à 2 mois)

Explorer de nouveaux champs théoriques aux frontières

L'interaction laser matière en présence des champs électromagnétiques très intenses voire au-delà du régime ultra relativiste est un grand défi pour la modélisation théorique. Actuellement, et dans les années qui viennent, il est important de pouvoir modéliser des processus non linéaires et complexes associés à la production des sources de rayonnement (lumière extrême et particules, accélération d'électrons et ions) à la fois à l'échelle microscopique pour comprendre profondément le processus et aux échelles meso- voir macroscopiques pour permettre des comparaisons avec des

expériences. En vue de l'évolution des intensités laser plus en plus élevées dans les installations disponibles sur le site de Paris-Saclay et ailleurs, des effets d'origine d'électrodynamique quantique (QED) se produiront, aussi en présence des plasmas. Le défi pour la modélisation théorique la transition entre les méthodes classiques (cinétiques et électromagnétique classique, type Vlasov-Maxwell) -- encore employées aujourd'hui en incluant des premiers effets ultra-relativistes et QED d'une façon phénoménologique (réaction rayonnement)--et de nouvelles méthodes qui permettent de combiner des méthodes quantiques (QED) et classiques (pour des processus de production de particules virtuelles, cascades QED etc.). Plusieurs voies sont discutés actuellement, entre autre la description du transport du rayonnement (photonique) par des approches stochastiques ou déterministes (méthodes Langevin radiatives, Fokker-Planck).

Moyens :

- Nous proposons de financer sur 5 ans, une série de 3 thèses décalées sur le sujet de l'électrodynamique quantique en présence des champs laser ultra-intenses, dans le contexte de l'installation laser 10-PW, APPOLON, bientôt accessible sur le site.

Dans un premier temps, les études seront principalement de nature théorique (soutenues par les laboratoires CPHT, LULI, LLR, LIDyL etc.), mais une forte coordination avec des équipes expérimentales pour des futures mesures potentielles serait souhaitable. Cette demande s'appuie sur les compétences complémentaires des acteurs du gt PhOM aussi bien que de P2I.

Pôle 5 : Nano-physique

PhOM Pôle 5 (Nano-physique)

Version du 26 juin 2015

Contenu

PhOM Pôle 5 (Nano-physique)	172
I) Vision d'ensemble	174
1) Définition et structuration	174
2) Etat des lieux synthétique	174
3) Vers une stratégie de recherche partagée	175
3a) Objectifs à 10 ans	175
3b) Propositions d'actions et moyens : un Institut des Nanosciences (voir fiche)	176
II) Détail par thème de recherche	177
A) Physique des Surfaces et Interfaces	177
1) Etat de l'art en ce qui concerne la recherche	177
1a) Outils	177
1b) Enjeux	178
1c) Potentiel de recherche à Paris-Saclay sur ces sujets	179
1d) Liens avec d'autres thèmes, pôles, départements	180
2. La stratégie de recherche	180
2a) Objectifs à 10 ans	180
2b) Propositions spécifiques d'actions et de moyens	182
B) Nano-photonique et nano-optique	182
1) Etat de la recherche	182
1a) Enjeux	182
1b) Potentiel de recherche/ Forces et faiblesses	183
1c) Liens avec les autres thèmes, pôles, départements	185
1d) Valorisation	185
2) La stratégie de recherche	185
2a) Objectifs à 10 ans	185
C) Nano-magnétisme et Electronique de spin	187
1) Etat de la recherche	187
1a) Enjeux	187
1b) Potentiel de recherche à Paris-Saclay sur ces sujets	188

<u>1c) Impact de ces recherches</u>	188
<u>1d) Analyse stratégique</u>	189
<u>1e) Liens avec les autres thèmes, pôles, départements</u>	189
<u>2) Eléments pour une stratégie partagée de recherche</u>	190
<u>2a) Objectifs à 10 ans</u>	190
<u>2b) Proposition d'actions et de moyens : remarques spécifiques</u>	190
<u>D) Nano-matériaux</u>	191
<u>1) Etat de la recherche</u>	191
<u>1a) Potentiel de recherche</u>	191
<u>1b) Impact de ces recherches</u>	192
<u>2) Stratégie de recherche</u>	192
<u>2a) Objectifs à 10 ans</u>	192
<u>2b) Proposition spécifiques d'actions et de moyens</u>	193
<u>E) Phénomènes de transport dans les nano-objets</u>	193
<u>1) Etat de la recherche</u>	193
<u>1a) Potentiel de recherche</u>	193
<u>1b) Impact de ces recherches</u>	194
<u>1c) Liens avec autres thèmes, pôles et départements</u>	194
<u>2) Vers une stratégie de recherche</u>	194
<u>2a) Objectifs à 10 ans</u>	194
<u>III Description des annexes</u>	196

I) Vision d'ensemble

1) Définition et structuration

La nanophysique étudie les propriétés spécifiques à la réduction en taille des échantillons, et ce par référence à l'état massif. Il s'agit d'un domaine interdisciplinaire, de par la variété des propriétés et des échelles considérées, même si en pratique ces dernières se situent bien en dessous du micromètre - d'où l'appellation choisie. Il est justifié de considérer la nanophysique dans son ensemble, au lieu de la diluer dans les diverses thématiques de la physique des ondes et de la matière, car un certain nombre de concepts communs ont émergé. Il s'agit par exemple de la notion de confinement, ou de la dominance des effets de surface ou interface par rapport à ceux de volume.

Le recensement des activités en nano-physique sur Paris-Saclay fait apparaître trois thèmes de recherche : physique des surfaces et interfaces, nano-photonique et nano-optique, nanomagnétisme et électronique de spin. On trouve bien entendu des équipes actives sur plusieurs de ces thèmes (voir les descriptifs plus bas), mais il s'agit de communautés bien identifiées qui ont leur vie scientifique propre. En plus de ces trois thèmes, on identifie deux thématiques de nature plus transverse, à savoir les nano-matériaux d'une part, et le transport dans les nano-objets d'autre part. Ce cadre a été proposé aux équipes lors de nos diverses consultations, et il est repris dans ce qui suit.

2) Etat des lieux synthétique

Les recherches en nano-physique sont motivées en premier lieu par le désir de mieux comprendre la Nature, avec ici la spécificité qu'on descend vers des échelles toujours plus petites, tout en restant dans le cadre de la physique de la matière (nous n'irons donc pas à des échelles plus petites que l'atome). En parallèle, des fortes motivations en termes d'applications animent les acteurs du domaine, dans les domaines suivants :

- société de l'information et de la communication (électronique, opto-électronique)
- efficacité énergétique (récupération d'énergie, photovoltaïque)
- santé et biologie (nano-capteurs, hybrides bio-compatibles).

Nous avons recensé plus de 375 chercheurs et enseignants-chercheurs permanents rattachés au pôle, répartis en 88 équipes de recherche appartenant à 28 laboratoires (annexes). On compte dans cet ensemble 95 femmes (25%), ainsi que 29 théoriciens (7%).

Sur les 4 années 2010-2013, on dénombre près de 3000 publications par ces chercheurs, dont 71% n'impliquant qu'un labo de PhOM (88% n'impliquant qu'un seul labo du pôle 5, annexe). L'analyse de 2917 publications ISI montre (annexe) un facteur d'impact moyen du journal de 4.5, un nombre moyen de citations par article et par an de 12.4 nettement supérieur à la moyenne en physique de 7.1, une proportion de 22% de ces articles dans les 10% plus cités, et une proportion de 3% dans les 1% les plus cités. La reconnaissance des

chercheurs du domaine est aussi attestée par 6 médailles d'argent du CNRS, 5 médailles de bronze, 10 bourses ERC (voir le détail nominatif dans chaque axe de recherche). A cela il faut ajouter Albert Fert qui a fait toute sa carrière sur le Plateau, et a reçu le prix Nobel de physique en 2007 pour ses travaux pionniers qui ont lancé l'électronique de spin.

L'analyse forces-faiblesses est présentée plus loin pour chaque thème de recherche. Si on tente de la globaliser on obtient le tableau suivant.

<p>Forces</p> <ul style="list-style-type: none"> - Grande visibilité des communautés - Très forte pluridisciplinarité - Moyens de croissance de matériaux complexes (MBE, PLD...) - Centrales de nanotechnologie à la pointe - Moyens instrumentaux importants (Soleil, LLB, STM, MFM, MRFM, optique...) 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> - Assez peu de théoriciens par rapport aux expérimentateurs - Communauté dispersée, manque de plateformes de caractérisation avancée
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fortes interactions avec les autres pôles de PhOM, lien fort avec EOE. - Potentiel unique sur le plateau pour le développement d'une vraie synergie pluridisciplinaire - Tissu industriel dense et varié 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> - H2020 ne prévoit pas de financement pour des réseaux collaboratifs à vocation recherche fondamentale - Arrêt du réacteur Orphée

3) Vers une stratégie de recherche partagée

3a) Objectifs à 10 ans

Le tableau qui suit récapitule, au niveau de tout le pôle, les grands axes de recherche du futur tels que les perçoivent les acteurs, et les enjeux de ces recherches.

Axes de développement	Enjeux majeurs
<p>Fabriquer : nanoMatériaux/Objets/Structures</p> <ul style="list-style-type: none"> - Croissance et nanostructuration 2D/hétérostructures, 1D, nanoparticules 0D - Hybrides (orga/non-orga, métal/diél.) - Auto-organisation, auto-assemblage, supracristaux, nouvelles méthodes de croissance - Nouveaux matériaux : isolants topologiques, carbonés, à fort dopage, etc. <p>Mesurer : Instrumentations aux limites</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nanoscopies hyperspectrales (xy, ω), ultrarapides (xy, t), <i>in vivo</i> et/ou <i>in operando</i> - Outils <i>in situ</i> multitechniques - Théories/modélisations/simulations ab-initio, atomistiques, moléculaires 	<p>Repousser les limites de notre compréhension</p> <ul style="list-style-type: none"> - Contrôle et transport à l'échelle nano des excitations élémentaires : énergie, chaleur, etc. - Imageries ultimes : sonde locale/champ proche - Couplage entre propriétés (photomagnétisme, magnétostriction) - Nouvelles dynamiques spatiales et temporelles - Nouveaux états de la matière - Etudes <i>in vivo</i> et/ou <i>in operando</i> <p>Société de l'information et de la communication</p> <ul style="list-style-type: none"> - Optoélectronique et électronique du futur - Sources d'états non classiques de la lumière - Nouveaux types de logique, de mémoires et

<p>Comprendre : Concepts/paradigmes émergents</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nanothermique - Nano-optique quantique - Dynamique des ondes (phonon, magnon, plasmon) et excitations élémentaires - Interactions induites dans les hybrides <p>Contrôler : nanoXonique</p> <ul style="list-style-type: none"> - X = phot, electr, phon, therm, plasm, polarit, spintr, magn - Hybride : Nano-opto-mécanique, plasmons/organique, spin/organique, spin/charge, magnétoplasm., vallée-tronique - Non-linéarités à petit nombre de particules 	<p>traitement de l'information</p> <p>Efficacité énergétique</p> <ul style="list-style-type: none"> - Green photonics, récupération d'énergie - Photovoltaïque - Circuits optiques basse consommation <p>Santé/Nanobiologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Adressage et suivi de nano-objets uniques - Capteurs chimiques et biologiques à haute sensibilité - Intégrations hybrides
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

3b) Propositions d'actions et moyens : un Institut des Nanosciences (voir fiche)

À court terme, le Labex NanoSaclay couvre notre domaine scientifique, et les « défis de phase 2 » qu'il vient de définir correspondent bien aux différents thèmes que nous avons identifiés (en particulier les défis 2-nanocomposants multifonctionnels, 3-hétérostructures d'oxydes fonctionnels, 4- nano-photonique et information quantique, 5-nanostructures et photonique et 7-matériaux hybrides).

À plus long terme, après les Labex, il semble désirable de conserver une structure thématique regroupant les équipes au-delà des laboratoires, établissements et sites. À la vue des interactions fortes et transdisciplinaires par excellence entre les thèmes en nanophysique, avec la chimie et biologie, une bonne échelle scientifique de fédération semble être celle des nanosciences dans leur ensemble. On remarque que les nanosciences balayent un grand nombre d'enjeux expérimentaux, instrumentaux et théoriques. En pratique les nanosciences touchent à plusieurs départements (PhOM, EOE, Chimie, SdV, STIC) avec une masse critique de chercheurs en présence (375 chercheurs rien que pour le pôle nanophysique). Donc, après NanoSaclay, nous pensons qu'un Institut des Nanosciences devrait voir le jour à Paris-Saclay.

La création d'un tel institut hors les murs doit maintenir et renforcer les liens avec les autres régions, dont l'activité dépend des grandes centrales de nanotechnologies du réseau RENATECH. Il s'agit aussi de positionner l'université Paris-Saclay en regard des grands centres de nanosciences nationaux et internationaux pour maintenir et développer des liens avec eux. En effet notons que la région Ile-de-France, par le biais du DIM NanoK, soutient les nanosciences dans leur globalité, et que le pôle grenoblois a constitué une fondation Nanosciences pour animer et soutenir ses recherches sur ces sujets. Au niveau international enfin, la fondation Kavli – issue de la Californie - finance quatre instituts de nanoscience (Cornell, Caltech, Harvard, et Delft), en ayant sélectionné auparavant 4 domaines scientifiques (astrophysique, nanoscience, neuroscience et physique théorique).

II) Détail par thème de recherche

Nous détaillons maintenant cette analyse pour chaque thème de recherche.

A) Physique des Surfaces et Interfaces

La physique des surfaces et interfaces s'intéresse aux propriétés physiques particulières induites par la rupture de symétrie à la surface des matériaux ou à la formation d'une interface. Les expériences mesurent les propriétés structurales, électroniques et magnétiques et permettent d'identifier des propriétés physiques spécifiques de ces quelques couches atomiques, qui représentent des nouveaux matériaux. L'interprétation des résultats expérimentaux repose sur un solide support théorique qui décrit la matière à partir des atomes, leurs états électroniques, leur organisation, et ce en mode « ab initio » ou avec le plus petit nombre de paramètres.

L'ambition d'atteindre une description détaillée de la réalité et sans paramètres ajustables représente à la fois la force et la faiblesse de la démarche. Les nouveaux phénomènes physiques sont identifiés, étudiés et expliqués en mettant en évidence leur origine mais malheureusement les systèmes « réels » directement utilisés dans les applications et la technologie sont souvent trop complexes pour que ces techniques expérimentales et outils théoriques permettent de les comprendre entièrement. Même si l'activité de recherche se dirige vers l'étude de systèmes de plus en plus complexes, la démarche de structurer un problème et l'effort de le simplifier pour le décrire dans son intégralité est un effort important de la communauté.

1) Etat de l'art en ce qui concerne la recherche

1a) Outils

Les techniques expérimentales spécifiques à la physique des surfaces et des interfaces sont identifiables par une profondeur de mesure nanométrique: intrinsèquement sensibles à un faible nombre d'atomes elles doivent être très efficaces. Avec quelques exceptions (comme par exemple la diffraction des rayons X à incidence rasante) on peut les classer en deux grandes catégories : les techniques basées sur la spectroscopie d'électrons (photoémission résolue en angle et en spin, spectroscopie Auger, diffraction d'électrons,...) et les techniques en champ proche (microscopie tunnel à balayage, à force atomique, à force magnétique).

De façon différente et complémentaire, les techniques de spectroscopie mesurent directement les électrons qui définissent les propriétés physiques des matériaux. L'utilisation des règles fondamentales telles que la conservation de l'énergie et du moment en font un terrain idéal pour analyser les phénomènes physiques et tester des nouvelles théories. Les positions atomiques sont identifiées avec une grande précision, aussi bien que les distributions électroniques correspondantes: symétries, bandes interdites, conductibilité par exemple.

D'autre part, la nature corrélée de nombreux systèmes impose souvent de s'appuyer sur les approches théoriques à plusieurs corps pour extraire des expériences des informations pertinentes sur les propriétés physiques. La description du système dans son ensemble impose donc de se restreindre à des systèmes bien identifiés: historiquement les expériences ont été effectuées dans l'ultra-vidé pour éviter la contamination de la surface par le gaz résiduel.

1b) Enjeux

Une liaison étroite avec les études chimiques est immédiatement identifiable dans l'intérêt de décrire l'interaction des molécules avec des surfaces bien caractérisées. Les applications dans les domaines de la physique et la technologie des semi-conducteurs ont motivé la naissance de la physique des surfaces. L'activité s'est ensuite développée dans la direction de l'électronique moléculaire: les propriétés des surfaces des matériaux sont utilisées pour induire une auto-organisation dans l'adsorption des molécules. L'objectif est d'obtenir de l'ensemble des molécules la réalisation d'une fonction bien identifiée.

Dans le but de traiter des problématiques propres à la chimie et à la catalyse, les techniques de champ proche et de photoémission ont effacé la contrainte du travail en condition d'ultra vide. Ce défi technologique majeur, en particulier pour la photoémission, relevé depuis quelques années seulement grâce à l'utilisation de faisceau de photons stables et focalisés, permet d'effectuer des expériences à des pressions proches de l'ambiante.

D'un point de vue technique le développement actuel est très rapide. Les techniques spectroscopiques font un effort considérable pour augmenter leur résolution spatiale et permettre l'étude d'échantillons de plus en plus petits. Les microscopies basées sur l'utilisation de faisceaux incidents d'électrons ou de rayons X monochromatiques atteignent les limites de la résolution atomique, tandis que la microscopie en champ proche développe des techniques spectroscopiques. Les mesures sont effectuées en fonction des tensions appliquées et en combinant la sonde locale de la pointe avec des excitations photoniques.

Il s'agit d'expériences qui demandent un effort financier considérable à cause de la technologie de l'ultra-vidé et de la complexité des équipements. En revanche, elles peuvent entraîner le développement d'entreprises de haute technologie qui maîtrisent les étapes techniques indispensables pour leur construction et fonctionnement: mécanique, électronique, matériaux. Ce sont de petites ou moyennes entreprises qui emploient du

personnel très qualifié (master, doctorat) et qui, beaucoup en Allemagne ou aux Etats-Unis, travaillent en liaison étroite avec les universités et les laboratoires de recherche. Un objectif pour la nouvelle université ?

1c) Potentiel de recherche à Paris-Saclay sur ces sujets

Le techniques en champ proche se sont développées sur un grand nombre de laboratoires à l'intérieur du périmètre de l'Université Paris-Saclay. Les équipes travaillent en liaison avec les lignes de lumière du synchrotron SOLEIL où les techniques spectroscopiques sont les plus développées. La source SOLEIL est optimisée pour les énergies de photons intermédiaires, qui sont les plus efficaces pour la spectroscopie de photoélectrons. Sa présence sur le plateau est un atout considérable pour le domaine : haute résolution énergétique, résolution spatiale, polarisation du rayonnement, structure temporelle sont à portée de main.

Il est important de souligner le poids de plus en plus important des études utilisant des sources laser. Si une partie de cette activité est liée à l'utilisation des lasers comme excitation indépendante pour modifier et structurer les surfaces et les interfaces des matériaux, l'activité laser sur le plateau permet d'envisager le développement de nouvelles sources d'impulsions de rayons X d'une durée temporelle femtoseconde.

Sur le plateau sont aussi installées des équipes de théoriciens qui développent des méthodes complémentaires pour étudier la structure de la matière. Des collaborations sont déjà en place sur un grand nombre de sujets. Un des enjeux de la nouvelle structure UPSay réside dans l'optimisation des interactions entre expérimentateurs, centrales de technologie, grands instruments et théoriciens.

Actuellement, les activités de physique des surfaces et interfaces concernent 13 laboratoires de Paris-Saclay, environ 60 chercheurs et enseignants-chercheurs permanents répartis sur 17 équipes (voir annexe). Ces activités sont en partie à l'interface avec les autres pôles de PhOM et les départements EOE et Chimie. Le travail en commun de ces personnes a été stimulé depuis les années 2000 par les financements collaboratifs du RTRA Triangle de la Physique, du C'nano Ile-de-France et de l'Agence nationale de la recherche.

Une grande partie de l'activité de recherche concerne les matériaux 2D. Elle a débuté avec les études sur le graphène et s'est propagée au silicène et à d'autres matériaux lamellaires grâce à la stabilité de ces matériaux et à l'importance des détails de la structure électronique pour la mesure et le contrôle de leur propriétés physiques. Un autre sujet de recherche important est celui des surfaces d'oxydes et de leurs interfaces. La partie d'activité en spectroscopie s'est fortement développée autour du rayonnement synchrotron avec le laboratoire LURE d'abord et SOLEIL ensuite.

Sur la période de référence de 4 années 2010-2013 les chercheurs recensés dans le tableau annexe ont publié plus de 500 publications dans des revues à comité de lecture avec plus de

6000 citations et un index H de 33. Parmi ces publications, 8 sont citées en moyenne plus de 20 fois par année en moyenne. Les sujets les plus cités fournissent les encadrés illustrant ce texte : silicène, gaz d'électrons 2D, états de bord pour des fermions de Majorana, graphène.

En termes de reconnaissance des chercheurs du domaine on recense

- médailles d'argent du CNRS : L. Reining (LSI, 2003), A. George (CPhT, 2007)

- Bourses ERC : L. Reining (advanced, LSI, 2013), S. Biermann (consolidated, CPhT, 2014)

1d) Liens avec d'autres thèmes, pôles, départements

Les activités en physique des surfaces et interfaces sont intrinsèquement multidisciplinaires par leur ambition à fournir une description simplifiée des phénomènes de base utilisés en nano-électronique, nano-photonique ou nano-magnétisme. Il existe aussi un recouvrement important avec les autres pôles comme par exemple le pôle matériaux, qui peut revendiquer une partie de l'activité sur les études des matériaux 2D, ou le pôle qui étudie les fortes corrélations électroniques, à l'origine de bon nombre des phénomènes observés à la surface et à l'interface des matériaux.

Comme indiqué dans les enjeux, les liens avec la chimie sont très étroits pour ce qui concerne les études de réactivité des surfaces. Les interactions avec les autres pôles de PhOM et les autres départements de l'université (EOE, Chimie, STIC) sont donc naturelles.

Les interactions avec les axes « théorie » et « plateformes » sont aussi évidentes par la participation à l'un ou l'autre axe des théoriciens ou des expérimentateurs impliqués dans la physique des surfaces et interfaces.

2. La stratégie de recherche

2a) Objectifs à 10 ans

Une partie importante de l'activité se situe dans l'étude des propriétés de nouveaux matériaux et de leurs interfaces : les plus importants seront probablement les oxydes et les interfaces d'oxydes, les isolant topologiques, les matériaux 2D inspirés par l'activité de recherche sur le graphène (silicène, hBN, MoS₂, ...). L'intérêt réside dans la mise en évidence de propriétés qu'on peut penser contrôler en empilant les matériaux 2D et en organisant leur interaction.

En général les matériaux hybrides sont l'objet d'un intérêt croissant, en particulier ceux qui mélangent matériaux inorganiques et organiques, avec des applications dans les domaines du photovoltaïque, du stockage ou de la conversion de l'énergie.

Les nouveaux matériaux et les nouveaux dispositifs vont pouvoir profiter des états électroniques confinés (gaz d'électrons 2D, quantum dots) avec une meilleure compréhension des effets de confinement dans les nanoparticules et l'adsorption des

molécules sur les surfaces. Grâce au développement de nouvelles méthodes théoriques et de simulations performantes, l'activité de recherche va pouvoir devenir plus prédictive et donner les éléments de base pour la construction des nouveaux dispositifs.

Les expériences résolues en temps vont prendre de plus en plus de poids. L'instrumentation de plus en plus efficace permet d'étudier des phénomènes dynamiques à des échelles de plus en plus courtes. Ceci est vrai dans tous les domaines (spectroscopie, champ proche, microscopie) mais on peut s'attendre à un développement particulier pour ce qui concerne les expériences de spectroscopie avec les lasers et les sources de rayons X femtoseconde.

Dans une tendance générale des études de physique qui se dirigent vers le domaine temporel, Paris-Saclay présente des atouts particuliers. Le large spectre de compétences dans tous les domaines concernés (spectroscopie, lasers, préparation et caractérisation des échantillons) permet d'adapter les techniques spectroscopiques existantes pour développer des nouvelles méthodes en partant des équipements et des approches théoriques les plus performants.

Le tableau synthétique suivant résume des objectifs et les enjeux auxquels ils répondent:

Axes de développement	Enjeux correspondants
<p>Matériaux : Oxydes, isolant topologiques Matériaux 2D Hybrides organiques/ inorganiques Semi-conducteurs</p>	<p>Nouveaux matériaux et nouvelles propriétés Pompage optique, lien à l'électronique classique Nouveaux dispositifs en nanoélectronique Photovoltaïque La physique du solide à partir du plus petit</p>
<p>Objets : Etats électroniques confinés (gaz 2D, quantum dots) Nanoparticules Molécules et atomes sur surfaces Hétérostructures Interfaces hybrides organique/inorganique</p>	<p>Description, compréhension, contrôle Catalyse, maîtrise nanostructures Electronique moléculaire, effets quantiques, lien avec la biologie et la santé</p>
<p>Interactions : Auto-organisation, auto-assemblage, Nanostructuration de surfaces Opto-mécanique Magnétisme</p>	<p>Stabilisation énergétique de configurations Photo-commutation - Contrôle états excités Lien avec la structure électronique</p>
<p>Concepts/paradigmes : Structure atomique et électronique <-> fonction Plasmonique</p>	<p>Science des matériaux Électronique du futur Nouveaux types de logiques et de traitement de l'information</p>
<p>Instrumentation : Résolution temporelle pour phénomènes dynamiques en spectroscopie (lasers, synchrotron, champ proche, microscopie)</p>	<p>Description, compréhension, contrôle des transitions et des excitations.</p>

Développement d'outils spécifiques Développement de chambres intégrant plusieurs techniques, ouvertes à d'autres.	Compétence technologique et industrielle (PME) Un pas vers une mutualisation
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------

2b) Propositions spécifiques d'actions et de moyens

Lors de la réunion organisée en avril 2015, la communauté a exprimé le besoin d'un accès plus organisé à des plateformes de caractérisation avancée, avec le développement de chambres intégrant un large spectre de techniques expérimentales ouvertes à une communauté plus vaste. Avec des installations de plus en plus complexes et qui demandent de plus en plus de compétences, le problème d'organiser de façon efficace le financement et le fonctionnement de ces installations devient fondamental. Même si le grand nombre d'institutions à qui appartient le personnel rend difficile leur gestion, l'échelle de l'université Paris-Saclay est suffisamment vaste pour optimiser une telle organisation. Le même point de vue est applicable à l'utilisation des logiciels et des moyens de calcul pour la théorie et la modélisation.

La reconnaissance du statut de plateforme impliquerait l'ouverture des outils de recherche à une communauté plus vaste, en échange de crédits de fonctionnement. Cette démarche augmentera les interactions entre chercheurs et les collaborations. Grâce aux installations existantes, elle demande un investissement réduit en personnel nécessaire pour les nouveaux projets et en consommables pour leur fonctionnement. Une définition claire du statut de plateforme et une organisation de l'accès serait souhaitable.

B) Nano-photonique et nano-optique

1) Etat de la recherche

1a) Enjeux

L'interaction de la lumière avec la matière ou avec elle-même est profondément modifiée par la nanostructuration des matériaux, l'abaissement de la dimensionnalité (2D, 1D, 0D), les inhomogénéités de forme ou de composition à des échelles nanométriques ou atomiques très inférieures à la longueur d'onde de la lumière. La réduction des tailles conduit à l'exaltation ou l'inhibition de l'émission de lumière, permet le contrôle de sa propagation, et améliore la détection de ses propriétés classiques ou quantiques. Ces possibilités de rupture sont au cœur notamment du développement des nanoparticules et des nanostructures photoniques telles que les cristaux photoniques, les métamatériaux et les structures plasmoniques. L'exploitation utile de ces effets nano-optiques pour la réalisation de dispositifs innovants pour la société, énergétiquement plus économes, efficaces et efficients,

facilitant la communication et la transmission optique de l'information, améliorant pour la santé les diagnostics par la lumière et les thérapies associées, passe nécessairement par une compréhension des mécanismes physiques fins qui donnent naissance à ces effets optiques aux plus petites échelles.

Parmi les enjeux majeurs auxquels le thème « nano-photonique et nano-optique » répond, on trouve notamment le contrôle et le transport local de l'énergie, d'abord sous la forme d'excitations élémentaires interagissant avec et/ou créées par la lumière : électrons, trous, excitons, plasmons, polaritons etc. À l'échelle microscopique les phonons (mode quantique de vibrations) et la chaleur pour leurs formes incohérentes, sont souvent des sous-produits naturels de la relaxation de l'excès d'énergie de ces excitations. Leur contrôle et la récupération des énergies correspondantes à l'échelle des nanodispositifs représentent un enjeu de sauvegarde de l'énergie à l'échelle mondiale. Le thème « Repousser les limites de notre compréhension » dans ce domaine s'appuiera sur le développement de techniques de spectroscopie fine (notamment localisées) et d'imagerie optique ultime à base de sondes locales travaillant dans des régimes de champ proche.

Pour améliorer les communications et le transport de l'information au 21^{ème} siècle, le thème nano-photonique contribuera à la miniaturisation et l'amélioration des performances des composants optoélectroniques comme les nano-lasers, les diodes électroluminescentes à haut rendement et forte luminosité, les optiques ultra-minces, les composants actifs et passifs sensibles aux gammes spectrales allant des radiofréquences THz à la frontière avec l'électronique jusqu'à l'ultraviolet. Le département PhOM est particulièrement bien positionné sur la réalisation de nanocircuits pour le traitement optique de l'information, notamment à base de nanosources d'états non classiques de la lumière ou manipulant optiquement le degré de liberté de spin.

En traitant du spectre visible et infrarouge de la lumière, le thème répondra aux enjeux majeurs de la photonique verte comme la récupération photovoltaïque de l'énergie solaire et une meilleure efficacité énergétique dans des circuits optiques basse consommation.

Pour la santé et la nanobiologie, les possibilités d'imagerie répondent à une demande d'adressage et de suivi optique de nano-objets uniques. Le renforcement de l'interaction lumière-matière et les non-linéarités optiques s'insèrent dans les démarches de mise au point de capteurs chimiques et biologiques à haute sensibilité, ainsi que dans le développement des intégrations hybrides riches en potentialités applicatives.

1b) Potentiel de recherche/ Forces et faiblesses

Actuellement, les activités en nano-photonique concernent 19 laboratoires de Paris-Saclay, 101 chercheurs et enseignants-chercheurs permanents répartis sur 35 équipes (voir annexe). Ces activités ne relèvent pas seulement du département PhOM, mais aussi du département EOE et, dans une moindre partie, du département Chimie. Le travail en commun de ces personnes a été stimulé depuis les années 2000 par les financements collaboratifs du RTRA

Triangle de la Physique, du C’Nano Ile-de-France et de l’Agence Nationale de la Recherche. Il est à souligner également l’effet fédérateur du cluster Optics Valley qui promeut l’optique au sein du tissu industriel en Essonne.

Les activités en nanophotonique couvrent un spectre large allant des études les plus fondamentales sur l'interaction lumière-matière, résolue spectralement, temporellement, spatialement, jusqu'aux applications exploitant l'absorption, l'émission ou la modulation de lumière grâce à ces effets. Ce potentiel de recherche mène des activités selon deux grands axes, les matériaux (matériaux carbonés, supracristaux, pérovskites...) et les objets/structures (nanoparticules hybrides, métamatériaux, cristaux photoniques...), avec comme objectifs essentiels les problématiques majeures liées à l’efficacité énergétique, à la santé/biologie, aux technologies de l’information et de la communication.

La communauté bénéficie de la présence de centrales technologiques d’envergure internationale (C2N) et de grands instruments (LCP-CLIO, SOLEIL) ainsi que de laboratoires communs (e.g. CNRS-ONERA, CNRS-Thales) qui visent à la maturation technologique de concepts issus de la recherche fondamentale et leur transfert vers le monde industriel. Cette action est accompagnée par les bureaux valorisation des LabEx PALM et NanoSaclay ainsi que par la SATT de l’Université Paris Saclay.

Sur la période de référence de 4 années 2010-2013, on recense environ 1000 publications dans des revues à comité de lecture sur cette thématique, dont 16 qui sont citées en moyenne plus de 20 fois par année en moyenne. Cette productivité scientifique et son impact attestent de la qualité scientifique de ce pôle de la physique à Paris-Saclay. En termes de reconnaissance des chercheurs du domaine on recense :

ERC : Pascale Senellart (LPN, 2011), Raffaele Colombelli (IEF, 2012) , Alerto AMO (LPN, 2013), Delphine Marris (IEF, 2014), Maria Tchernycheva (IEF, 2014)

Médaille d’argent du CNRS : Pascale Senellart (LPN, 2014)

Médaille de bronze du CNRS : Delphine Marris (IEF, 2013)

De façon emblématique pendant l'année de la lumière, l'activité mobilise une part importante des forces en photonique de la Vallée de l'Optique, au sein de laquelle naît le premier pôle européen en photonique du futur, le Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies (C2N).

L’activité en nanophotonique bénéficie des formations des masters Nanosciences et LOM (Lumière Ondes Matière) ainsi que de la présence d’une école d’ingénieurs spécialisée en optique (Institut d'Optique Graduate School).

1c) Liens avec les autres thèmes, pôles, départements

Les activités en nano-photonique sont intrinsèquement multidisciplinaires car faisant appel à des domaines aussi variés que les matériaux pour la fabrication, la nanotechnologie pour la structuration, l'instrumentation ultime pour la caractérisation fine, les simulations numériques pour la conception, l'interprétation, la compréhension. Ainsi, des liens étroits se tissent naturellement entre la physique et des domaines adjacents comme la chimie et la biologie. Les interactions avec les autres pôles du département PhOM et les autres départements de l'Université Paris Saclay (EOE, Chimie, STIC) sont donc nombreuses.

Ce potentiel de recherche en nano-photonique s'appuie notamment sur un terreau de croissances de nanomatériaux variées et des technologies de structuration aux plus petites échelles : métaux, semi-conducteurs carbonés (silicium, germanium, diamant) et des colonnes III-V, nanostructures hydrides. Ces études sont bien souvent sous-tendues par des activités de simulations poussées, de modélisation et de développement théoriques tenant compte de l'interaction de la lumière aux échelles nanométriques avec elle-même (non-linéarités optiques) et avec une grande variété d'excitations fondamentales de la matière : électrons, excitons, phonons, plasmons, polaritons, magnons etc.

Aux échelles de tailles les plus petites, le rôle des interfaces et des surfaces sur les propriétés optiques peut devenir dominant par rapport aux effets de volume. Les propriétés optiques de nanostructures emblématiques étudiées dans le département PhOM, telles que le graphène, les nanotubes de carbones, les nanocristaux colloïdaux, les boîtes et fils quantiques, dépendent crucialement des surfaces et bénéficient des progrès et instruments de pointe accessibles au sein de l'université Paris-Saclay pour les caractériser optiquement avec des hautes résolutions spatiales et/ou temporelles.

1d) Valorisation

De nombreuses activités sont menées avec des partenaires industriels car touchant à la réalisation de nouveaux composants tels que les émetteurs, détecteurs, modulateurs et routeurs optiques à base de nanostructures photoniques ou électroniques. Ces travaux ouvrent naturellement la voie à la valorisation sous forme de dépôt de brevet ou création de jeunes pousses.

2) La stratégie de recherche

2a) Objectifs à 10 ans

Nous anticipons une synergie croissante au sein du pôle nanophysique, entre les différents thèmes (nano-photonique/nano-matériaux/nano-électronique...), notamment en raison d'enjeux sociétaux concordants et de moyens expérimentaux et technologiques très proches.

Les concepts et paradigmes émergents qui ont été identifiés peuvent être regroupés en six thèmes : Nanothermique, Nano-optique quantique, Non-linéarités optiques à petit nombre de photons, Dynamique femtoseconde, Nano-optomécanique, Photomagnétisme/magnétoplasmonique. Le développement de ces concepts nécessite la mise au point de plateformes multifonctionnelles : Nanoscopies hyperspectrales (xy, ω), Nanoimageries femtosecondes (xy, t), cathodoluminescence, optique de spin, dynamique ultrarapide, permettant éventuellement des mesures in vivo.

La poursuite de ces objectifs s'appuie sur la fabrication et l'étude optique de nanomatériaux au cœur des études en nanophysique, notamment les matériaux carbonés (graphène, nanotubes de carbone, diamant) ou présentant des intérêts nouveaux comme les métaux, les terres-rares, la famille des pérovskites, les semi-conducteurs à grande bande interdite (comme ZnO) ou fortement dopés (comme le silicium et le germanium) de l'industrie microélectronique.

La réduction des tailles et l'abaissement de la dimensionnalité seront sondés optiquement notamment dans des nanoparticules hybrides associant matériaux organiques et inorganiques, métaux et diélectriques ou exhibant des interfaces biocompatibles. Sur la base d'une structuration de la matière à des échelles de l'ordre de ou largement sous la longueur d'onde, l'interaction de la lumière sera contrôlée et exaltée dans des cristaux photoniques à haut facteur de qualité, dans des métamatériaux et autour de métasurfaces dans les gammes spectrales du visible et de l'infrarouge correspondant au rayonnement thermique, ou à l'aide de nanoantennes pour les photons, phonons ou plasmons.

Le tableau synoptique suivant synthétise les objectifs et les enjeux auxquels ils répondent:

Axes de développement	Enjeux majeurs
<p>Matériaux</p> <ul style="list-style-type: none"> - Matériaux carbonés : graphène, CNT, diamant - Supracristaux - Interfaces bio-compatibles - Boîtes/fils quantiques, nanocristaux colloïdaux - Nouveaux matériaux : diamant, métaux, terres-rares, dopage, ZnO, perovskites, Ge <p>Objets/structures</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nanoparticules hybrides (orga/inorga, métal/diélectrique, bio-compatibles...) - Nanoconstruction (assemblage par ADN, association de technologies bottom-up et top-down...) - Métamatériaux et métasurfaces NIR / visible / thermique - Cristaux photoniques, high-Q - Nanoantennes (photons, phonons, plasmons) 	<p>Repousser les limites de notre compréhension</p> <ul style="list-style-type: none"> - Contrôle et transport à l'échelle nano des excitations élémentaires : énergie, chaleur - Imageries ultimes : sonde locale/champ proche - Spectroscopies localisées <p>Société de l'information et de la communication</p> <ul style="list-style-type: none"> - Miniaturisation et amélioration des performances des composants optoélectroniques (nanolasers, bright LEDs, optiques ultra-minces, composants IR et THz) - Nanosources d'états non classiques de la lumière - Nanocircuits pour le traitement optique de l'information - Manipulation optique de spin unique

<p>Concepts/paradigmes émergents</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nanothermique - Nano-optique quantique - Non-linéarités optiques à petit nombre de photons - Dynamique femtoseconde - In-vivo - Nano-optomécanique - Photomagnétisme/magnétoplasmonique <p>Instrumentation aux limites</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nanoscopies hyperspectrales (xy, ω) - Nanoimageries femtosecondes (xy, t) - Plateformes multifonctionnelles, cathodoluminescence, optique de spin, dynamique ultrarapide - In vivo 	<p>Efficacité énergétique</p> <ul style="list-style-type: none"> - Green photonics, récupération d'énergie, photovoltaïque - Circuits optiques basse consommation <p>Santé/Nanobiologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Adressage et suivi optique de nano-objets uniques - Capteurs chimiques et biologiques à haute sensibilité - Intégrations hybrides
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

C) Nano-magnétisme et Electronique de spin

1) Etat de la recherche

1a) Enjeux

Le magnétisme possède la symétrie fondamentale (qui dérive directement de l'invariance par renversement du temps des équations de la physique microscopique) entre une aimantation et la direction opposée. Ceci fonde le stockage magnétique de l'information sous forme binaire. De nombreuses réalisations pratiques de ce stockage ont été exploitées dans le passé, le sont encore maintenant et continuent à faire l'objet de recherches. La progression avec le temps concerne bien évidemment la capacité (stocker dans un volume toujours plus petit, en gardant la stabilité), mais aussi le coût par bit, la vitesse de transfert. Cet enjeu motive des recherches tant appliquées que fondamentales.

Le contrôle du magnétisme est devenu depuis environ 10 ans un enjeu pratique et fondamental. Auparavant, seul le champ magnétique était considéré comme moyen d'action sur l'aimantation. Maintenant, nous pouvons aussi contrôler l'aimantation par un courant électrique direct, par un champ électrique, par la contrainte mécanique, par la lumière. Pour ce faire, on fabrique des hybrides qui permettent de coupler différentes propriétés, en utilisant parfois les rares hybrides naturels que sont les corps multiferroïques. Les couches

ultraminces magnétiques, qui sont dominées par les effets d'interface, ouvrent un champ fascinant de possibilités (cet argument n'étant d'ailleurs pas limité au magnétisme).

L'exploration expérimentale du magnétisme à des tailles réduites a mis à jour un domaine mêlant électronique et magnétisme, appelé Spintronique. En effet, sur une longueur sub-micrométrique qui dépend du matériau et de la température, le spin de l'électron est conservé. Cette physique a été signalée au grand public par l'attribution en 2007 du prix Nobel à Albert Fert (UMR CNRS-Thales) et Peter Grünberg (Allemagne), pour la découverte de l'effet de magnéto-résistance géante. La spintronique étudie le transport des électrons et de leur spin (ensemble ou séparément), avec leurs conséquences sur le magnétisme. Là encore, les enjeux sont tant fondamentaux que reliés aux applications.

1b) Potentiel de recherche à Paris-Saclay sur ces sujets

Actuellement, les activités en nano-magnétisme et électronique de spin concernent 11 laboratoires de Paris-Saclay, 87 chercheurs et enseignants-chercheurs permanents répartis sur 21 équipes (voir annexe).

Les recherches actuellement menées par les équipes du Plateau concernent, de manière synthétique

- le magnétisme de la matière en basses dimensions (molécules magnétiques et leur contrôle, semiconducteurs magnétiques, oxydes en couches minces et en hétérostructures, modification de l'antiferromagnétisme en couches minces, modification par un champ électrique, structure en domaines dans des films ultraminces et nano-objets) ;
- l'électronique de spin et ses développements (transfert de spin vers les structures magnétiques, transport polarisé en spin, spin-orbitronique, conception de circuits à fonctions spintroniques, memristors) ;
- la mesure résolue dans le temps et dans l'espace du magnétisme, avec le développement de nombreux spectromètres et/ou microscopes magnétiques, en laboratoire et sur grands instruments.

Dans chaque domaine, on trouve instrumentation, expériences, théorie et lien avec les applications.

1c) Impact de ces recherches

Sur la période de référence de 4 années 2010-2013, les chercheurs affiliés à ce thème ont publié plus de 850 publications dans des revues à comité de lecture sur cette thématique, dont 24 qui sont citées en moyenne plus de 20 fois par année, et qui fournissent la base des encadrés illustrant ce texte. Cette productivité scientifique et son impact attestent de la qualité scientifique de ce pôle de la physique à Paris-Saclay. En termes de reconnaissance des chercheurs du domaine on recense :

- A. Fert (CNRS-Thales et UPS) : prix Nobel de physique 2007, Académie des Sciences 2004, médaille d'or du CNRS 2003, etc.

- médailles d'argent du CNRS : J.-P. Renard (IEF, 1990), C. Chappert (IEF, 2000), A. Barthélémy (CNRS-Thales, 2010)

- médailles de bronze CNRS : J.-P. Renard (IEF, 1967), O. Kahn (ICMMO, 1973), A. Thiaville (LPS, 1993), P. Bruno (IEF, 1994)

- bourses ERC : A. Barthélémy (CNRS-Thales, 2010), J. Grollier (CNRS-Thales, 2010), M. Bibes (CNRS-Thales, 2013).

1d) Analyse stratégique

<p>Forces</p> <ul style="list-style-type: none"> - Communauté spintronique visible (prix Nobel A. Fert) - Développement instrumental (Soleil XMCD, spectros LLB, STM, MFM, MRFM, optique) - Moyens de croissance de matériaux magnétiques complexes (MBE, PLD...) 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> - Peu de techniques optiques pour sonder la dynamique de l'aimantation (micro-BLS, TR-MOKE...) - Assez peu de théoriciens par rapport aux expérimentateurs
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nouveaux concepts et paradigmes pour aller au-delà de la spintronique conventionnelle - En amont des technologies de l'information et de la communication (fort lien avec EOE) - Interface avec les autres thèmes du pôle (hybrides...) 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pas de recouvrement avec H2020 pour l'aspect fondamental / nanophysique pure sous forme de réseaux collaboratifs - Arrêt du réacteur Orphée (structure et dynamique de l'aimantation)

1e) Liens avec les autres thèmes, pôles, départements

Ces activités ne relèvent pas seulement du département PhOM, mais aussi de EOE et, dans une moindre partie, du département Chimie. Le travail en commun de ces personnes a été stimulé depuis les années 2000 par les financements collaboratifs du RTRA Triangle de la Physique (thème Electronique de spin), du C'nano Ile-de-France (thème Nano-électronique) et de l'Agence nationale de la recherche.

Au sein de PhOM, de nombreux recouvrements existent avec le pôle 7-matériaux du fait de l'élaboration et de l'étude de nouveaux matériaux. Le magnétisme constitue un ordre distinct de l'ordre atomique, dépourvu de masse et qui constitue donc un terrain de choix pour aborder la dynamique de la matière, par exemple sous sollicitation lumineuse intense (pôle 4-lumière extrême) ou sous irradiation. Pour l'étude des effets quantiques de cohérence et de corrélation (pôle 1) les milieux magnétiques sont incontournables car le spin est une partie de l'état quantique d'un électron. Dans l'étude de la matière complexe (pôle 3) les objets magnétiques en particulier les nanoparticules, qui portent une autre classe d'interactions, entre eux et avec le monde extérieur, ajoutent un espace de liberté.

2) Eléments pour une stratégie partagée de recherche

2a) Objectifs à 10 ans

Les thèmes suivants ressortent des directions de recherche perçues comme intéressantes par les acteurs du domaine. Ils sont regroupés par angles d'approche du domaine, qui sont de natures très différentes.

Axes de développement	Enjeux correspondants
<p>Matériaux : Antiferromagnétiques (nano \neq bulk) Multiferroïques synthétiques Semi-conducteurs Matériaux 2D (graphène, MoS2...) Hétérostructures à base d'oxydes</p>	Couplage entre propriétés : effet du champ électrique, photomagnétisme, magnétostriction Pompage optique, lien à l'électronique classique Nouveaux dispositifs en nanoélectronique
<p>Objets : Magnétisme à l'échelle atomique et moléculaire Nanoparticules magnétiques Structures non-colinéaires (parois de domaines, vortex, skyrmions, ondes de spin)</p>	Effets quantiques Spintronique moléculaire, lien avec la biologie et la santé Nouveaux types de dynamiques spatiales et temporelles accessibles
<p>Interactions : Échange et couplage magnétique Spin-orbitronique (effets Hall de spin, Rashba, Dzyaloshinskii-Moriya d'interface)</p>	Stabilisation énergétique de configurations Génération efficace de courants de spin, Nouveaux couples de transfert de spin
<p>Concepts/paradigmes : Magnonique (ondes de spin), son mariage avec la spintronique « conventionnelle » Circuits hybrides intégrant des composants spintroniques Memristors spintroniques</p>	Électronique du futur (basse consommation, très haute fréquence). Transport de moment angulaire. Nouveaux types de logiques, de mémoires, et de traitement de l'information Interdisciplinarité avec sciences cognitives Capteurs
<p>Instrumentation : Techniques optiques Génération de seconde harmonique</p>	Résolution temporelle (ultra-rapide) Imagerie et dynamique des paramètres d'ordre multi et antiferromagnétiques

Sur un plan d'organisation de la recherche, le souhait de mieux connecter travaux expérimentaux et théoriques est apparu. Il s'agit d'un travail d'animation de la communauté, qui incombera naturellement aux départements de recherche.

2b) Proposition d'actions et de moyens : remarques spécifiques

A plus long terme, donc après les Labex, il semble désirable de conserver une structure thématique regroupant les équipes au-delà des laboratoires, établissements et sites. Le périmètre thématique du nanomagnétisme et de l'électronique de spin semble trop étroit. D'une part, un colloque national sur ce sujet se tient tous les 18 mois, depuis 25 ans, avec un succès qui ne se dément pas (plus de 200 participants). D'autre part, on a signalé les liens très forts avec le thème physique des surfaces, mais aussi avec la nano-photonique et même avec la chimie.

La bonne échelle semble donc être les Nanosciences. Donc, après NanoSaclay, un Institut des Nanosciences devrait voir le jour à Paris-Saclay. On note que le pôle grenoblois, très fort en nanomagnétisme aussi, ne s'est pas structuré à ce seul niveau mais a constitué une fondation Nanosciences.

D) Nano-matériaux

La découverte et le développement de nouveaux nanomatériaux ouvrent de nouvelles perspectives tant en physique fondamentale qu'en termes d'applications. Les composés carbonés – fullerènes, nanotubes de carbone, et graphène - en sont un exemple-phare. Ces structures présentent en effet des propriétés originales dans les domaines de l'optique, mécanique, électronique, spintronique, énergie etc. Dans le cadre de la nanophysique, l'accent est mis sur la mesure et la compréhension de ces propriétés originales, permettant d'aller jusqu'à la conception de nanomatériaux dans le but d'obtenir des propriétés précises. Ce thème de recherche transverse à tout le pôle est aussi repris par le pôle 7 de PhOM.

1) Etat de la recherche

1a) Potentiel de recherche

Une part significative de la communauté de la nano-physique est impliquée dans les nanomatériaux, car 154 chercheurs répartis dans 35 équipes et 21 laboratoires sont concernés par cette recherche. Dans ce nombre, il est important de reconnaître une part significative de chercheurs travaillant directement sur les applications des nanomatériaux, localisés en grande partie au CEA et à Polytechnique.

Dans ce nombre aussi, on ne relève qu'une dizaine de théoriciens, et ce alors que le « computational materials design » (conception de matériaux par le calcul ab initio de leur propriétés) se développe fortement de par le monde.

La répartition sur les laboratoires de ces permanents est la suivante : NIMBE (29) en tête, puis LPS (17), PICM (13) et ICMMO (11), suivis de LLB (8), CNRS-Thales (8), LSI (6), LAC (6), IEF (5), ISMO (5), LEM(5). En termes d'établissements, le CEA et l'UPS dominant le paysage en

termes de personnels impliqués (plus de 40), suivis par Polytechnique et le CNRS (environ 20).

L'analyse des forces et faiblesses de cette activité est résumée comme suit

<p>Forces</p> <ul style="list-style-type: none"> - Moyens de caractérisation surfaces/interfaces uniques ou en cours de développement 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> - Manque de plateforme de caractérisation des nanomatériaux - Communauté dispersée - peu de théorie
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> - Forte interaction avec les autres thèmes 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> - Faible poids H2020 pour l'aspect fondamental / nanophysique « pure » collaboratif - Arrêt du réacteur Orphée (détermination de structures)

1b) Impact de ces recherches

Sur la période de référence, les chercheurs concernés ont publié près de 1400 articles, dont 25 recueillant plus de 20 citations par an en moyenne.

2) Stratégie de recherche

2a) Objectifs à 10 ans

Le tableau suivant rassemble les enjeux de la recherche en nanomatériaux et les grandes directions qui sont perçues par la communauté

Axes de développement	Enjeux correspondants
<p>Croissance :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fabrication par auto-assemblage, jusqu'aux supracristaux - Croissance pilotée par sollicitation externe (faisceau d'ions, d'électrons) - Comprendre les mécanismes de croissance 	<p>Nouveaux matériaux 0D, 1D et 2D</p> <p>Arriver à fabriquer « ce que l'on veut »</p>
<p>Nouveaux matériaux d'intérêt :</p> <p>Lamellaires/2D (graphène, hétérostructures d'oxydes, MoS₂, phosphorène, ...)</p> <p>Isolants topologiques</p> <p>Dopage de nanofils semi-conducteurs</p> <p>Multiferroïques artificiels</p>	<p>Développement de nouvelles propriétés physiques</p> <p>Nouveaux états de la matière</p>
<p>Concepts/paradigmes :</p> <p>Qu'est-ce que la thermodynamique des nanomatériaux ?</p> <p>Etude de leur vieillissement</p> <p>Nouvelles méthodes de croissance</p>	<p>Compréhension de la stabilité des nano-matériaux</p> <p>Propriétés conjointes par assemblage de matériaux</p>
<p>Instrumentation/Caractérisation :</p> <p>Suivi de croissance en temps réel</p> <p>Déterminer et calculer les structures atomiques, qui</p>	<p>Mieux comprendre les mécanismes de croissance et les matériaux</p>

peuvent être différentes du massif	
------------------------------------	--

2b) Proposition spécifiques d'actions et de moyens

Il importe de corriger deux de nos faiblesses pour ces activités.

- Sur un plan pratique, créer une synergie pour cette activité en arrivant à ouvrir à tous des plateformes de caractérisation avancée de nano-matériaux et échantillons. Avec la taille que constitue cette université, il doit être possible de disposer en local de quasiment toutes les techniques. Faire savoir que la technique existe est presque aussi important que d'en disposer.

- Le lien fructueux entre élaboration, mesure et calcul des propriétés doit être renforcé. Des projets collaboratifs internes seraient un moyen de favoriser ce rapprochement de communautés.

E) Phénomènes de transport dans les nano-objets

Le confinement selon les dimensions transverses modifie le transport électronique dans la direction longitudinale, en réduisant le nombre de « canaux » disponibles. Par ailleurs la nature même du transport (diffusif, balistique) est modifiée lorsque des longueurs nanométriques sont en jeu, car de l'ordre du libre parcours moyen des électrons. Cette physique s'applique aussi à d'autres quasi-particules que sont les phonons, donnant lieu à la nano-thermique et à la nano-acoustique voire nano-mécanique, ainsi que les ondes de spin (le domaine de la magnonique). Enfin, en descendant jusqu'à l'échelle des atomes, apparaît l'électronique moléculaire où la nanophysique rencontre la chimie. Le couplage entre plusieurs de ces phénomènes est particulièrement intéressant pour obtenir de nouvelles fonctionnalités (par exemple l'opto-mécanique et l'électro-mécanique mise à profit dans les NEMS).

Ce domaine de recherche, transverse à toute la nano-physique, participe particulièrement au développement d'instrumentations ultimes capables d'agir sur et de mesurer individuellement ces nano-objets, en champ proche avec des résolutions spectrales et spatiales à l'échelle nanométrique.

1) Etat de la recherche

1a) Potentiel de recherche

Cette activité concerne environ 82 chercheurs permanents, dans 19 équipes de recherche appartenant à 15 laboratoires. Sur ce nombre de personnes, une part significative (15) est impliquée dans la théorie. Les laboratoires principaux du domaine sont IEF(15), CNRS-Thales

(15), LPS (13) et LPN (12). Les établissements principaux sont L'UPS et le CNRS puis, dans une moindre mesure, Polytechnique.

L'analyse forces-faiblesses de cette activité s'établit comme suit

<p>Forces Grande visibilité de chaque communauté isolément Très forte pluri-disciplinarité. Capacité à s'appuyer sur le master Nanosciences de Paris-Saclay Moyens de caractérisation surfaces/interfaces uniques</p>	<p>Faiblesses - Interaction entre les différentes disciplines</p>
<p>Opportunités: - Potentiel unique au plateau de développement d'une vraie synergie pluri-disciplinaire.</p>	<p>Menaces</p>

1b) Impact de ces recherches

Sur la période de référence, les chercheurs concernés ont publié plus de 700 articles, parmi lesquels 21 ont recueilli en moyenne plus de 20 citations par an suite à leur publication.

1c) Liens avec autres thèmes, pôles et départements

Par nature, ces activités se retrouvent aussi en bonne partie soit en physique des surfaces, soit en nano-magnétisme, car le transport électrique est un moyen idéal de sonder des nano-objets (par exemple, la magnéto-résistance géante a permis de mesurer le magnétisme d'un nano-objet unique, alors qu'il est inaccessible à la magnétométrie). De même, cette activité a un recouvrement net avec la partie physique mésoscopique du pôle 1, le transport constituant une voie d'accès privilégiée à cette physique.

2) Vers une stratégie de recherche

2a) Objectifs à 10 ans

Le tableau suivant présente les objectifs et enjeux de ces recherches

Axes de développement	Enjeux correspondants
<p>Matériaux/objets : 0D – Nanoparticules, molécules, dynamique atomique 1D – Nanofils, nanotubes, chaînes organiques 2D – gaz 2D confinés (graphène, hétérostructures d'oxydes, isolants topologiques), films très minces sous contrainte (ex. Si supraconducteur) ou désordonnés (métaux...).</p>	<p>Etudier, comprendre et inventer de nouveaux moyens de contrôle des propriétés de transport à l'échelle nano. :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transport dans des états électroniques confinés et aux interfaces (gaz et matériaux 2D, nanofils, quantum dots/nanoparticules/molécules...) - Etude des systèmes hybrides à l'interface entre disciplines - Etudes « in operando »
<p>Concepts/paradigmes : Interfaces hybrides organique/inorganique Molécules et atomes sur surfaces</p>	<p>Nanofluidique, nanothermique</p>

<p>Electronique moléculaire Electronique à 1 électron Durée de vie des porteurs Dynamique des ondes : phononique, magnonique, .. Transport multi-vallées</p>	<p>Nanoélectronique du futur (post-CMOS) Photovoltaïque Energie</p>
<p>Interactions: Nouveaux phénomènes à l'interface entre disciplines et objets : Nano-opto-mécanique (NEMS), plasmons/ organique, spin/organique, spin/charge, vallée- tronique, ...</p>	<p>Nouvelle physique à comprendre et à développer.</p>
<p>Instrumentation : Les propriétés électroniques d'un dispositif en fonctionnement</p>	

III Description des annexes

* 150626.pole5.v5r.docx

Liste, par axe de recherche, des équipes participantes avec indication des permanents concernés et des mots-clés décrivant les recherches menées

* 150626.pole5.v5r.xlsx

Tableau des équipes participantes avec indication des permanents concernés

* 150624.Publis.ParNbPartenairesPhOM.docx

Liste des publications 2010-2013 dont les permanents participant au pôle sont co-auteurs, classées par nombre de partenaires PhOM

* PHOM-pole5_17juin2015.pdf

Résultats de l'analyse de ces publications par la cellule IST du CEA, avec liste des publications très citées.

* 150625-InsNano.docx

Fiche-projet Institut des Nanosciences

*

Illustrations de résultats marquants du pôle

Département PhOM (Physique des ondes et de la matière)

Pôle 5 : Nanophysique

La nanophysique étudie les propriétés spécifiques à la réduction en taille des échantillons, et ce par référence à l'état massif. Il s'agit d'un domaine interdisciplinaire, de par la variété des propriétés et des échelles considérées, même si en pratique ces dernières se situent bien en dessous du micromètre - d'où l'appellation choisie. Il est justifié de considérer la nanophysique dans son ensemble, au lieu de la diluer dans les diverses thématiques de la physique des ondes et de la matière, car un certain nombre de concepts communs ont émergé. Il s'agit par exemple de la notion de confinement, ou de la dominance des effets de surface ou interface par rapport à ceux de volume.

**Descriptif en domaines de recherche, avec recensement des équipes impliquées, de leurs sujets de recherche et chercheurs permanents
(version 5r du 26 juin 2015)**

Le bureau du Pôle 5 de PhOM

André Thiaville (LPS, resp)	andre.thiaville@u-psud.fr
Riad Haidar (DOTA, co-resp)	riad.haidar@onera.fr
Costel Cojocaru (LPICM)	Costel-Sorin.Cojocaru@polytechnique.edu
Grégoire de Loubens (SPEC)	gregoire.deloubens@cea.fr
Sébastien Sauvage (IEF)	sebastien.sauvage@ief.u-psud.fr
Christophe Sauvan (LCF)	christophe.sauvan@institutoptique.fr
Pierre Sénéor (CNRS-Thales)	pierre.seneor@thalesgroup.com
Fausto Sirotti (SOLEIL)	fausto.sirotti@synchrotron-soleil.fr

1) Physique des surfaces et interfaces

La surface est le type de « nanostructure » où les modifications induites par la dimensionnalité réduite ont été étudiées depuis le plus longtemps. Le domaine est structuré autour de techniques expérimentales caractéristiques pour leur faible profondeur de mesure telles que la photoémission ou les microscopies à champ proche. Ces techniques sont souvent liées à la détection d'électrons donc aux études des propriétés électroniques des matériaux, à leur modification à la surface ou à l'interface. Les études portent évidemment aussi sur des nano-objets confinés en trois dimensions (agrégats, sur les métaux, les semi-conducteurs et les oxydes). Ces travaux impliquent des approches tant instrumentales que théoriques.

Equipes concernées (avec leur responsable ou contact), sujets et chercheurs permanents impliqués

CPHT / : Surfaces, Films minces et Hétérostructures d'oxydes et matériaux à fortes corrélations (théorie)

Permanents : A. Georges, S. Biermann

CSNSM/SCES/([Andres SANTANDER-SYRO](#) et Franck Fortuna) : Gaz d'électrons 2D dans les oxydes à électrons corrélés

Remarques : * Domaine secondaire: électronique de spin * Technique expérimentale: ARPES

GEMAC/FOX/([Joseph SCOLA](#), A. Fouchet, B. Berini, N. Keller, Y. Dumont) : oxydes fonctionnels: magnétisme, transition métal-isolant; films minces, ultra-minces et hétérostructures ; gaz électroniques d'interface

Remarques : l'équipe FOX du GEMAC est aussi dans le pôle 7 : matériaux, élaboration et propriétés.

ISMO / SIREN (surfaces, interfaces : réactivité et nanostructuration, Hocine Khemliche) : Couches auto-organisées, épitaxie de couches minces, réactivité des surfaces et fonctionnalisation, nanostructuration de métaux par adsorption d'espèces réactives, catalyse sur réseau de nanoparticules sur isolant, systèmes hybrides métal/organique et semi-conducteur/organique. Ces systèmes sont étudiés du point de vue de leurs propriétés structurales (STM, GIFAD), électronique (pompe-sonde femto, UPS, STS), chimique (HREELS, SFG, XPS, LEIS), optique (SFG).

Permanents : Bernard Bourguignon, Serge Carrez, Aimeric Ouvrard, Wanquan Zheng, Lionel Amiaud, Kirill Bobrov, Céline Dablemont, Vladimir Esaulov, Laurent Guillemot, Hocine Khemliche, Anne Lafosse, Philippe Roncin, Anouchah Momeni.

ISMO / Nanosciences Moléculaires (Andrew Mayne) : Manipulations STM et nc-AFM de molécules individuelles et de molécules en couches minces sur des surfaces de semiconducteurs (Si), semiconducteurs à grand gap (SiC), graphène et silicène et de couches

isolantes ; propriétés électroniques, optiques et dynamiques. Théorie de l'interaction laser-matière.

Permanents : Elizabeth Boer-Duchemin, Gérald Dujardin, Hanna Enriquez, Eric Le Moal, Andrew Mayne, Hamid Oughaddou, Georges Raseev, Damien Riedel

LCP/TEMIC/SFG/([Christophe HUMBERT](#) et Bertrand Busson) : Spectroscopie optique nonlinéaire de la surface de nanomatériaux

LOA (Antoine Rousse) : Métrologie XUV et imagerie XUV (Philippe Zeitoun)

LPICM/nanoRaman/([Razvigor OSSIKOVSKI](#)) : Spectroscopie Raman en champ proche (TERS)

LPN/Phynano/STM/([Guillemin RODARY](#) et Jean-Christophe Girard, Christophe David) : Microscopie et spectroscopie à effet tunnel

LPS/Théorie (Pascal Simon) Théorie des atomes/molécules magnétiques adsorbés sur des substrats métalliques ou supraconducteurs

LSI / (Lucia Reining) : Spectroscopie Théorique (Photoémission, Dispersion excitonique, Matériaux à corrélation fortes, graphène et structures carbonées, Oxydes à propriétés remarquables)

SOLEIL/CASSIOPEE/([François BERTRAN](#)) : Propriétés électroniques et magnétiques de matériaux de basse dimensionnalité et/ou fortement corrélés (photoémission).

Permanents : Francois Bertran, Patrick Lefevre, Julien Rault

SOLEIL/TEMPO Beamline/([Fausto SIROTTI](#) et Mathieu Silly, Azzedine Bendounan, Christian Chauvet) : Structure électronique et magnétisme de surfaces, interfaces et nanostructures

SOLEIL / SIXS (A. Coati) : Structure atomique de surfaces, interfaces et nanosystèmes

Permanents : Alessandro Coati, Alina Vlad, Andrea Resta

SPEC/LENSIS / (Nick Barrett, Claire Mathieu, Christophe Lubin) : Spectroscopie des photoélectrons, Structure électronique, Oxydes, PEEM

SPEC/LEPO / (Fabien Silly) : STM

SPEC/GMT / (Yannick Dappe) : interfaces métal/molécules organiques, modélisation d'images STM

SRMP (Bernard Legrand) : Ségrégation superficielle et structure cristallographique de surface. Diagramme de phase 2D / diagramme de phase 3D ; couplage chimie - structure ; phénomène de mouillage. Germination, croissance, coalescence en surface.

2) Nanophotonique / Nano-optique

La structuration de la matière à une échelle plus petite que la longueur d'onde optique permet de modifier, par rapport à des matériaux massifs, les propriétés d'émission, de propagation et de détection de la lumière. Ces nouvelles possibilités sont au cœur du développement, notamment, des cristaux photoniques, des métamatériaux et des structures plasmoniques. Ces nanostructures optiques proposent des ruptures dans plusieurs domaines qui touchent les problèmes sociétaux : les énergies renouvelables, la sécurité environnementale et médicale, les systèmes d'information et de communication. Nos équipes adressent des enjeux scientifiques majeurs concernant les propriétés fondamentales des nanostructures optiques, lesquelles apportent des ruptures notamment dans le photovoltaïque solaire, la détection infrarouge, le biosensing, la nanobiophotonique, les sources de lumière non-classique (photons uniques, intriqués...). La fédération des compétences (théorie, caractérisations, technologie) irrigue naturellement l'innovation technologique.

Equipes concernées (avec leur responsable ou contact), sujets et chercheurs permanents impliqués

CPhT / (Karyn Le Hur) : théorie

DMPH (M. Lefebvre, Alexandre Bresson) : Gyromètre à atomes froids

DOTA/CIO (R Haidar, G. Vincent, J. Jaeck, P. Bouchon) : nanophotonique, opto-électronique, plasmonique

GEMAC/Optique à l'échelle nanométrique/([Jean-Pierre HERMIER](#) et Stéphanie Buil, Xavier Quélin) : Nanophotonique, plasmonique, nanocristaux colloïdaux, champ proche optique, optique quantique

GEMAC/P2MC/([Damien GARROT](#)) : Propriétés des puits quantiques dans les perovskites hybrides organiques-inorganiques, Application : photovoltaïque

ICMMO / P. Berthet

IEF/CRIME/([Anatole LUPU](#) et S.N. Burokur, F. Gadot, A. Degiron, E. Akmansoy, A. de Lustrac) : Métamatériaux, plasmonique, nanophotonique (théorie et expérience)

Remarques : The research activities of the group CRIME (CRISTAUX photoniques et METAMATERIAUX) are concerning

metamaterials, nano-antennas, plasmonics, photonic crystals and synthetic, like PT symmetry, guided wave structures either in the microwave and terahertz or in the near infrared optical domains. Group CRIME work on metamaterials and metasurfaces includes cloaking, invisibility and illusion devices using transformation optics and also metamaterials applications to integrated optics domain.

IEF/Microsystèmes et Nanobiotechnologies/([Filippo FABBRI](#)) : Systèmes commandables optiquement : élaboration et étude de matériaux photoactifs hybrides micro/nanostructurés

Remarques : Domaines principaux: 1) Etude des matériaux contenant des photochromes de type azobenzène: propriétés structurelles et mécanismes de photo-déformation, procédés de nanostructuration innovantes, couches minces, dispositifs photo-commandables pour l'optique, la plasmonique, la photonique, etc. 2) Techniques à sonde locale (SNOM, AFM, ...) 3) Micro-nanosystèmes opto-mécaniques: étude de l'actionnement par pression de radiation et/ou gradient optique; vers des micro/nano dispositifs tout-optiques Domaines secondaires: 1) Technologies pour l'aide à la personne: (bio) capteurs endossables, systèmes pour l'aide à la personne 2) Transfert d'énergie sans fil

IEF/ PHOTONIQUE/CIMPHONIE/([Béatrice DAGENS](#) et Philippe Gogol, Navy Yam, Robert Mégy) : Nanostructures plasmoniques, magnéto-optiques et magnétoplasmoniques: étude à l'échelle nano pour la démonstration de nouvelles fonctions optiques

IEF/PHOTONIQUE/MINAPHOT (contact Eric Cassan) : lumière lente dans les cristaux photoniques à faibles pertes, ([Delphine MARRIS-MORINI](#)) : nanophotonique

IEF/NanoBioPhotonics/([Niko HILDEBRANDT](#)) : NanoBioPhotonique

Remarques : <http://silicon-photonics.ief.u-psud.fr/>

IEF/PHOTONIQUE/QD/([Sébastien SAUVAGE](#) et Xavier Checoury, Moustafa El Kurdi, Philippe Boucaud) : Nanospectroscopie moyen infrarouge de boîtes quantiques uniques. Nanocavités ultimes à cristaux photoniques: silicium, nitrure, diamant..

IEF/Photonique/NanoPhotoNit/([Maria TCHERNYCHEVA](#) et François H. Julien, Nathalie Isac) : Applications optoélectroniques des nanofils de semiconducteur, Nanomatériaux fonctionnels

Remarques : Domaine secondaire : Nano-matériaux, Récupération d'énergie

ISMO/Nanosciences Moléculaires: (A. Mayne) Nanophotonique, Nanoplasmonique, Nanosources de lumière avec STM, Systèmes hybrides plasmon-exciton.
Permanents : Elizabeth Boer-Duchemin, Gérald Dujardin, Eric Le Moal, Georges Raseev

LAC/Nano3/([Pierre BILLAUD](#) et Nouari KEBAILI, Alain SARFATI) : Optique et nanoparticules, nanostructures et nanomatériaux

Remarques : Domaine principal bis = Nanomatériaux

LAC/NanoPhotonique/([Jean-Sébastien LAURET](#) et Emmanuelle Deleporte, Anne Debarre) : spectroscopie de nano objets semi-conducteurs

LAC/Nanooptique/([Anne DEBARRE](#)) : Etude des propriétés optiques de structures plasmoniques hybrides à l'échelle de la particule unique

LCF/Naphel (J.J. Greffet, H. Benisty, F Marquier, C. Sauvan, P. Ben-Abdallah) :

nanophotonique, plasmonique, métamatériaux, nanothermique

LCF/Manolia (G. Pauliat, P. Delaye, N. Dubreuil, M. Cuniot-Ponsard) : Propriétés optiques non-linéaires des cristaux photoniques et des nanofibres

LCP/TEMiC/[\(Isabelle LAMPRE](#) et Hynd Remita) : Propriétés optiques de nanoparticules métalliques, photocatalyse

Remarques : Photophysique, radiolyse en milieu condensé ; Spectroscopies d'absorption et fluorescence résolues en temps, laser, accélérateur d'électron ;

LIDYL (Hamed Merdji) : plasmonique

LOB / (Cédric Bouzigues, Antigoni Alexandrou) : suivi de molécules uniques avec des nanoparticules de terres rares

LPN/Minao (JL Pelouard, F. Pardo, N. Bardou, C. Dupuis) : nanophotonique et plasmonique

LPN/GOSS/[\(Paul VOISIN](#) et Jacqueline Bloch, Olivier Krebs, Pascale Senellart, Alberto Amo, Loic Lanco) : Condensats de polaritons en géométries confinées, boîtes quantiques et information quantique, magnéto-spectroscopie de nano-objets, modélisation (liaisons fortes) des propriétés électroniques

Remarques : LPN/GOSS est une équipe principalement expérimentale, que j'anime depuis sa création. J'y développe, avec des collaborateurs dispersés, une activité minoritaire portant sur la modélisation atomistique des nanostructures.

LPN/NANOPHOTONIQ/[\(Ariel LEVENSON](#) et Sylvain Barbay, Nadia Belabas, Kamel Bencheikh, Rémy Braive, Alejandro Giacomotti, Christophe Minot, Paul Monier, Jean-Marie Moison, Fabrice Raineri, Rama Raj, Isabelle Robert-Philip) : cristaux photoniques, photonique Hybride III/Si, optique non linéaire, optique quantique, dynamique non linéaire, optomécanique, réseau de guides, systèmes optiques neuromimétiques, métamatériaux optiques, couplage atomes/terres rares/nanocavités

/(Isabelle ROBERT-PHILIP et Rémy Braive) : cristaux photoniques, nano-photonique, nano-optomécanique, spectroscopie de nano-objets

/(Nadia BELABAS et Jean-Marie Moison, Christophe Minot, Ariel Levenson, Isabelle Robert) : Réseaux de guides

/(Sylvain BARBAY et A. Yacomotti) : nanophotonique non-linéaire, photonique neuromimétique

LPN/PHODEV/[\(Stéphane COLLIN](#) et Andrea Cattoni) : nanophotonique, plasmonique, photovoltaïque solaire et bio-capteurs, opto-électronique

Remarques : également inclus dans les domaines optoelectronique-photonique, et energie électrique, de EOE.

LPQM / (Bruno Palpant) : Nanophotonique et Nanothermique ultra-rapides

LSI / (Lucia Reining) : Spectroscopie Théorique (Photoémission, Dispersion excitonique, Plasmonique, optique non linéaire, effets non-linéaires dans matériaux structurés, Photovoltaïque)

LSI / (Giancarlo Rizza) : Physique des Nanoobjets (structures plasmoniques, cristaux photoniques, croissance sous MET, microscopie électronique par transmission, interaction rayonnement matière)

PMC/CDS/ (T. Gacoin, I. Maurin) : nanoparticules et nanomatériaux, nanoparticules luminescentes et à émission SHG, photomagnétisme et magnétostriction

PMC/EPS (Georges Lampel, Yves Lassailly, Lucio Martinelli, Daniel Paget, Jacques Peretti, Alistair Rowe, Claude Weisbuch) : transport dans les semi-conducteurs, pompage optique et électronique de spin, nano-optique et optique en champ proche.

SPEC/LEPO (Fabrice Charra, Céline Fiorini-Debuisschert, Ludovic Douillard) :

SRMP (Fabien Bruneval) : structure électronique des défauts, spectroscopie optique des défauts, photovoltaïque, dopage pour les LED

UMPhy CNRS-Thales / (A. Fert, H. Jaffres, J.-M. George) : Spin laser, Injection/détection optique de spin.

3) Nano-magnétisme et électronique de spin

L'électronique de spin est née ici en 1988 avec la découverte de la magnéto-résistance géante dans des multicouches magnétiques ultra-minces. L'interaction entre courants de spin et aimantation dans les nanostructures hybrides (effets de transfert de spin) est à la base de mémoires, capteurs magnétiques et dispositifs haute fréquence. De nouveaux matériaux magnétiques, oxydes multifonctionnels et hybrides métal/molécules dont les propriétés sont dominées par les interfaces (anisotropie, couplage d'échange et, tout récemment, échange antisymétrique, « spinterface » par exemple) sont également développés. Ils offrent de nouvelles opportunités pour la spintronique et le nano-magnétisme (anisotropie ou propriétés de transport contrôlés électriquement, structures non-colinéaires, propriétés dynamiques...) ainsi qu'une ouverture vers des travaux interdisciplinaires.

Equipes concernées (avec leur responsable ou contact), sujets et chercheurs permanents impliqués

GEMAC/FOX/([Y. Dumont](#), N. Keller, [J. Scola](#), A. Fouchet, E. Popova, B. Berini, E. Chikoidze) : oxydes magnétiques en films minces, ultra-minces et hétéro-structures, transport dans les oxydes magnétiques rendus semiconducteurs ; oxydes antiferromagnétiques cantés

Remarques : l'équipe FOX du GEMAC est aussi dans le pôle 7 : matériaux, élaboration et propriétés.

ICMMO/ (A. Bleuzen, M.-L. Boillot, A. Bordage, V. Campbell, L. Catala, G. Fornasieri,, T. Mallah, S. Mazérat, E. Rivière): Magnétisme et spintronique moléculaires, nanoaimants moléculaires, photomagnétisme, transition de spin, nanoparticules de coordination

ICMMO / P. Berthet

IEF/ (D. Ravelosona) : spintronique (EOE)

IEF/NANOÉLECTRONIQUE/CTM/([Thomas MAROUTIAN](#) et Sylvia Matzen, Guillaume Agnus, François Pesty, Pascal Aubert, Philippe Lecoeur) : Hétérostructures à base d'oxydes pour de nouveaux dispositifs en nanoélectronique

Remarques : Domaine secondaire : Physique des surfaces et interfaces (interface électrode/oxyde, gaz 2D à la surface d'un oxyde, photoémission, STM)

IEF/NANOÉLECTRONIQUE/NOMADE/([Joo-Von KIM](#)) : nano-magnétisme, spintronique, dynamique de l'aimantation, dynamique non linéaire, processus stochastiques

IEF/Nanoarchi/([Jacques-Olivier KLEIN](#) et Damien Querlioz, Weisheng Zhao, Laurie Calvet) : Développement de modèles compacts pour la conception de circuits hybrides intégrant des composants de l'électronique de spin.

Remarques : Activités à l'interface entre nanophysique et architecture des circuits de calcul.

LLB / LSS (Large scale structures, A. Brûlet) : Nanoparticules magnétiques, matériaux nanocomposites magnétiques, films minces magnétiques (métal-oxyde), aimants moléculaires

Permanents : A. Bataille, G. Chaboussant, F. Cousin, B. Gillon, F. Ott.

LPN /ELPHYSE (contact A. Lemaître) : semiconducteurs magnétiques

LPN/GOSS/([Olivier KREBS](#)) : Boîtes quantiques de semiconducteur dopées par un ion magnétique

LPS / IDMAG (A. Thiaville) : structures magnétiques (domaines, parois, etc), dynamique des parois (reptation, flot), couple de transfert de spin (métaux, semi-conducteurs), couches magnétiques ultraminces, multiferroïques.

Permanents : J. Sampaio, S. Rohart, A. Mougin, V. Jeudy, A. Thiaville, J. Miltat.

LPS/Théorie (P. Simon)

Electronique de spin quantique dans des nanostructures ou molécules magnétiques.

Transport de magnons (Magnonique), couplage en cavité.

Permanents : F. Piéchon, P. Simon

LSI / (Jean-Eric Wegrowe) : Physique des Nanoobjets (nanofils, nanotubes, diffusion dépendant du spin, transfert de spin, vannes de spin, M-RAM)

PMC/EPS (Georges Lampel, Yves Lassailly, Lucio Martinelli, Daniel Paget, Jacques Peretti, Alistair Rowe, Claude Weisbuch) : transport dans les semi-conducteurs, pompage optique et électronique de spin, nano-optique et optique en champ proche.

PMC/CDS/ (T. Gacoin, I. Maurin) : nanoparticules et nanomatériaux, nanoparticules luminescentes et à émission SHG, photomagnétisme et magnétostriction

PMC/ECM (P. Allongue, F. Maroun) : Croissance électrochimique, couches minces et nanomagnétisme.

SOLEIL / SEXTANTS (N.Jaouen) : Magnétisme et diffusion des rayons X, holographie rayons X-mous

Permanents : Nicolas Jaouen, Horia Popescu, Alessandro Nicolau

SOLEIL / SAMBA (E. Fonda) : Matériaux : structure et magnétisme

Permanents : E. Fonda

SOLEIL / DEIMOS ([\(Philippe OHRESSER\)](#)) : Magnétisme de nanostructure sous conditions extrêmes (Température et Champ magnétique), par XMCD
Permanents : Philippe Ohresser, Edwige Otero, Fadi Choueikani

SPEC/LNO/(Claude Fermon)

- G. de Loubens : microscopie de force par la résonance magnétique, dynamique d'aimantation dans les nanostructures, électronique de spin
- M. Viret : multiferroïques, contacts atomiques
- J.-B. Moussy : matériaux pour la spintronique
- Antoine Barbier : nanostructure d'oxydes magnétiques et multiferroïques

SPEC/GMT (Cyrille Barreteau) : théorie et modélisation, spintronique moléculaire
Permanents : Cyrille Barreteau, Yannick Dappe, Sylvain Latil, Alexander Smogunov

UMPhy CNRS-Thales / (A. Anane, A. Barthélémy, M. Bibes, V. Cros, B. Dlubak, A. Fert, H. Jaffres, V. Garcia, J.-M. George, J. Grollier, S. Fusil, R. Mattana, F. Petroff, N. Reyren, P. Seneor) : Spin transfert, Multiferroïques, Magnonique, Spintronique moléculaire, gaz 2D (semiconducteurs, oxides, graphene...), Memristors, Spin-orbitronics (skyrmions, spin Hall effect...).

4) Nano-matériaux

La découverte et le développement de nouveaux nanomatériaux ouvrent de nouvelles perspectives tant en physique fondamentale qu'en termes d'applications. Les composés carbonés – fullerènes, nanotubes de carbone, et graphène - en sont un exemple-phare. Ces structures présentent en effet des propriétés originales dans les domaines de l'optique, mécanique, électronique, spintronique, énergie etc. Dans le cadre de la nanophysique, l'accent est mis sur la mesure et la compréhension de ces propriétés originales, permettant d'aller jusqu'à la conception de nanomatériaux dans le but d'obtenir des propriétés précises.

Equipes concernées (avec leur responsable ou contact), sujets et chercheurs permanents impliqués

CSNSM/PS/Mat. Cond. Irr./([Aurélie GENTILS](#)) : Nucléation-croissance de nanomatériaux par faisceaux d'ions

Remarques : Nom détaillé de l'équipe : Matière Condensée et Irradiation (l'équipe appartient au Groupe de Physique des Solides) <http://www.csnsm.in2p3.fr/Physique-des-solides>

DMPH (M. Lefebvre) : Micro-accéléromètre

Permanents : Olivier Le Traon, Pierre Lavenus, Michaël Scherman, Nelly Dorval

GEMAC/NSP/([Vincent SALLET](#) et Alain Lussion, Pierre Galtier, Gaelle Amiri, Corinne Sartel, Said Hassani, Nadia Sbai) : Elaboration, caractérisation et études physiques de nanofils et hétérostructures de type core/shell à base de ZnO

ICMMO/ (A. Bleuzen, M.-L. Boillot, A. Bordage, V. Campbell, L. Catala, G. Fornasieri, T. Mallah, S. Mazérat, E. Rivière): Magnétisme et spintronique moléculaires, nanoaimants moléculaires, photomagnétisme, transition de spin, nanoparticules de coordination

ICMMO/ (F. Berthier, J. Creuze)

IEF/NANOELECTRONIQUE/HETERNA/([Daniel BOUCHIER](#) et Lætitia VINCENT, Charles Renard) : Croissance épitaxiale-intégration hétérogène aux échelles nanométriques; application à la conversion d'énergie. Croissance de nanofils semiconducteur et étude des propriétés des hétérostructures de polytypes

IEF/Nanoelectronique/EPLA/([Dominique DÉBARRE](#) et Francesca Chiodi,) : nanoélectronique supraconductrice tout silicium

ISMO / Nanosciences Moléculaires: (A. Mayne) Nouveaux matériaux 2D - graphène et silicène et de couches isolantes.

Permanents : Gérald Dujardin, Hanna Enriquez, Andrew Mayne, Hamid Oughaddou, Damien Riedel

LAC/AgNano/([Martin SCHMIDT](#)) : thermodynamique et la réactivité des nanoparticules libres

LAC/Nanocube/([Alain SARFATI](#) et Nouari Kebaili, Pierre Billaud, Gaylor Tallec, Chloe Geller) : Nano-objets, Nano-structures, Nano-matériaux

Remarques : Physique des Agrégats Physique des surfaces Nanophotonique

LCP/TEMIC (Transfert d'Electron en Milieu Condensé)

- [Jacqueline BELLONI](#) et Meharn MOSTAFAVI : Dynamique de nucléation/cristallisation induite par impulsion laser

Remarques : Mots-Clés: Agrégats et nanoparticules générés par radiolyse Mécanismes de croissance Propriétés des agrégats dépendantes de la nucléarité Cinétiques et mécanismes de réaction Catalyse

- [Bertrand BUSSON](#) et Christophe Humbert (christophe.humbert@u-psud.fr) : Spectroscopie optique non linéaire de molécules adsorbées autour de nanoparticules métalliques (équipe PCI)

LEM / NANO (Annick Loiseau) : Matériaux de basse dimensionnalité

Permanents : A. Loiseau, H. Amara, F. Fossard, F. Ducastelle, A. Girard

Non permanents: A. Andrieux, A. Castan, E. Gaufres, A. Ghedjatti, M. He, L. Schué

LLB / LSS (Large scale structures, A. Brûlet) : Matériaux nanocomposites (polymères renforcés mécaniquement par des nanoparticules, alliages métalliques renforcés par des nanoparticules d'oxydes), aimants permanents à base de nanofils magnétiques, matériaux nanoporeux.

Permanents : G. Chaboussant, F. Cousin, J. Jestin, V. Klosek, M.-H. Mathon, N. Linder, F. Ott, F. Porcher.

LOA (A. Rousse) : Dynamique ultrarapide de structures de matériaux (Davide Boschetto)

LPICM/Large Area Electronics/([abderrahim YASSAR](#)) : conception et synthèse de matériaux conjugués et carbonés

LPICM/Modélisation/([Holger VACH](#) et Fatima Jardali, Ha Linh Thi Le) : dynamique moléculaire

LPICM/NanoMaDe/([FATIMA BOUANIS](#)) : Nanomatériaux pour des applications électroniques

LPICM/NanoSil et NanoMaDe/([Pere ROCA CABARROCAS](#) et Erik Johnson, Costel-Sorin Cojocar, Enric Garcia-Caurel, Martin Foldyna, Jean-Luc Maurice, Ileana Florea, G. Zucchi) : Synthèse nanocristaux, nanofils, épitaxie Si et Ge, photovoltaïque

Remarques : Deux équipes du LPICM sont concernées: NanoSil et NanoMaDe

LPICM/OLAE/([Bérengère LEBENTAL](#)) : Capteurs à base de nanomatériaux, fabrication, modélisation, mécanisme de dégradation et vieillissement

Remarques : PhOM est mon département secondaire, le principal étant EOE.

LPN/ELPHYSE

- [Frank GLAS](#) : Mécanismes de croissance des nanostructures semi-conductrices

Remarques : Je me sens concerné par l'intitulé Nano-matériaux, bien que travaillant sur les modes de croissance des nanostructures plus que sur leurs propriétés. Cependant, j'envisage un rattachement principal au pôle 7 plutôt qu'au pôle 3.

- [Gilles PATRIARCHE](#) : Etude structurale et chimique de nanostructures et hétérostructures de semiconducteurs par TEM

Remarques : Je suis également concerné par le pôle 7: Matériaux, élaboration et propriétés

- [Isabelle SAGNES](#) et Grégoire BEAUDOIN : Croissance MOCVD et Micro-Nanotechnologies

Remarques : Croissance et technologie de nanostructures

LPN/PHYNANO (contact Julien Chaste) : résonateurs suspendus à nanotubes de carbone

LPS / ODMC (P. Launois) :

- Etudes des propriétés de confinement 1D à l'échelle nanométrique. Structure et dynamique des nano-containers et de molécules/fluides insérés. En particulier l'eau dans les nanotubes de carbone et d'imogolite. Ces études s'étendent aux effets de confinement 2D : eau dans des films de graphène oxydé.

- Supra-cristaux, auto-assemblage de nanoparticules et formulation de métamatériaux optiques

- Synthèse de nanomatériaux et compréhension des mécanismes de formation

Permanents : B. Abecassis, P.A. Albouy, E. Beaudouin, D. Constantin, P. Davidson, M. Imperor, P. Launois, E. Paineau, B. Pansu, M. Zeghal

LPS / STEM (O. Stéphan) : structure/structure électronique du graphène et matériaux 2D, dopage électronique, fonctionnalisation, défauts, structure électronique aux interfaces d'hétérostructures d'oxydes, molécules photomagnétiques, nanotubes de carbone fonctionnalisés, nanostructures semi-conductrices, multiferroïques.

Permanents : A. Gloter, L. Bocher, M. Kociak, O. Stéphan, M. Walls, A. Zobelli, C. Colliex (ém)

LSI (X)

- Lucia Reining : Spectroscopie Théorique (Matériaux à corrélation fortes, graphène et structures carbonées, Photovoltaïque, Oxydes à propriétés remarquables)

- Jean-Eric Wegrowe : Physique des Nanoobjets (nanofils, nanotubes, thermo-électricité, Capteurs, Caloritronique)
- Giancarlo Rizza : Physique des Nanoobjets (croissance sous MET, microscopie électronique par transmission, interaction rayonnement matière)
- Marie-Claude Clochard : Nanochimie (Polymères membranes fonctionnalisées, croissance par électrochimie, nanomatériaux, Matériaux fonctionnels et de structure, capteurs pile à combustible, nanotubes, graphène matériaux poreux, surfaces et couches minces fonctionnelles, agrégats et nanoparticules)
- N. Vast Theoretical Materials Science
Permanents : N. Vast, J. Sjakste,

NIMBE/LEDNA :

- Martine Mayne-Lhermite, Mathieu Pinault, Brigitte Bouchet-Fabre (croissance CVD de nanotubes de carbone, matériaux nanostructurés)
- Nathalie Herlin-Boime, Yann Leconte, Olivier Sublemontier (croissance de nanoparticules par pyrolyse laser)
- Sylvie Marguet (synthèse de nanoparticules pour la plasmonique) ; Henri Perez (nanocomposites pour les énergies renouvelables)
- Thu-Hoa Tran Thi, Laurent Mughferli (matériaux nanostructurés pour la détection)

NIMBE/LICSEN :

- Stéphane Campidelli, Bruno Jusselme (conception et synthèse de nano-objets pour applications électroniques, énergies)
- Guy Deniau, Géraldine Carrot, brigitte Mouanda, Thomas Berthelot (nanochimie pour la santé)
- Pascal Viel (nanochimie pour l'environnement)
- Arianna Filoramo, Vincent Derycke, Renaud Cornut, Bernard Geffroy (propriétés électroniques de nano-objets et matériaux nanostructurés)

NIMBE/LIONS :

- Antoine Thill, Fabienne Testard, Christophe Fajolles (conception et synthèse de nano-objets)
- Corinne Chevallard, David Carrière, Patrick Guenoun, Florent Malloggi (assemblage à l'échelle nano, nanomatériaux, nanostructuration)
- Serge Pin, Sophie Le Caër, Jean-Philippe Renault (nanotoxicité)

NIMBE/LEEL :

- Suzy Surble, Hicham Khodja, Said Yagoubi : synthèse et caractérisation de matériaux nanostructurés

PMC/CDS (T. Gacoin, I. Maurin) : nanoparticules et nanomatériaux, nanoparticules luminescentes et à émission SHG, photomagnétisme et magnétostriction

PMC/ECM (P. Allongue, F. Maroun) : Croissance électrochimique, couches minces et nanomagnétisme.

SOLEIL / HERMES (R. Belkhou) : Imagerie à l'échelle nm et nano-objets
Permanents : Rachid Belkhou, Stefan Stanescu, Sufal Swaraj

SOLEIL / ANTARES (Maria Carmen Asensio) : Nano-imagerie chimique et électronique de matériaux complexes.
Permanents : Maria Carmen Asensio, Jose Avila

SPEC/LNO / (Hélène Magnan) : nanostructures d'oxydes pour l'énergie

SPEC/GMT (Yannick Dappe) : graphène, SiC, nanotubes, fullerènes, interactions de van der Waals et propriétés électroniques

SRMP (Bernard Legrand et Fabien Bruneval) : Diagramme de phase des nanoparticules d'alliage (ou nanoalliage), libres, supportées ou immergées; lien avec les diagrammes de phase 3D et 2D. Lien entre nanoparticules libres et nanoprecipités dans les alliages métalliques. Cinétique de vieillissement des nanoalliages.

UMPhy CNRS-Thales / (A. Anane, B. Dlubak, A. Fert, J.M. George, R. Mattana, F. Petroff, N. Reyren, P. Seneor) : matériaux 2D et moléculaires

5) Phénomènes de transport dans les nano-objets

Le confinement selon les dimensions transverses modifie le transport électronique dans la direction longitudinale, en réduisant le nombre de « canaux » disponibles. Par ailleurs la nature même du transport (diffusif, balistique) est modifiée lorsque des longueurs nanométriques sont en jeu, car de l'ordre du libre parcours moyen des électrons. Cette physique s'applique aussi à d'autres quasi-particules que sont les phonons, donnant lieu à la nano-thermique et à la nano-acoustique voire nano-mécanique, ainsi que les ondes de spin (le domaine de la magnonique). Enfin, en descendant jusqu'à l'échelle des atomes, apparaît l'électronique moléculaire où la nanophysique rencontre la chimie. Le couplage entre plusieurs de ces phénomènes est particulièrement intéressant pour obtenir de nouvelles fonctionnalités (par exemple l'opto-mécanique et l'électro-mécanique mise à profit dans les NEMS). Ce domaine de recherche participe particulièrement au développement d'instrumentations ultimes capables d'agir sur et de mesurer individuellement ces nano-objets, en champ proche avec des résolutions spectrales et spatiales à l'échelle nanométrique.

Equipes concernées (avec leur responsable ou contact), sujets et chercheurs permanents impliqués

CPHT / : Transport dans les nano-dispositifs quantiques (points quantiques, etc...)

Permanents : Karyn Le Hur, Antoine Georges

CSNSM/PS ([Aurélie GENTILS](#), Hélène Le Sueur) : Nucléation-croissance de nanomatériaux par faisceaux d'ions

GEMAC/FOX/([A. Fouchet](#), [J. Scola](#), [E. Chikoidze](#), B. Berini, N. Keller, [Y. Dumont](#)) : transition métal-isolant dans les films ultra-minces d'oxydes; gaz électroniques aux interfaces d'oxydes

Remarques : l'équipe FOX du GEMAC est aussi dans le pôle 7 : matériaux, élaboration et propriétés.

IEF/NANOÉLECTRONIQUE/COMICS/([Philippe DOLLFUS](#) et Jérôme Saint-Martin, Arnaud Bournel, Sylvie Retailleau, Michele Amato, Damien Querlioz) : Modélisation des phénomènes de transport dans les nano-objets et les nanodispositifs électroniques. Modélisation nanoélectronique, Gaz d'électrons 2d, hétérostructures, graphène, boîtes quantiques, nanofils, nanothermique.

IEF/ NANOÉLECTRONIQUE/Ephycas/([Frédéric ANIEL](#) et Nicolas Zerounian, Anne-Sophie Grimault) : Modélisation, conception, réalisation et mesure de dispositifs THz (Detecteurs,

sources, amplificateurs, ...)

Remarques : Notre activité est à l'interface des domaines 1,2, 4 et 5 du pôle 5.

IEF/NANOÉLECTRONIQUE/EPLA/([Francesca CHIODI](#) et D. Débarre) : Supraconductivité de proximité dans les nanofils en Si

LOA (Antoine Rousse) : Application des sources d'électrons ultrabrèves (Jérôme Faure)

LPN/GOSS (Pascale Senellart) : nano-optomécanique à boîtes quantiques

LPN/PHODEV (Abderrahim Ramdane, Stéphane Collin) : transports dans les nanostructures de semi-conducteurs, photovoltaïque

LPN/PHYNANO/([Dominique MAILLY](#) et Ulf Gennser, Frédéric Pierre, Julien Chaste, Guillemin Rodary, Jean Christophe Girard, Yong Jin, Bernard Etienne, Karim Ouerghi, Anne Anthore) : physique mésoscopique, gaz d'électrons 2d, hétérostructures, graphène, boîtes quantiques, nanofils. Nanomécanique nanotubes de carbone.

LPQM / (Thomas Antoni) : Nanothermique

LPS / MESO (H. Bouchiat) : transport à basse température et sous champ magnétique dans graphène, nanotubes de carbone, nanofils Bi

Permanents : Hélène Bouchiat, Sophie Guéron, Richard Deblock, Meydi Ferrier, Alexei Chepelianskii

LPS / NS2 (M. Aprili) : Systèmes hybrides métalliques, systèmes quantiques hors-équilibre, matière topologique (circuits quantiques), bruit quantique, supraconductivité mésoscopique.

Permanents : Marco Aprili, Julien Gabelli, Charis Quay, Jérôme Estève, Julien Basset

LPS/Théorie (P. Simon) : Théorie du transport quantique hors-équilibre dans les nanostructures. Nanostructures en cavité micro-ondes. Transport cohérent de phase. Supraconductivité mésoscopique et structures hybrides. Matière topologique (fermions de Majorana).

Permanents : Gilles Montambaux, Inès Safi, Pascal Simon

LPTMS/ (Thierry Jolicoeur) : effet Hall quantique dans les gaz 2D et le graphène, transport cohérent de phase, études numériques des systèmes modèles fortement corrélés, solitons et polymères conducteurs.

Permanents : Thierry Jolicoeur, C. Texier, G. Roux, S. Brazovski

LSI

- Jean-Eric Wegrowe : Physique des Nanoobjets (diffusion dépendant du spinthermo-électricité, Capteurs, Caloritronique)

- Marcin Konczykowski : Sondes à effet Hall (Gaz d'électrons 2d, hétérostructures, capteurs magnétiques)

NIMBE/LICSEN/([Bernard GEFROY](#)) : Physique des nanostructures (organiques et hybrides, nanofils et nanotubes) pour le photovoltaïque

Remarques : Expert en électronique organique

PMC/EPS (Georges Lampel, Yves Lassailly, Lucio Martinelli, Daniel Paget, Jacques Peretti, Alistair Rowe, Claude Weisbuch) : transport dans les semi-conducteurs, pompage optique et électronique de spin, nano-optique et optique en champ proche.

SOLEIL/SIRIUS (Philippe Fontaine et Gianluca Ciatto)

SPEC/GMT / (Jean-Louis Pichard) : Transport thermoélectrique dans des nano-objets, électronique moléculaire, transport électronique dans les jonctions moléculaires, électronique moléculaire "tout-carbone"

Permanents : Geneviève Fleury, Jean-Louis Pichard, Yannick Dappe

UMPhy CNRS-Thales / (A. Anane, A. Barthélémy, M. Bibes, V. Cros, B. Dlubak, A. Fert, H. Jaffres, V. Garcia, J.-M. George, J. Grollier, S. Fusil, R. Mattana, F. Petroff, N. Reyren, P. Seneor) : jonctions ferroélectriques, Spin transfert, Multiferroiques, Magnonique, Spintronique moléculaire, gaz 2D (semiconducteurs, oxydes, graphène...), Spin-orbitronics (skyrmions, spin Hall effect...).

Laboratoire	contact bureau	Equipe Nom du contact	Surfaces	Optique- photonique	Magnétisme	Matériaux	Transport	personne	femmes	théorie
CPhT (centre de physique theorique)	Thiaville	Karyn LEHUR Matière condensée	Antoine GEORGES Silke BIERMANN	Karyn LE HUR			Antoine GEORGES Karyn LE HUR	3	2	3
CSNSM	Sauvage	PS Aurélie GENTILS				Aurélie GENTILS	Hélène LE SUEUR	2	2	0
CSNSM	Sauvage	SCES Andres SANTANDE R-SYRO	Andres SANTANDE R-SYRO Franck FORTUNA					2	0	0
DMPH Onera	Haidar	Michel Lefebvre		Michel LEFEBVRE Alexandre BRESSON		Olivier Le Traon Pierre Lavenus Michaël Scherman Nelly Dorval		6	1	0
DOTA Onera	Haidar	Riad Haidar Conception et innovation optique		R. HAIDAR G. VINCENT J. JAECK P. BOUCHON				4	0	0
GEMAC	Sauvage	Fox Joseph SCOLA	Joseph SCOLA A. FOUCHET B. BERINI N. KELLER Y. DUMONT		Y. DUMONT N. KELLER J. SCOLA A. FOUCHET E. POPOVA B. BERINI E. CHIKOIDZE		A. Fouchet J. Scola E. Chikoidze B. Berini N. Keller Y. Dumont	9	2	0

GEMAC	Sauvage	Optique à l'échelle nanométrique Jean-Pierre HERMIER		Jean-Pierre HERMIER Stéphanie BUIL Xavier QUELIN				3	1	0
GEMAC	Sauvage	Physique des Matériaux Moléculaires Commutables (P2MC) Damien GARROT		Damien GARROT				1	0	0
GEMAC	Sauvage	NSP Vincent SALLET		Vincent SALLET		Vincent SALLET Alain LUSSON Pierre GALTIER Gaelle AMIRI Corinne SARTEL Said HASSANI Nadia SBAI		7	3	0
ICMMO Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay	Sénéor	A. BleuzenT. Mallah			A. BLEUZENM.-L. BOILLOTA. BORDAGEV. CAMPBELL. CATALAG. FORNASIERI T. MALLAHS. MAZERATE. RIVIERE	A. BleuzenM.-L. BoillotA. BordageV. Campbell. CatalaG. Fornasieri T. MallahS. MazératE. Rivière		9	7	0
ICMMO Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay	Sénéor	Patrick Berthet		Patrick BERTHET	Patrick Berthet			1	0	0
ICMMO Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay	Sénéor	F. Berthier J. Creuze				F. Berthier J. Creuze		2	0	0

IEF Institut d'électronique fondamentale	Sauvage	PHOTONIQUE/CRIME Anatole LUPU	Anatole LUPU S.N. BUROKUR F. GADOT A. DEGIRON E. AKMANSOY A. DE LUSTRAC					6	1	1
IEF Institut d'électronique fondamentale	Sauvage	PHOTONIQUE/CIMPHONIE Béatrice DAGENS	Béatrice DAGENS Philippe GOGOL Navy YAM Robert MEGY					4	2	0
IEF Institut d'électronique fondamentale	Sauvage	PHOTONIQUE/MINAPHOT Eric CASSAN	Eric CASSAN Delphine MARRIS-MORINI					2	1	0
IEF Institut d'électronique fondamentale	Sauvage	PHOTONIQUE/QD Sébastien SAUVAGE	Xavier CHECOURY Moustafa EL KURDI Philippe BOUCAUD Sébastien SAUVAGE					4	0	0
IEF Institut d'électronique fondamentale	Sauvage	PHOTONIQUE/NanoPhotoni Maria TCHERNYC HEVA	Maria TCHERNYC HEVA François JULIEN Nathalie ISAC					3	2	0
IEF Institut d'électronique fondamentale	Sauvage	MicroSys& Nanobiotec hno/NanoBioPhotonics Niko HILDEBRANDT	Niko HILDEBRANDT					1	0	0
IEF Institut d'électronique fondamentale	Sauvage	MicroSys& Nanobiotec hno/MN(O) EMS&Instrumentation Filippo FABRI	Filippo FABRI					1	0	0

IEF Institut d'électronique fondamentale	Sauvage	NANOLECTRONIQUE/CTM Thomas MAROUTIAN			Thomas MAROUTIAN Sylvia MATZEN Guillaume AGNUS François PESTY Pascal AUBERT Philippe LECOEUR			6	1	0
IEF Institut d'électronique fondamentale	Sauvage	NANOLECTRONIQUE/COMICS Philippe Dollfus					Philippe DOLLFUS Jérôme SAINT-MARTIN Arnaud BOURNELS Sylvie RETAILLEAU Michele AMATO Damien QUERLIOZ	6	1	0
IEF Institut d'électronique fondamentale	Sauvage	NANOLECTRONIQUE/NOMADE Joo-Von Kim			Joo-Von KIM			1	0	0
IEF Institut d'électronique fondamentale	Sauvage	NANOLECTRONIQUE/Ephycas Frédéric Aniel					Frédéric ANIEL Nicolas ZEROUNIAN Anne-Sophie GRIMAUULT	3	1	0
IEF Institut d'électronique fondamentale	Sauvage	NANOLECTRONIQUE/EPLA Dominique Débarre				Dominique DEBARRE Francesca CHIODI	Dominique DEBARRE Francesca CHIODI	2	2	0
IEF Institut d'électronique fondamentale	Sauvage	NANOLECTRONIQUE/HETERNA Daniel BOUCHIER				Daniel BOUCHIER Laetitia VINCENT Charles RENARD		3	1	0
IEF Institut d'électronique fondamentale	Sauvage	NANOARCHI Jacques-Olivier Klein			Jacques-Olivier KLEIN Damien QUERLIOZ Weisheng ZHAO Laurie CALVET			4	1	0

IEF Institut d'électronique fondamentale	Sauvage	Spintronique et nanoélectronique Dafiné Ravelosona			Dafiné Ravelosona			1	0	0
ISMO Institut des Sciences Moléculaires d'Orsay	Thiaville	Surfaces, interfaces : réactivité et nanostructuration (SIREN) Hocine Khemliche	Bernard BOURGUIGNON Serge CARREZ Aimeric OUVRAD Wanquan ZHENG Lionel AMIAUD Kirill BOBROV Céline DABLEMONT Vladimir ESAULOV Laurent GUILLEMO T Hocine KHEMLICHE Anne LAFOSSE Philippe RONCIN Anouchah MOMENI					13	2	0
ISMO Institut des Sciences Moléculaires d'Orsay	Thiaville	Nanosciences moléculaires (NM) Andrew Mayne	Elizabeth BOER-DUCHEMIN Gérald DUJARDIN Hanna ENRIQUEZ Eric LE MOAL Andrew MAYNE Hamid OUGHADDOU Georges RASEEV Damien RIEDEL	Elizabeth BOER-DUCHEMIN Gérald DUJARDIN Eric LE MOAL Georges RASEEV		Gérald DUJARDIN Hanna ENRIQUEZ Andrew MAYNE Hamid OUGHADDOU Damien RIEDEL		8	2	0
LAC Laboratoire Aimé Cotton	Thiaville	Nano3 Pierre BillaudAlain Sarfati		Pierre BILLAUDNo uari KEBAILIALain SARFATI		Alain Sarfati Pierre BillaudNo uari KebailiGaylor TallecChloe Geller		5	1	0

LAC Laboratoire Aimé Cotton	Thiaville	Nanophoto nique Jean- Sébastien Lauret / Anne Debarre		Jean- Sébastien LAURET Emmanuel e DELEPORTE Anne DEBARRE				3	2	0
LAC Laboratoire Aimé Cotton	Thiaville	AgNano Martin Schmidt				Martin Schmidt		1	0	0
LCF Laboratoire Charles Fabry	Sauvan	NAPHEL Christophe Sauvan		Jean- Jacques GREFFET Henri BENISTY F. MARQUIER Christophe SAUVAN P. BEN- ABDALLAH				5	0	2
LCF Laboratoire Charles Fabry	Sauvan	MANOLIA		G. PAULIAT P. DELAYE N. DUBREUIL M. CUNIOT- PONSARD				4	1	0
LCP LABORATOI RE DE CHIMIE PHYSIQUE	Sauvage	TEMIC Isabelle Lampre		Isabelle LAMPRE Hynd REMITA		Jacqueline BELLONI Meharn MOSTAFA VI		4	2	0
LCP LABORATOI RE DE CHIMIE PHYSIQUE	Sauvage	TEMIC / SFG Christophe Humbert	Bertrand BUSSON Christophe HUMBERT			Bertrand BUSSON Christoph e HUMBERT		2	0	0
LEM Onera Laboratoire d'étude des microstructu res	Haidar	Matériaux de basse dimensionn alité (NANO) Annick Loiseau				Annick LOISEAU H. AMARA F. FOSSARD François DUCASTEL LE A. GIRARD		5	1	0

LGEP (laboratoire de Génie électrique de Paris)	Sénéor	Jean-Paul Kleider (PHEMADI C)						1	0	0
LIDYL	de Loubens	Hamed MERDJI		Hamed MERDJI				1	0	0
LLB Laboratoire Léon Brillouin	Sirotti	Large-scale structures (LSS) A. Brûlet			A. BRULET Alex andre BATAILLE Grégo ry CHABOUSSA NTF. COUSIN B. GILLON Fréd éric OTT	Grégory CHABOUS SANTF. COUSIN J. JESTIN V. KLOSE KM. H. MATHON N. Linder Fréd éric OTT F. PORCHER		11	5	0
LOA	Haidar	Antoine Rousse	Antoine ROUSSE Philippe ZEITOUN				Davide Boschetto Jérôme Faure	4	0	0
LOB Laboratoire d'Optique et Biosciences,	Sauvan	Cédric Bouzigues (suivi de molécules uniques avec des nanopartic ules de terres rares)		Cédric BOUZIGUES Antigoni ALEXANDR OU				2	1	0
LPICM Laboratoire de physique des interfaces et des couches minces	Cojocar	OLAE					Bérengère Lebental	1	1	0
LPICM Laboratoire de physique des interfaces et des couches minces	Cojocar	Modélisati on Holger Vach					Holger Vach Fatima Jardali Ha-Linh- Thi LE	3	1	3

LPICM Laboratoire de physique des interfaces et des couches minces	Cojocar	LAE				Abderrahim Yassar		1	0	0
LPICM Laboratoire de physique des interfaces et des couches minces	Cojocar	NanoMaDe				Fatima Bouanis		1	1	0
LPICM Laboratoire de physique des interfaces et des couches minces	Cojocar	nanoRaman	Razvigor OSSIKOVSKI					1	0	0
LPICM Laboratoire de physique des interfaces et des couches minces	Cojocar	NanoSil et NanoMaDe Pere Roca Cabarocas				Pere Roca Cabarocas Erik Johnson Costel-Sorin Cojocar Enric Garcia-Caurel Martin Foldyna Jean-Luc Maurice Ileana Florea G. Zucchi		8	1	0
LPN	Sauvage	PHYNANO Dominique MAILLY	Guillemin RODARY Jean-Christophe GIRARD Christophe DAVID			Julien CHASTE	Dominique MAILLY Uif GENNSERF édéric PIERRE Julien CHASTE Guillemin RODARY Jean-Christophe GIRARD Yong JIN Bernard ETIENNE Karim Ouergui Anne ANTHORE	13	1	0

LPN	Sauvage	Minao nanophotonique et plasmonique Jean-Luc PELOUARD		J.-L. PELOUARD F. PARDO N. BARDOU C. DUPUIS				4	1	0
LPN	Sauvage	GOSS Paul VOISIN		Paul VOISIN Jacqueline BLOCH Olivier KREBS Pascale SENELLART Alberto AMO Loïc LANCO	Olivier KREBS		Pascale SENELLART	6	2	0
LPN	Sauvage	NANOPHOTONIQUE Ariel LEVENSON		Ariel LEVENSON Isabelle ROBERT-PHILIP Remy BRAIVE Jean-Marie MOISON Sylvain BARBAY Nadia BELABAS Kamel BENCHEIKH Alejandro GIACOMOTTI Christophe MINOT Paul MONNIER Fabrice RAINERI Rama RAJ				12	3	0
LPN	Sauvage	PHODEV Abderrahim RAMDANE		Stéphane COLLIN Andrea CATTONI			Abderrahim RAMDANE Stéphane COLLIN	3	0	0
LPN	Sauvage	ELPHYSE Frank GLAS			Aristide LEMAITRE		Franck GLAS Gilles PATRIARCHE Isabelle SAGNES Grégoire BEAUDOIN	5	1	0

LPQM	Sauvan	Bruno Palpant		Bruno PALPANT			Thomas ANTONI	2	0	0
LPS LABORATOIRE DE PHYSIQUE DES SOLIDES	Thiaville	THEOPascal Simon	Pascal SIMON		Frédéric PIECHONPascal SIMON		Gilles MONTAMB AUXInès SAFIPascal SIMON	4	1	4
LPS LABORATOIRE DE PHYSIQUE DES SOLIDES	Thiaville	IDMAG André Thiaville			Joao SAMPAIO Stanislas ROHART Alexandra MOUGIN Vincent JEUDY André THIAVILLE Jacques MILTAT (ém)			6	1	1
LPS LABORATOIRE DE PHYSIQUE DES SOLIDES	Thiaville	ODMC Pascale Launois				Benjamin ABECASSIS Pierre-Antoine ALBOUY Emmanuel BEAUDOIN Doru CONSTANTIN Pascal DAVIDSON Marianne IMPEROR Pascale LAUNOIS Brigitte PANSU Erwan PAINEAU Meydi ZEGHAL		10	3	0
LPS LABORATOIRE DE PHYSIQUE DES SOLIDES	Thiaville	NS2 Marco Aprili					Marco APRILI Julien GABELLI Charis QUAY Jérôme ESTEVE Julien BASSET	5	1	0

LPS LABORATOIRE DE PHYSIQUE DES SOLIDES	Thiaville	MESO Hélène BOUCHIAT					Hélène BOUCHIAT Sophie GUERON Richard DEBLOCK Meydi FERRIER Alexei CHEPELIAN SKII	5	2	0
LPS LABORATOIRE DE PHYSIQUE DES SOLIDES	Thiaville	STEM Odile Stephan					Alexandre GLOTER Laura BOCHER Mathieu KOCIAK Odile STEPHAN Michael WALLS Alberto ZOBELLI Christian COLLIEUX (em)	7	2	1
LPTMS, Labo ratoire de Physique Théorique et Modèles Statistiques,	Thiaville	Thierry JOLICOEUR					Thierry JOLICOEUR Christophe TEXIER G. ROUX Sergei BRAZOVSKI	4	0	4
LSI	de Loubens	Jean-Eric WEGROWE	Lucia REINING	Lucia REINING Giancarlo RIZZA	Jean-Eric WEGROWE		Lucia REINING Giancarlo RIZZA Jean-Eric WEGROWE E Marie- Claude CLOCHAR D N. VAST J. SJAKSTE	7	3	3
NIMBE	de Loubens	LEDNA					Martine MAYNE- LHERMITTE E Mathieu PINAULT Brigitte BOUCHET- FABRE Nathalie HERLIN- BOIME Yann LECONTE Olivier SUBLEMO NTIER Sylvie MARGUET Henri PEREZ Thu-Hoa	10	5	0

						TRAN THI Laurent MUGHERL I				
NIMBE	de Loubens	LICSEN				Stéphane CAMPIDEL LI Bruno JOUSSELM E Guy DENIAU Géraldine CARROT Brigitte MOUAND A Thomas BERTHELO T Pascal VIEL Arianna FILORAM O Vincent DERYCKE Renaud CORNUT Bernard GEFFROY	Bernard Geffroy	11	3	0
NIMBE	de Loubens	LIONS				Antoine THILFabie nne TESTARDC hristophe FAJOLLESC orinne CHEVALLA RDDavid CARRIERE Patrick GUENOU NFlorent MALLOGG ISerge PINSophie LE CAERJean- Philippe RENAULT		10	3	0
NIMBE	de Loubens	LEEL				Suzy SURBLE Hicham KHODJA Said YAGOUBI		3	1	0

PMC	Sénéor	CDS T. Gacoin		T. GACOIN I. MAURIN	T. Gacoin I. Maurin	T. Gacoin I. Maurin				2	1	0
PMC	Sénéor	ECM P. Allongue			P. Allongue F. Maroun	P. Allongue F. Maroun				2	0	0
PMC	Sénéor	EPS J. Peretti		Georges LAMPEL (ém) Yves LASSAILLY Lucio MARTINELLI I Daniel PAGET Jacques PERETTI Alistair ROWE Claude WEISBUCH	Georges Lampel (ém) Yves Lassailly Lucio Martinelli Daniel Paget Jacques Peretti Alistair Rowe Claude Weisbuch		Georges Lampel (ém) Yves Lassailly Lucio Martinelli Daniel Paget Jacques Peretti Alistair Rowe Claude Weisbuch			7	0	0
Synchrotron SOLEIL	Sirotti	CASSIOPEE François Bertran	Francois BERTRAN Patrick LEFEVRE Julien RAULT							3	0	0
Synchrotron SOLEIL	Sirotti	Phénomèn es dynamique s et structure électroniqu e (TEMPO) F. Sirotti	Fausto SIROTTI Mathieu SILLY Azzedine BENDOUN AN Christian CHAUVET							4	0	0
Synchrotron SOLEIL	Sirotti	SIXS A. Coati	Alessandro COATI Alina VLAD Andrea RESTA							3	1	0
Synchrotron SOLEIL	Sirotti	SEXTANTS Nicolas Jaouen			Nicolas JAOUEN Hori a POPESCU Alessandro NICOLAU					3	0	0

Synchrotron SOLEIL	Sirotti	SAMBA E. Fonda			E. FONDA			1	0	0
Synchrotron SOLEIL	Sirotti	HERMES Rachid Belkhou				Rachid BELKHOUS Stefan STANESCU Sufal SWARAJ		3	0	0
Synchrotron SOLEIL	Sirotti	ANTARES Maria- Carmen Asensio				Maria- Carmen ASENSIO Jose AVILA		2	1	0
Synchrotron SOLEIL	Sirotti	SIIRIUS Philippe Fontaine					Philippe Fontaine Gianluca Ciatto	2	0	0
Synchrotron SOLEIL	Sirotti	DEIMOS Philippe OHRESSER				Philippe OHRESSER Edwige OTERO Fadi CHOUKANI		3	1	0
SPEC	de Loubens	LENSIS Nick Barrett	Nick BARRETT Claire MATHIEU Christophe LUBIN					3	1	0
SPEC	de Loubens	LEPO Fabrice Charra	Fabien SILLY	Fabrice CHARRA Céline FIORINI- DEBUISSCH ERT Ludovic DOUILLARD				4	1	0

SPEC	de Loubens	GMT Jean-Louis Pichard	Yannick DAPPE		Cyrille BARRETEAU Yannick DAPPE Sylvain LATIL Alexander SMOGUNOV	Yannick DAPPE	Yannick DAPPE Geneviève FLEURY Jean-Louis PICHARD	6	1	6
SPEC	de Loubens	LNO Claude Fermon / Grégoire de Loubens			Michel VIRET Grégoire DE LOUBENS Jean-Baptiste MOUSSY Antoine BARBIER	Hélène MAGNAN		5	1	0
SRMP Service de Recherches de Métallurgie Physique, CEA	de Loubens	Jean-Paul Crocombette	Bernard LEGRAND	Fabien BRUNEVALL		Bernard LEGRAND Fabien BRUNEVALL		2	0	0
UMPHY Thales Unité Mixte de Physique CNRS Thales.	Sénéor	Pierre Seneor		Albert FERTHenri JAFFRESJean-Marie GEORGE	Abdelmajid ANANEAgnes BARTHELEM YManuel BIBESVincent CROSB. DLUBAKAlbert FERTHenri JAFFRESVincent GARCIAJean-Marie GEORGEJulie GROLLIERStéphane FUSILRichard MATTANAFrédéric PETROFFNicolas REYRENPierre SENEOR	Abdelmajid ANANEAgnes BARTHELEM YManuel BIBESVincent CROSB. DLUBAKAlbert FERTHenri JAFFRESVincent GARCIAJean-Marie GEORGEJulie GROLLIERStéphane FUSILRichard MATTANAFrédéric PETROFFNicolas REYRENPierre SENEOR		15	2	1
nombres								377	95	29

25,198938 99 7,6923076 92

Proposition de création d'un Institut des Nanosciences

A court terme, le Labex NanoSaclay couvre notre domaine scientifique, et les « défis de phase 2 » qu'il vient de définir correspondent bien aux thèmes que nous avons identifiés (en particulier les défis 2-nanocomposants multifonctionnels, 3-hétérostructures d'oxydes fonctionnels, 4- nanophotonique et information quantique, 5-nanostructures et photonique et 7-matériaux hybrides). Au niveau plus large de la région Ile-de-France, le DIM NanoK soutient les recherches collaboratives en nanosciences, et organise une école d'été pluridisciplinaire annuelle sur ce champ de recherche.

Champ de l'Institut

A plus long terme, après les Labex et potentiellement aussi après NanoK, il semble désirable de conserver une structure thématique regroupant les équipes au-delà des laboratoires, établissements et sites et même au-delà du Département PhOM. L'état des lieux de la recherche en nanophysique que nous avons mené a en effet mis en évidence des recouvrements importants avec

- la chimie : beaucoup pour l'axe de physique des surfaces, mais aussi pour les objets de la nano-photonique, pour le magnétisme moléculaire ;
- la biologie : fortement pour l'optique de nano-objets uniques, les capteurs optiques, l'instrumentation en imagerie, l'utilisation de nanoparticules magnétiques.

Au vu de ces interactions fortes entre départements thématiques, la bonne échelle semble donc être celle des nanosciences dans leur ensemble. Notons que la région Ile-de-France, par le biais du DIM NanoK, soutient les nanosciences dans leur globalité, et que le pôle grenoblois a constitué une fondation Nanosciences pour animer et soutenir ses recherches sur ces sujets. Au niveau international enfin, la fondation Kavli – issue de la Californie - finance quatre instituts de nanosciences (Cornell, Caltech, Harvard, et Delft), en ayant sélectionné auparavant 4 domaines scientifiques (astrophysique, nanoscience, neuroscience et physique théorique).

Missions de l'Institut

Notre état des lieux de la recherche en nanophysique montre une relativement faible symbiose entre expérience et théorie, avec des fortes disparités entre axes de recherche, la physique des surfaces et la nanophotonique étant mieux loties de ce point de vue. Une des missions de cet institut serait ainsi de favoriser des projets collaboratifs théorie-expérience.

Nous avons aussi remarqué que le lien entre travaux fondamentaux et appliqués se faisait de manière inégale entre les axes de recherche en nanophysique (relativement bien en photonique et en matériaux). L'institut viserait à développer ces deux aspects de la recherche.

La communauté a exprimé le souhait que se développent des plateformes de caractérisation avancée. Avec la taille que représente cette université, il doit être possible de disposer en local de quasiment toutes les techniques de caractérisation. Une première partie de l'activité de l'institut dans ce domaine serait de distribuer à tous la connaissance des techniques existantes. Dans le cadre de la réflexion globale sur les plateformes, il se dégage l'idée d'un coup de pouce donné aux plateformes pour les aider à fonctionner et à se maintenir au meilleur niveau, en échange d'une ouverture à la communauté.

Pour favoriser le développement à long terme du domaine, il semble intéressant de favoriser des séjours sabbatiques ciblés de chercheurs de Paris-Saclay, sources de renouvellement thématiques et techniques. Mettre l'accent seulement sur l'attraction de chercheurs étrangers nous semble limitatif.

Enfin, cet institut aurait naturellement en charge l'animation scientifique locale du domaine. Nous pensons à une labellisation de séminaires, remontés à l'institut par les organisateurs et annoncés à la communauté par courrier électronique.

Forme de l'Institut

Il s'agira d'un institut sans murs. Pour que des recherches se développent de manière pluridisciplinaire, il faut que les équipes concernées restent en lien avec leur communauté thématique. De toutes façons, sur un simple plan pratique il ne sera pas possible de rassembler dans un même bâtiment 500 chercheurs permanents, c'est-à-dire 1000 personnes. C'est tout le campus Paris-Saclay qui réalise ce rassemblement. Le futur C2N, qui possèdera la plus grande – et de loin – salle blanche du campus, sera naturellement un élément fort de l'institut, mais n'en sera néanmoins qu'une petite partie.

université
PARIS-SACLAY

DÉPARTEMENT

Physique des Ondes
et de la Matière

Pôle 6 : Optique

GT5 "Optronique, optoélectronique et photonique" (EOE) and Pôle 6 "Optique" (PhOM) : common synthesis (English abridged version)

Main keywords of the two work groups.

Items common to the two work groups are types in red

GT5 EOE Department

Optical sensors	Optical devices transforming a physical, chemical or biological signal in an optical signal for its detection
Optical Instrumentation	Developments of optical observation and characterization tools
Detectors and light sources	Components transforming an electrical or optical source in light (used for its classical or quantum properties), or that light in electrical or optical source.
Generation, transport, control, detection and processing of optical signals	Linear or nonlinear devices used to generate, transport, control, detect and process information (spatial and/or temporal, classical or quantum) carried by optical waves.
Conversion of light energy	Optical devices and systems around the photovoltaic effect for the conversion of photons into electrons or heat

Pole 6 PhOM Department

Sources and optical phenomena	quantum optics, laser physics and development, nonlinear optics, electronic and optical spectroscopy, luminescent sources, optical components, Terahertz
Information technologies, sensors, metrology	telecommunications, LEDs, OLEDs, microwave photonics, optoelectronics, optical fibers, defense (optronics, sensors), LIDAR, gas sensors, photoacoustic sensors, clocks, frequency combs
Microscopy, imaging, and biophotonics	electronic and optical microscopy, super-resolution, correlative and multimodal microscopy, microspectroscopy, IR AFM, image processing, bio-sensors, bio-chips, biomedical, optical methods in biophysics, fluorescent markers.
Energy	Photovoltaic cells, energy conversion, photo-active systems, photo-thermal systems
Material science, components, and nanostructures for optics	Laser materials, nonlinear optics materials, nanophotonics, semiconductors for optics, thin films, optical components (e.g., X-UV), optical component metrology, molecular photonics

SWOT analysis :

In the following table, the items, which are specific to GT5 EOE, are in green. Those specific to PhOM Pole 6 are in blue. The common ones are in red

	Positive	Negative
Internal origin (organisational)	<p style="text-align: center;"><u>Strengths:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Top-level research, industry and teaching activities in optics and photonics, as internationally acknowledged. Paris-Saclay = world-level actor in optics and photonics • Well developed maturation infrastructures and entrepreneurship training. Strong entrepreneurship and technology transfer culture. • Presence of competitiveness networks and promotion association with strong links with the optical domain • Presence of both fundamental and applied science inside individual teams. • Experiments as well as theory • Strong collaborative culture in Paris-Saclay optic community • Strong links with teaching ("grandes écoles", masters, universities, etc...). • Excellent pool of students and young graduates in the field of optics • Existence of the CLUPS, the "Centre de Photonique Biomédicale", the Labex (PALM, NanoSaclay), the Equipex (CILEX, TEMPOS, ATTOLAB, Morphoscope2), the Lidex (OPT2X) 	<p style="text-align: center;"><u>Weaknesses:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Needs for means (both human and material) to maintain the technological capabilities at the international competition level • Poor visibility of optics industries among students. • Lack of production infrastructures for optical components dedicated to optronics systems (classical optical components) • Lack of support and reactivity to launch new projects, which are often not expensive but highly risky and with high potentials • Lack of animation and coordination structures for research activities. • Arbitrary PhOM/EOE separation • Some competencies are sometimes too much scattered, leading to visibility issues (see for example the case of imaging activities)
External origin (origin = environment)	<p style="text-align: center;"><u>Opportunities :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Reinforce the links between fundamental and applied research by suppressing the references to a distinction between these two approaches. • Exploit the industrial environment in the domain of optics • Develop joint labs between academics and industry • Reinforce the international collaboration network • Today's strong interest in the field of super-resolution microscopy (ref. to latest chemistry Nobel prize) • Creation of competence centers on emerging research themes 	<p style="text-align: center;"><u>Threats:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Lack of strong support in terms of manpower, equipment, and operation to maintain a high level of international attractiveness and influence at the level of Paris Saclay University • International competition and in-process cluster structuring in other countries. • Lack of support for highly risky projects to foster innovation inside Paris Saclay University • Research funding exclusively through collaborative short term projects (no room for long-term projects and waste of time). • Poor valorisation of the PhD degree by some companies

Scientific perspectives and action proposals

Proposed actions	Term			Involved departments
	3 Yrs	6 Yrs	9 Yrs	
<p>Mutualized service for loan and maintenance of rare scientific equipment</p> <p><i>Inventory of technological means related to the main themes of the departments (optical telecommunications, lasers, optronics, integrated photonics, ...) (an updated inventory would allow to mutualize some costly specific equipments against a Paris-Saclay support for maintenance and update of these equipments. This could lead to equipment loans among teams)</i></p>		X	X	EOE PhOM
<p>Calls for projects :</p> <p>- Projects calls for high risks projects</p> <p>- Support and assistance for financing arrangement of high cost equipments</p> <p><i>(such arrangements are usually quite intricate. Paris-Saclay 's participation could help to build such arrangements against a sharing of equipments)</i></p>	X	X	X	EOE
<p>- Financial support for sabbaticals for Paris-Saclay researchers</p> <p><i>(efficient tools such as "délégation", "CRCT", ..., which exist in some institutions could be extended to others)</i></p>	X	X		EOE
<p>Proposals for scientific animations:</p> <p>- Organization of thematic scientific workshops</p> <p><i>(following the example of the CNES scientific days, allowing communications to the outer world by inviting speakers from abroad)</i></p>	X			EOE PhOM
<p>Other actions:</p> <p>- Thematic training on some specific scientific themes</p> <p>- Financial and logistic assistance for the local organization of international conferences (organizing large international conferences in Paris-Saclay area would improve our visibility. But this requires some important means, such as accommodation, conference and exhibition halls, etc.)</p> <p>- Organisation of lifelong training for other Paris-Saclay people (seats reserved for lifelong training in Paris-Saclay member organizations against support for organization)</p>		X	X	
<p>Attractiveness program for foreign master and PhD students in optics.</p> <p>- Both research and training in Paris-Saclay University are undoubtedly</p>	X	X	X	

<p>attractive</p> <ul style="list-style-type: none"> - Relies on both labs and international Master programs which already exist in several places - Both training programs and labs are ready: only grants are missing to attract the students ... 				<p>EOE</p> <p>PhOM</p>
<p>Institute for life science imaging.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Several local teams are at the forefront of research. - The teams in this field are dispersed over the campus and could become much more visible. - A large scale action is possible there. 	<p>X</p>	<p>X</p>		<p>PhOM</p>

Short presentation of the work group #5 of EOE

- Title: "Optronics, optoelectronics, and photonics"
- Facilitator: Philippe Delaye
- Members: Stéphane COLLIN et Anthony MARTINEZ (LPN), Zakaria DJEBBOUR (GeePS), Bernard GEFFROY (LPICM), Laurent VIVIEN et Delphine MARRIS-MORINI (IEF), Fabrice CHARRA (SPEC), Mélanie LEBENTAL (LPQM), Frédéric GRILLOT et Bruno THEDREZ (Telecom ParisTech), Badr-Eddine BENKELFAT et Yann FRIGNAC (Telecom SudParis), Grégory VINCENT (ONERA), Philippe DELAYE (LCF), Pierre CHAVEL (Copil EOE), Fabien BRETENAKER (PhOM Pole # 6)

Short presentation of PhOM Pole # 6

- Title: "Optics"
- Facilitators: Fabien Bretenaker and Emmanuel Beurepaire
- Members of the bureau: Nathalie WESTBROOK (LCF), Isabelle ROBERT-PHILIP (LPN), Robert PANSU (PPSM), Mathieu KOCIAK (LPS), Enric GARCIA-CAUREL (LPICM), Antoine GODARD (ONERA), Fabien BRETENAKER (LAC), Emmanuel BEAUREPAIRE (LOB), Philippe DELAYE (GT 5 EOE)

Description of the themes and interfaces

Belonging to the EOE department, GT #5 deals with the field of "Optronics, optoelectronics, and photonics". More precisely, the work group deals with the ***"research activities related with optics and photonics with a strong relationship with economic exploitation and applications but also strong links with fundamental aspects"*** in the perimeter of Paris-Saclay university. Besides, inside the PhOM department, pole # 6 deals with activities in the field of optics.

Description of the GT5 keywords

GT5 has defined its field based on five main keywords which summarize the main research fields of the labs taking part in the work group. They aim at making communication towards the outer world easier when it comes to the concerned research fields. These 5 **main keywords** and their definitions are :

Optical sensors	Optical devices transforming a physical, chemical or biological signal in an optical signal for its detection
Optical Instrumentation	Developments of optical observation and characterization tools
Detectors and light sources	Components transforming an electrical or optical source in light (used for its classical or quantum properties), or that light in electrical or optical source.
Generation, transport, control, detection and processing of optical signals	Linear or nonlinear devices used to generate, transport, control, detect and process an information (spatial and/or temporal, classical or quantum) carried by optical waves
Conversion of light energy	Optical devices and systems around the photovoltaic effect for the conversion of photons into electrons or heat.

Beyond these definitions of the main axes and fields of research belonging to the perimeter of the work group, GT5 has defined a certain number of detailed keywords allowing to precise, for the sake of internal

communication, the different research axes concerned by these keywords inside Paris-Saclay university. Two types of detailed keywords have been defined.

First, “*specific*” keywords allow to clarify some main keywords:

Optical sensors	<i>LIDAR, biologic sensors, gas sensors, ...</i>
Optical Instrumentation	<i>Microscopy, imaging, polarimetry, spectroscopy, ...</i>
Detectors and light sources	<i>Lasers ; LEDs ; Lightning ; Photodetectors</i>
Generation, transport, control, detection and processing of optical signals	<i>Physical layer of telecommunication networks, modulators, photodetectors, integrated photonics and optoelectronics circuits, modeling and command of dynamic systems</i>
Conversion of light energy	<i>Photovoltaic solar cells ; Thermophotovoltaics</i>

Besides, GT5 has defined some "transverse" keywords, which are shared with other fields and deal with the tools, objects and physical mechanisms used as well by optics as by applications and multidisciplinary research fields.

Signal and image processing

Materials and nanomaterials for optics

Nonlinear optics , maneto-optics, electro-optics,...

Quantum optics

Micro- and nano-fabrication processes for photonics

Nanophotonics, photonics crystals, metamaterials, nano-antennas, plasmonics

Integration of photonics and electronics

UV, Visible, IR, THz

Modeling

Green photonics

Description of the keywords of pole # 6 of PhOM

PhOM pole 6 has defined five **main keywords**, which are detailed below:

Sources and optical phenomena	quantum optics, laser physics and development, nonlinear optics, electronic and optical spectroscopy, luminescent sources, optical components, Terahertz
Information technologies, sensors, metrology	telecommunications, LEDs, OLEDs, microwave photonics, optoelectronics, optical fibers, defense (optronics, sensors), LIDAR, gas sensors, photoacoustic sensors, clocks, frequency combs
Microscopy, imaging, and	electronic and optical microscopy, super-resolution, correlative and multimodal microscopy, microspectroscopy, IR AFM, image processing, bio-sensors, bio-chips,

biophotonics	biomedical, optical methods in biophysics, fluorescent markers.
Energy	Photovoltaic cells, energy conversion, photo-active systems, photo-thermal systems
Material science, components, and nanostructures for optics	Laser materials, nonlinear optics materials, nanophotonics, semiconductors for optics, thin films, optical components (e.g., X-UV), optical component metrology, molecular photonics

Interfaces with other poles and GTs, etc.

In the field of optics and photonics, very strong links exist between the EOE GT5 and the PhOM pole 6. Most labs belonging to GT5 also belong to PhOM pole 6 and a comparison of the above keywords shows a great similarity in main keywords (more than 2/3 of keywords are shared). Based on this very strong link, the two groups have coordinated their efforts, with a shared participation of the facilitators in both work groups and a joint writing of the final document.

A part of the members of the EOE GT5 and the PhOM pole 6 also have strongly established relationships with PhOM pole 5 "Nanophysics", mainly due to shared nanophotonics activities. However, this superposition has not been evaluated as being strong enough to lead to a formal coordination between our work groups and this pole. One must further notice a strong overlap with the PhOM "Extreme Light" pole.

A strong interface also exists with some teams of the PhOM pole 1 "Coherence and quantum correlations".

EOE GT5 and PhOM pole 6 have numerous links with other workgroups belonging to EOE department, such as GT7 "Instrumentation, sensors, and microsystems" and GT8 "Engineering for health, medicine, and life sciences".

Finally, an obvious interface with the STIC department must be mentioned, namely dealing with the axis "**Generation, transport, control, detection, and processing of optical signals**".

Besides, the labs belonging to our GT and pole take part in many collaborative actions already existing in the framework of Paris-Saclay university:

Labex : NanoSaclay, PALM, LaSIPS...

Equipex : Morphoscope2, Attolab, ...

IEED : IPVF (Institut PhotoVoltaire Francilien), VEDECOM (Véhicule Décarboné Communicant et sa Mobilité) ...

LIDEX : OPTO2X,

AXE VALO common to PALM and NanoSaclay

Document de synthèse commun aux GT5 "Optronique, optoélectronique et photonique" (EOE) et Pôle 6 "Optique" (PhOM)

Mots clés principaux des deux groupes de travail.

Les idées communes aux deux groupes de travail sont indiquées en rouge

GT5 Département EOE

Capteurs Optiques	Dispositifs optiques transformant une grandeur physique, chimique ou biologique en grandeur optique pour sa détection
Instrumentation optique	Développement d'outils d'observation et de caractérisation optique
Détecteurs et sources de lumière	Composants transformant une source électrique ou optique en lumière (utilisée pour ses propriétés classiques ou quantiques), ou cette lumière en source électrique ou optique.
Génération, transport, contrôle, détection et traitement de signaux optiques	Dispositifs linéaires ou non-linéaires utilisés pour générer, transporter, contrôler, détecter et traiter une information (spatiale et/ou temporelle, classique ou quantique) transportée par des ondes optiques
Conversion de l'énergie lumineuse	Dispositifs et systèmes optiques autour de l'effet photovoltaïque pour la conversion des photons en électrons ou en chaleur.

Pôle 6 Département PhOM

Sources et phénomènes optiques	optique quantique, physique et développement des lasers, optique non-linéaire, spectroscopies électronique et photonique, sources luminescentes, composants optiques, Terahertz
Technologies de l'information, capteurs, métrologie	télécommunications, LED, OLED, opto-hyper, opto-électronique, fibres optiques, défense (optronique, capteurs, senseurs), Lidar, capteurs de gaz, capteurs photoacoustiques, horloges, peignes de fréquences
Microscopie, imagerie et biophotonique	microscopies électronique et photonique, super résolution, microscopie corrélative ou multimodale, microspectroscopies, AFM-IR, traitement d'image, bio-senseurs, bio-puces, microscopies spécifiques, biomédical, méthodes optiques pour la biophysique, marqueurs fluorescents.
Energie	cellules photovoltaïques, conversion énergie, systèmes photo-actifs, photo-thermique
Matériaux, composants, et nanostructures pour l'optique	matériaux laser, matériaux pour l'optique non-linéaire, nanophotonique, semiconducteurs pour l'optique, couches minces, composants optiques (notamment X-UV), métrologie des composants optiques, photonique moléculaire.

Effectifs concernés dans les différents laboratoires, avec les mots-clés qui les concernent

Les laboratoires communs aux deux groupes de travail sont indiqués en rouge

GT5 Département EOE

Labo	Effectifs GT5 (ETP)	Capteurs optiques	Instrumentation optique	Détecteurs et sources de lumière	Génération, transport, contrôle, détection et traitement de signaux optiques	Conversion de l'énergie lumineuse
LPN	12			X	X	X
GeePS (LGEP)	0,5		X	X		X
LPICM						
IEF		X	X	X	X	X
SPEC (CEA)	2	X	X	X	X	X
LPQM		X	X			
Telecom P-T	5	X	X	X	X	
Telecom Sud Paris	2,5	X	X	X	X	
ONERA	50	X	X	X	X	
LCF	8	X	X	X	X	X

Pôle 6 Département PhOM

Labo	Effectifs Pôle 6 (ETP)	Sources et phénomènes optiques	Technologies de l'information, capteurs, métrologie	Microscopie, imagerie et biophotonique	Energie	Matériaux, composants, et nanostructures pour l'optique
LAC	15	X	X	X	X	X
LCF	9	X	X	X	X	X
LIDYL	6	X				
LLB						
LPN	25	X	X	X	X	X

IEF	19	X	X	X	X	X
LSI	18	X	X	X	X	X
PPSM	6			X		
ICMMO	2		X	X	X	X
SOLEIL	>5	X		X		X
LPS	16,5	X		X		X
LOB	15	X		X		X
LOA	1,5	X		X		
LULI						
LPICM	21		X	X	X	X
LPMC	6			X		X
LPP						
LPQM	8	X	X	X		X
ONERA DMPH	6	X	X	X		X
LEM	1,5	X		X		X
SPEC	3			X	X	X
ISMO	17	X	X	X	X	X
LUMAT	6	X		X		
ONERA DOTA	25	X	X	X		X

Total > 230 ETP

Analyse SWOT :

Dans ces tableaux, les points spécifiques au **GT5 EOE** sont indiqués en **vert**, ceux spécifiques au **Pôle 6 PhOM** en **bleu**, et ceux qui sont **communs** aux deux groupes de travail sont en **rouge**

	Positif	Négatif

Origine interne (organisationnelle)	<p style="text-align: center;"><u>Forces :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Activités de recherche, industrielle et d'enseignement en Optique et Photonique fortes et reconnues mondialement. Paris-Saclay = acteur mondial de l'optique et de la photonique • Infrastructures d'incubation et formation entrepreneuriale bien développée. Grande culture de valorisation • Présence de pôle de compétitivité et d'association de promotion en lien fort avec le domaine de l'optique • Présence du fondamental et de l'appliqué au sein des mêmes équipes. • Expériences aussi bien que théorie • Forte culture de collaboration au sein des opticiens de Paris-Saclay • Fort lien avec l'enseignement (écoles, masters, universités, etc...). • Excellent vivier d'étudiants et de diplômés dans le domaine de l'optique • Existence du CLUPS et du Centre de Photonique Biomédicale, Labex (PALM, NanoSaclay), Equipex (CILEX, TEMPOS, ATTOLAB, Morphoscope2), Lidex (OPT2X) 	<p style="text-align: center;"><u>Faiblesses :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Besoin de moyens (matériels et humains) pour conserver les capacités technologiques au niveau de la concurrence • Mauvaise visibilité des industriels de l'optique chez les étudiants. • Manque de moyen de fabrication pour les composants optiques pour les systèmes optroniques (composants optiques classiques) • Manque de soutien et de réactivité pour réaliser des nouveaux projets souvent peu coûteux mais à haut risque et à fort potentiel • Manque de structures de coordination ou d'animation autour des thèmes de recherches. • Séparation PhOM/EOE arbitraire • Compétences parfois trop dispersées dans certains domaines (imagerie), d'où problème de visibilité
Origine externe (origine = environnement)	<p style="text-align: center;"><u>Opportunités :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Renforcer les liens entre recherches fondamentale et appliquée en supprimant les références à une distinction entre ces deux approches. • Utiliser l'environnement industriel dans le domaine de l'optique • Développer des laboratoires communs avec des industriels • Renforcer le réseau de collaborations internationales • Intérêt actuel pour le domaine de la microscopie de super-résolution (voir par exemple le dernier prix Nobel de Chimie) • Création de pôles de compétences sur des thématiques émergentes 	<p style="text-align: center;"><u>Menaces :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Manque de soutien fort en termes de personnels, d'équipements et de fonctionnement, pour garder une attractivité internationale et un rayonnement à la hauteur de l'Université Paris Saclay • compétition internationale et structuration en cours de réalisation dans certains pays. • Manque de soutien des projets à risques pour garder de l'innovation au sein de l'Université Paris Saclay • Financement de la recherche sur projet quasi-exclusivement (plus de recherche à long terme et perte de temps). • Problème de reconnaissance de la thèse sur le marché du travail.

Perspectives scientifiques et propositions d'actions

Actions proposées	Échéance			Départements impliqués
	3 ans	6 ans	9 ans	
<p>Service mutualisé de prêt et de maintenance de matériel d'usage rare</p> <p><i>Recensement des moyens technologiques sur les grandes thématiques du département (télécoms optiques, lasers, optronique, photonique intégrée, ...) (un recensement mis à jour permettrait une mutualisation de certains équipements spécifiques et coûteux en échange d'un soutien de Paris Saclay à l'entretien et la mise à jour de ces équipements, cela pourrait éventuellement mener à la création d'une bourse d'échange d'équipements)</i></p>		X	X	EOE PhOM
<p>Appels à projets :</p> <p>- Appels à projets pour petites actions d'amorçage particulièrement innovantes</p> <p>- Contribution au montage du financement des gros équipements (avec mécanisme de retour)</p> <p><i>(ces montages sont souvent complexes et multiples la participation de Paris-Saclay pourrait permettre de faciliter ces montages éventuellement en contrepartie d'une mutualisation accrue)</i></p>	X X	X X	X X	EOE
<p>- Financement de séjours sabbatiques pour les chercheurs des établissements de Paris Saclay</p> <p><i>(des outils performants existants dans certains établissements –délégation, CRCT- pourraient être généralisés à tous les établissements)</i></p>	X	X		EOE
<p>Propositions d'animations scientifiques :</p> <p>- Organisation de journées scientifiques thématiques</p> <p>(à l'exemple des journées scientifiques du CNES, cela permet aussi la communication vers l'extérieur par l'invitation d'orateurs étrangers)</p>	X			EOE PhOM
<p>Autres actions:</p> <p>- Formations thématiques autour de certaines thématiques (formation professionnelle)</p> <p>- Aide financière et logistique à l'organisation de conférence internationale au niveau local (organiser une grande conférence internationale itinérante sur le site Paris-Saclay permettrait d'en renforcer la visibilité, mais nécessite des moyens logistiques importants –logement, salle de conférence et d'exposition, lieux de vie-)</p> <p>- Ouverture des formations continues aux autres partenaires de Paris Saclay (réservation de places pour les formations continues des établissements par</p>		X X	X X	EOE

Paris-Saclay pour les ouvrir aux personnels des autres établissements en échange d'un soutien à l'organisation de ces formations)	X	X		
<p>Programme d'attractivité d'étudiants internationaux (niveaux master et thèse) en optique.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Incontestable attractivité de la recherche et de la formation en optique au sein de l'université Paris-Saclay - S'appuie aussi bien sur les laboratoires que sur les programmes de formation du type Master Internationaux déjà présents dans plusieurs écoles et universités. - Les formations et les laboratoires sont prêts : il ne manque que les bourses pour attirer les étudiants... 	X	X	X	<p style="text-align: center;">EOE</p> <p style="text-align: center;">PhOM</p>
<p>Institut d'imagerie pour la biologie.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Plusieurs équipes recensées jouent un rôle de premier plan. - Domaine relativement dispersé qui pourrait être encore plus visible. - Action d'envergure possible. 	X	X		<p style="text-align: center;">PhOM</p>

Présentation succincte du Groupe de travail 5 d'EOE

- Titre: "Optronique, optoélectronique et photonique"
- Animateur: Philippe Delaye
- Membres du groupe de travail: Stéphane COLLIN et Anthony MARTINEZ (LPN), Zakaria DJEBBOUR (GeePS), Bernard GEFROY (LPICM), Laurent VIVIEN et Delphine MARRIS-MORINI (IEF), Fabrice CHARRA (SPEC), Mélanie LEBENTAL (LPQM), Frédéric GRILLOT et Bruno THEDREZ (Telecom ParisTech), Badr-Eddine BENKELFAT et Yann FRIGNAC (Telecom SudParis), Grégory VINCENT (ONERA), Philippe DELAYE (LCF), Pierre CHAVEL (Copil EOE) , Fabien BRETENAKER (Pôle 6 PhOM)

Présentation succincte du Pôle 6 de PhOM

- Titre: "Optique"
- Animateurs: Fabien Bretenaker et Emmanuel Beaurepaire
- Membres du bureau du pôle: Nathalie WESTBROOK (LCF), Isabelle ROBERT-PHILIP (LPN), Robert PANSU (PPSM), Mathieu KOCIAK (LPS), Enric GARCIA-CAUREL (LPICM), Antoine GODARD (ONERA), Fabien BRETENAKER (LAC), Emmanuel BEAUREPAIRE (LOB), Philippe DELAYE (GT 5 EOE)

Descriptif des axes thématiques et des interfaces

Au sein du département EOE, le groupe de travail 5 s'intéresse aux thématiques "Optronique, optoélectronique et photonique". En pratique, le groupe de travail s'intéresse dans le périmètre actuel et futur de l'université Paris-Saclay aux **"activités de recherches en lien avec l'optique et la photonique avec une relation forte avec la valorisation et les applications et des contacts forts avec les aspects plus fondamentaux"**. De son côté, dans le département PhOM, le pôle 6 couvre les thématiques de l'optique.

Descriptif des mots-clés du GT5

Le GT5 a défini son domaine d'activités autour de 5 mots-clés principaux qui résument les principaux thèmes de recherches des laboratoires participant au groupe de travail. Ils permettront aussi une communication "externe" plus simple des thématiques de recherche en lien avec le GT5. Ces 5 **mots-clés principaux** et leurs définitions sont :

Capteurs Optiques	Dispositifs optiques transformant une grandeur physique, chimique ou biologique en grandeur optique pour sa détection
Instrumentation optique	Développement d'outils d'observation et de caractérisation optique
Détecteurs et sources de lumière	Composants transformant une source électrique ou optique en lumière (utilisée pour ses propriétés classiques ou quantiques), ou cette lumière en source électrique ou optique.
Génération, transport, contrôle, détection et traitement de signaux optiques	Dispositifs linéaires ou non-linéaires utilisés pour générer, transporter, contrôler, détecter et traiter une information (spatiale et/ou temporelle, classique ou quantique) transportée par des ondes optiques
Conversion de l'énergie lumineuse	Dispositifs et systèmes optiques autour de l'effet photovoltaïque pour la conversion des photons en électrons ou en chaleur.

Outre ces définitions des principaux axes et thématiques de recherches dans le périmètre du groupe de travail, le GT5 a défini un certain nombre de mots-clés détaillés permettant de préciser, pour son travail de communication "interne", les différents axes de recherches concernés par ces mots-clés principaux dans le cadre de l'Université Paris-Saclay. Deux types de mots clés détaillés ont été définis.

D'une part des mots clés "*spécifiques*" permettant de préciser certains des mots clés principaux et essentiellement rattachés à ces derniers :

Capteurs Optiques	<i>LIDAR, capteurs biologiques, capteurs de gaz, ...</i>
Instrumentation optique	<i>Microscopie, imagerie, polarimétrie, spectroscopie, ...</i>
Détecteurs et sources de lumière	<i>Lasers ; Diodes électro-luminescentes ; Éclairage ; Photodétecteurs</i>
Génération, transport, contrôle, détection et traitement de signaux optiques	<i>Couche physique des réseaux de télécommunications optiques ; Modulateurs ; Photodétecteurs ; Circuits photoniques et optoélectronique intégrée ; Modélisation et commande des systèmes dynamiques</i>
Conversion de l'énergie lumineuse	<i>Cellules solaires photovoltaïques ; Thermophotovoltaïque</i>

D'autre part, des mots-clés "**Transversaux**", communs à plusieurs thématiques et s'intéressant aussi bien aux outils, mécanismes physiques et objets utilisés par l'optique qu'aux applications et enjeux transverses à tous ces axes de recherches.

Traitement du signal et des images

Matériaux et nanomatériaux pour l'optique

Optique non linéaire, magnéto-optique, électro-optique, ...

Optique quantique ;

Procédés de micro/nano fabrication pour la photonique

Nanophotonique, cristaux photoniques, métamatériaux, nanoantennes, plasmonique

Intégration photonique / électronique

UV, Visible, IR, THz

Modélisation

"Green photonics"

[Descriptif des mots-clés du pôle 6](#)

Le pôle 6 de PhOM a défini 5 **mots-clés principaux**, dont le contenu est détaillé dans le tableau ci-dessous :

Sources et phénomènes optiques	<i>optique quantique, physique et développement des lasers, optique non-linéaire, spectroscopies électronique et photonique, sources lumineuses, composants optiques, Terahertz</i>
Technologies de l'information capteurs, métrologie	<i>télécommunications, LED, OLED, opto-hyper, opto-électronique, fibres optiques, défense (optronique, capteurs, senseurs), Lidar, capteurs de gaz, capteurs photoacoustiques, horloges, peignes de fréquences</i>
Microscopie, imagerie et biophotonique	<i>microscopies électronique et photonique, super résolution, microscopie corrélative ou multimodale, microspectroscopies, AFM-IR, traitement d'image, bio-senseurs, bio-puces, microscopies spécifiques, biomédical, méthodes optiques pour la biophysique, marqueurs fluorescents</i>
Energie	<i>cellules photovoltaïques, conversion énergie, systèmes photo-actifs, photo-thermique</i>
Matériaux, composants, et nanostructures pour l'optique	<i>matériaux laser, matériaux pour l'optique non-linéaire, nanophotonique, semiconducteurs pour l'optique, couches minces, composants optiques (notamment X-UV), métrologie des composants optiques, photonique moléculaire</i>

Interfaces avec les autres pôles et GT, etc.

Un lien naturel très fort existe au niveau de l'optique et de la photonique entre le Groupe de Travail 5 d'EOE et le Pôle 6 "Optique" du département PhOM. Une majorité des laboratoires représentés dans le GT5 sont aussi impliqués dans le pôle 6 de PhOM et une comparaison des mots-clés définis par le GT5 avec ceux définis par le Pôle 6 montre une similitude dans les mots-clés importante (environ les 2/3 des mots-clés se retrouvent de manière quasiment identique des deux côtés). Compte tenu de ce lien très fort, une coordination a eu lieu entre les deux groupes de travail avec une participation croisée des animateurs aux réunions des deux groupes de travail et une collaboration pour la rédaction du rapport final.

Une partie des participants au GT5 d'EOE et au Pôle 6 de PhOM a aussi un lien fort avec le Pôle 5 "Nanophysique" du département PhOM essentiellement dans sa composante nanophotonique. Cette superposition moins forte que dans le cas du Pôle "Optique", n'a pour l'instant pas semblé suffisante pour donner lieu à une concertation formelle entre nos Groupes de Travail et ce Pôle. A noter également un assez fort recouvrement avec le Pôle "Lumière Extrême" de PhOM.

Une interface existe aussi pour certaines équipes avec le Pôles 1 "Cohérence et corrélations quantique".

Le GT5 d'EOE et le pôle 6 de PhOM ont des liens nombreux avec d'autres groupes de travail du département EOE (GT7 "Instrumentation capteurs et microsystèmes" et GT8 "Ingénierie pour la médecine, la santé, interface avec la biologie").

Enfin une interface évidente avec le département STIC porte sur la thématique "**Génération, transport, contrôle, détection et traitement de signaux optiques**" pour laquelle une interaction interdépartement riche peut être envisagée.

Par ailleurs, les laboratoires membres de nos groupe de travail et pôle participent à de nombreuses initiatives existantes dans le cadre de Paris-Saclay:

Labex : NanoSaclay, PALM, LaSIPS...

Equipex : Morphoscope2, Attolab, ...

IEED : IPVF (Institut PhotoVoltaire Francilien), VEDECOM (Véhicule Décarboné Communicant et sa Mobilité) ...

LIDEX : OPTO2X,

AXE VALO commun à PALM et NanoSaclay

Annexe : **Détail des axes définis par le GT 5 du département EOE**

Axe "Capteurs Optiques":

Le groupe de travail a défini cet axe thématique, comme les recherches sur les "**Dispositifs optiques transformant une grandeur physique, chimique ou biologique en grandeur optique pour sa détection**", avec comme mots clés secondaires spécifiques: *LIDAR, capteurs biologiques, capteurs de gaz*. Les laboratoires (IEF, SPEC, LPQM, TPT, TSP, ONERA, LCF) impliqués sur cette thématique travaille essentiellement sur la réalisation de composants pouvant être intégrés dans les chaînes de traitement des capteurs optiques, que cela soit des sources lasers, des transducteurs ou des détecteurs (avec donc un recouvrement certain avec les axes thématiques "**Détecteurs et sources de lumière**", "**Génération, transport, contrôle, détection et traitement de signaux optiques**"). Il s'agit par exemple des composants non linéaires basés sur les nanostructures hybrides (SPEC) ou les fibres conventionnelles (TPT) ou microstructurées et effilées (LCF) qui peuvent être intégrés dans des capteurs comme sources ou transducteurs. Mais aussi des systèmes d'interrogation optique développés pour les télécoms (TPT, TSP) pouvant aussi s'appliquer sur des capteurs biologiques, basés sur des cavités intégrées (LPQM, TSP). Enfin ce sont toutes les sources spécifiques développées pour les capteurs, tels que les LIDAR (ONERA) ou les convertisseurs de longueurs d'onde (LCF).

Cet axe thématique relève de l'enjeu sociétal "*Santé et bien-être*" (SNR, H2020) et comme tous les autres axes de notre groupe de travail de l'enjeu de la connaissance "*Défi de la connaissance*" (ANR, H2020).

Cet axe thématique se retrouve dans de nombreux autres groupes de travail du département EOE (GT7 "Instrumentation capteurs et microsystèmes" et GT8 "Ingénierie pour la médecine, la santé, interface avec la biologie"), mais aussi des pôles du département PhOM (pôle 6 "Optique"). Les capteurs optiques sont ainsi un des types de capteurs concernés par les discussions du GT7 qui s'intéresse, par ailleurs, beaucoup plus à l'ensemble de la chaîne de traitement du capteur depuis le transducteur jusqu'au système de traitement du signal. Pour ce qui est du GT5, cette thématique est abordée par les laboratoires impliqués plutôt au niveau des composants pour les capteurs, avec des études sur des dispositifs spécifiques pouvant être intégrés dans les capteurs optiques. La seule exception pouvant être la thématique des capteurs optroniques, mais du fait que ces derniers sont essentiellement des systèmes d'imagerie, ils relèvent plutôt de l'axe "**Génération, transport, contrôle, détection et traitement de signaux optiques**" de notre GT. Pour ce qui est de la thématique des capteurs pour la biophotonique et l'imagerie médicale, elle n'est finalement pas ou peu abordée dans notre groupe de travail (hormis pour le développement de certains composants) les communautés relevant de ces domaines émergeant essentiellement au GT8 de EOE et au pôle 6 de PhOM.

Axe "Instrumentation Optique":

Le groupe de travail a défini cet axe comme s'intéressant au "**Développement d'outils d'observation et de caractérisation optique**" avec comme mots-clés secondaires spécifiques: *Microscopie, imagerie, polarimétrie, spectroscopie* comme liste non exhaustive d'exemples d'instrumentations développées. La plupart des laboratoires participant au groupe de travail développent leur propre instrumentation pour leurs recherches, les instruments développés pouvant ensuite être disséminés dans d'autres laboratoires ou industrialisés. Ainsi le GeePS développe des instruments de caractérisation des couches minces, tandis que le LPQM ou le SPEC développe des nouvelles techniques de microscopies non-linéaires ou à sonde locale. L'IEF, TPT ou TSP possèdent et développent, quant à eux, des plateformes de caractérisation de composants optoélectroniques pour les télécoms optiques, mais travaillent aussi à l'application des techniques développées à d'autres champs

de mesure tels que l'imagerie biomédicale ou l'identification biométrique. Enfin l'ONERA et le LCF développent de l'instrumentation optique et optronique prenant en compte dès le niveau de la conception les apports du traitement des images et du signal. Le LCF participe aussi au développement de composants et de systèmes optiques innovants pour le rayonnement X-UV et ses applications au spatial et à la biologie.

Cet axe thématique comme celui des capteurs optiques se rapproche des activités traitées dans les GT7 et 8 du département EOE, avec aussi un lien de plus en plus fort avec le département STIC, par les apports du traitement du signal de plus en plus tôt dans la conception de l'instrumentation optronique.

L'axe "Instrumentation optique" est en lien avec un certain nombre de structures actuellement présentes sur Paris Saclay, par exemple les Equipex Morphoscope2 et Attolab, ou le LIDEX OPTO2X.

Axe "DéTECTEURS et sources de lumière":

Cet axe s'intéresse au "**Composants transformant une source électrique ou optique en lumière (utilisée pour ses propriétés classiques ou quantiques), ou cette lumière en source électrique ou optique**" avec les mots clés secondaires qui lui sont attachés *Lasers ; Diodes électro-luminescentes ; Éclairage ; Photodétecteurs*, en lien, bien entendu, avec les autres axes du groupe de travail, les sources et détecteurs pouvant être utilisés dans les capteurs ou pour la transmission de l'information. La plupart des laboratoires du GT5 sont concernés par cette thématique. Cet thème va concerner le développement par le LPN et l'IEF de sources lasers à semi-conducteur pour les communications optiques ou des sources à émission par la surface pour la métrologie sur des gammes de longueurs d'onde allant jusqu'au THz. Ce type de source est aussi étudié par TPT ou TSP, afin d'améliorer leurs performances de bruit et leur coût en vue de leur intégration dans les réseaux de télécommunications. Une forte part de l'activité sur les sources concerne les sources lasers solides pompées par diode étudiée par le LCF ou l'ONERA sur lesquels la montée en puissance et en énergie est un objectif constant. La réduction de la durée des impulsions ou l'agilité en longueur d'onde en utilisant des mécanismes optiques non-linéaires dans les fibres y sont aussi étudiés. Concernant les détecteurs, le LPN et l'ONERA sont concernés par les nouvelles architectures de détecteurs infrarouges utilisant le confinement électromagnétique pour augmenter les performances de bruit. Par ailleurs, la détection de la lumière pour les technologies photovoltaïques ou la détection des photons UV intéressent le GeePS.

Cet axe est en lien avec le GT6 "énergie électrique: systèmes et composants" pour la partie photovoltaïque, et avec les GT7 et 8, puisque les sources lasers sont des composants importants des capteurs optiques et des systèmes d'imagerie pour la biologie et la médecine. Toutefois les laboratoires impliqués dans cet axe ont surtout un lien fort avec le département PhOM par ses pôles 4 "lumière extrême" pour les lasers à impulsions ultra-courtes ultra-puissantes, et 6 "optique" pour les études de la physique des lasers et des sources pour les communications quantiques qui commencent à sortir des laboratoires de physique fondamentale pour aller vers le développement de composants plus proches des applications.

Les équipes concernées par cet axe thématique participent également aux Labex NanoSaclay ou PALM. De plus des industriels actifs dans ces domaines et qui collaborent avec les laboratoires du GT5 sont présents dans l'environnement immédiat de Paris Saclay, tels que SOFRADIR pour les détecteurs infrarouges ou Amplitude Technologies pour les lasers.

Axe "Génération, transport, contrôle, détection et traitement de signaux optiques":

Cet axe thématique concerne les activités de recherche sur les "**Dispositifs linéaires ou non-linéaires utilisés pour générer, transporter, contrôler, détecter et traiter une information (spatiale et/ou temporelle, classique**

ou quantique) transportée par des ondes optiques". Il est associé aux mots clés secondaires *Couche physique des réseaux de télécommunications optiques ; Modulateurs ; Photodétecteurs ; Circuits photoniques et optoélectronique intégrée ; Modélisation et commande des systèmes dynamiques.*

Quasiment tous les laboratoires impliqués dans le GT5 sont concernés par cette thématique, qui concerne aussi bien les chaînes de traitement optroniques développées à l'ONERA ou au LCF, que les activités, portées par TPT, TSP ou le LCF, sur les nouvelles architectures des systèmes pour la transmission optique des signaux. Les composants optiques pour la modulation et le transport développés en matériau III-V (LPN, Collaboration III-V Lab – TPT) ou dans la technologie photonique silicium (Nanodesign), les sources lasers basées sur l'intégration hétérogène de composant III-V sur silicium (Nanodesign) ou les détecteurs infrarouge, étudiés par le LPN ou l'IEF, qu'ils soient utilisés dans les systèmes optroniques ou dans les télécoms optiques appartiennent à cet axe thématique. Cette thématique est aussi abordée au SPEC, à l'IEF, au LPN, à TPT, à TSP ou au LCF du point de vue de l'optique et des matériaux non-linéaires qui apportent de nouvelles techniques pour le traitement tout optique du signal, avec des applications pour la commutation optique à faible nombre de photons ou le traitement parallèle pour multiplexage spatial pour les télécommunications. Enfin cet axe thématique s'intéresse au traitement quantique de l'information et aux communications quantiques (IEF, LPN, LCF, TPT) avec un certain nombre d'applications qui commencent à quitter les laboratoires de physique fondamentale pour aller vers des systèmes destinés à être intégrés dans les réseaux de communications.

Cet axe thématique relève de l'enjeu sociétal "*Société de l'information et de la communication*" du SNR et comme les autres axes de notre groupe de travail de l'enjeu de la connaissance "*Défi de la connaissance*" (ANR, H2020).

Cet axe thématique aura un lien fort avec le Pole 6 "Optique" du département PhOM, mais aussi une interface évidente avec le département STIC pour laquelle une interaction inter-département peut être envisagées.

Le lien de cet axe avec le labex NanoSaclay et le LIDEX NanoDesign est fort pour tous les composants nanophotoniques développés pour les circuits photoniques intégrés. On peut aussi imaginer une interaction avec l'IEED VEDECOM (véhicule Décarboné communicant et sa mobilité) pour les systèmes de communications ou d'affichage dans les véhicules du futur. Ici encore des industriels à la pointe dans les domaines de l'optronique (SAGEM, Thales) ou des communications optiques (Nokia-Alcatel-Lucent) sont présents dans un environnement proche et collaborent avec les laboratoires impliqués dans le GT5.

Axe "Conversion de l'énergie lumineuse":

Les laboratoires impliqués dans cet axe thématique sont concernés par les ***Dispositifs et systèmes optiques autour de l'effet photovoltaïque pour la conversion des photons en électrons ou en chaleur.*** Cela correspond pour notre groupe de travail essentiellement aux activités de recherches définies par les mots clés secondaires *Cellules solaires photovoltaïques ; Thermophotovoltaïque.* Les labos concernés par cet axe sont moins nombreux et relèvent essentiellement du GT6 "Énergie électrique: Systèmes et composants". Un des axes essentiels étudié par les laboratoires du GT5 impliqués dans cet axe thématique (LPN, IEF, LCF) concerne le confinement de la lumière par différentes techniques issues de la nanophotonique (plasmonique, microcavités, ...) pour augmenter l'efficacité des cellules photovoltaïques. Une autre part de l'activité concerne les recherches sur les matériaux pour le photovoltaïque (SPEC) et des techniques de caractérisation de leurs propriétés (GeePS).

En dehors du GT6, les liens sur cette axe sont encore avec le pôle 6 "optique" de PHOM. La structuration locale intervient dans le cadre du Labex NanoSaclay, mais surtout au niveau de l'IEED IPVF (Institut Photovoltaïque Francilien)

Implication des laboratoires du GT5 sur les différents axes	LPN	GeePS (LGEP)	LPICM	IEF	SPEC (CEA/IRAMIS)	LPQM	Telecom PT	Telecom Sud Paris	ONERA	LCF
Capteurs Optiques				X	X	X	X	X	X	X
Instrumentation optique		X		X	X	X	X	X	X	X
Détecteurs et sources de lumière	X	X		X	X		X	X	X	X
Génération, transport, contrôle, détection et traitement de signaux optiques	X			X	X		X	X	X	X
Conversion de l'énergie lumineuse	X	X		X	X					X

Positionnement de Paris Saclay sur les axes thématiques du GT5

Dans le domaine d'activité du GT5, l'Université Paris-Saclay possède des forces qui la placent au meilleur niveau européen voire mondial. Les activités de recherche et d'enseignement (IOGS, Université Paris Sud, ENS Cachan, Institut Mines-Télécom, ...) mais aussi industrielles (Sagem, Thales, Alcatel-Lucent, Amplitude Technologies, SOFRADIR, ...) en Optique et Photonique y sont très fortes et reconnues mondialement. Ces activités de recherche sont en lien avec des formations entrepreneuriales et des infrastructures d'incubation qui se sont énormément développées au cours des dernières années et dont le travail commence maintenant à porter ses fruits et à être bien reconnu. Enfin la présence de pôle de compétitivité (Systematic) et d'association de promotion (Optics Valley) en lien fort avec le domaine de l'optique permet de faciliter l'organisation et les rencontres au sein de la communauté.

Au sein des axes thématiques, le groupe de travail a identifié un certain nombre de domaines de recherche sur lesquelles l'Université Paris Saclay est particulièrement forte et qui présentent des perspectives de développement importantes qui nécessiteront d'être accompagnées pour ne pas manquer les opportunités

qui commencent à se présenter. Ces domaines de recherches sont ceux de l'**optronique**, des **lasers**, des **télécoms optiques**, de l'**optique pour le photovoltaïque**, de la **photonique intégrée** et de l'**optique quantique**.

Dans le domaine de l'**optronique** la principale force est la présence sur Paris Saclay de la chaîne complète des acteurs du domaine depuis les sources et émetteurs infrarouge jusqu'au détecteurs en passant par la conception optique et la réalisation des composants et cela aussi bien au niveau recherche qu'au niveau des industriels qui sont en pointe au niveau des détecteurs infrarouges. De plus, il y a une forte synergie entre les différents acteurs de la chaîne qui ont une grande habitude de travailler en collaboration. Les axes de recherche à développer dans un futur proche hormis les nouvelles architectures de détecteurs pour les différentes bandes spectrales infra-rouge, concernent la co-conception des capteurs optronique et des chaînes de traitement. La prise en compte des avancées apportées par le traitement du signal et des images, au plus tôt lors de la définition des capteurs permettra d'augmenter les performances de ces derniers et d'en réduire les coûts. Une opportunité se trouve aussi au niveau des véhicules du futur qui intégreront différents types de systèmes optiques et optroniques pour leur éclairage, l'affichage, mais aussi au niveau des communications optiques à l'intérieur du véhicule.

Pour les **lasers**, Paris Saclay regroupe des laboratoires en pointe sur le développement des lasers solides pompés par diode et des lasers semi-conducteurs et organiques. Les activités de fabrication de lasers pour les télécoms basés sur les matériaux III-V profitent des moyens technologiques de fabrication présents sur Paris-Saclay. Les laboratoires sont aussi à la pointe sur les structures VCSEL ou pour les lasers à cascade quantique pour l'infrarouge et jusqu'au THz. Les activités de développement de lasers extrêmes, alliant durée d'impulsion ultracourte et puissance crête importante, sont aussi bien implantées sur Paris Saclay et bénéficient de toutes les différentes technologies étudiées dans les laboratoires de Paris Saclay. Les perspectives sur les développements laser se situent au niveau de la réduction de la durée des impulsions vers les durées attosecondes dont l'utilisation est encore au niveau des laboratoires de physique fondamentales, mais pour lesquels on peut imaginer une démocratisation au fur et à mesure que leur utilisation se simplifiera et que ces sources deviendront plus compactes. Par ailleurs, ces sources extrêmes nécessiteront le développement de nouveaux moyens de caractérisation de ces sources et les chaînes de capteurs qui leur seront associés pour leur utilisation dans les applications.

Paris Saclay profite dans le domaine des **télécoms optiques** de la présence dans son environnement d'acteurs académiques et industriels majeurs au niveau mondial. Les compétences présentes sur le site concernent tous les aspects de la chaîne de transmission depuis les composants jusqu'au traitement du signal et les acteurs de Paris Saclay sont à la pointe sur les nouvelles technologies de codage telles que le multiplexage spatial, actuellement étudiées pour augmenter les capacités de transmission et réduire leur coût énergétique. Les perspectives se situent au niveau du développement de nouveaux dispositifs non-linéaires pour le traitement optique de l'information, mais aussi vers de nouvelles applications de la transmission optique qui s'appliqueront à des distances de plus en plus courtes avec par exemple la mise en place de systèmes photoniques à l'intérieur même des supercalculateurs.

Les activités dans le domaine de l'**optique pour le photovoltaïque** se concentrent essentiellement sur le développement de nouvelles technologies pour le confinement et l'exaltation du champ optique utilisant la plasmonique, les nano-objets, les méta-matériaux ou les matériaux hybrides. Grâce à ces nouvelles architectures la réduction des dimensions des composants permettra de réduire la quantité de matériau actif utilisée en vue d'une gestion durable des ressources en matières premières utilisées dans les cellules photovoltaïques.

La **photonique intégrée** est une des forces de Paris Saclay depuis déjà longtemps, deux des six centrales de technologie nationales du réseau RENATECH se trouve sur le site de Paris Saclay et sont de plus

spécialisées sur les technologies photoniques. Leur intégration au sein du même laboratoire le C2N qui sera créé prochainement devrait permettre de renforcer encore leurs activités et leur reconnaissance. Paris Saclay est ainsi un acteur majeur au niveau mondial pour la photonique silicium et pour les composants III-V, aussi bien sur les structures passives qu'actives. Les moyens technologiques vont de la conception, à la réalisation et à la caractérisation des structures fabriquées. Au delà des filières silicium ou III-V, une des force de Paris Saclay dans le domaine de la photonique intégrées concerne l'intégration hybride de composés aussi variés que les III-V sur silicium, le graphène ou les nano-objets sur différents substrat, mais aussi l'intégration de polymères ou d'oxydes sur ces substrats. L'accès à différentes filières matériaux et technologiques pour l'optique intégrée et l'intégration hybride sur le même site sera essentielle pour les perspectives de ce domaine de recherche en permettant le développement de nouvelles fonctionnalités optiques basées sur ces structures, qui pourront être appliquées à d'autres domaines tels que le photovoltaïque ou l'information quantique.

Dans le domaine de l'**optique quantique**, les laboratoires de physique fondamentale de l'université Paris Saclay sont à la pointe et leurs compétences reconnues mondialement. Ce domaine de recherche devient mûr et les applications commencent à sortir de ces laboratoires. Le développement de ces applications nécessitera la conception et la réalisation de composants optiques dédiés qui commencent à être étudiés. Par ses nombreuses compétences en optique non-linéaire, traitement du signal et technologie d'optique intégrée, l'université Paris Saclay doit saisir cette opportunité et appuyer les initiatives qui commencent à être prises pour donner une base technologique aux propositions des laboratoires d'optique quantique.

D'une manière générale si on prend l'exemple de ce dernier domaine, l'Université Paris Saclay doit permettre de renforcer les liens entre recherche fondamentale et appliquée et pour cela il faudra supprimer les références à une distinction entre ces deux approches. Tous les laboratoires impliqués dans le domaine de l'optique et de la photonique font aussi bien de la recherche fondamentale et qu'appliquée, sans faire de réelle distinction entre ces deux approches. Cette particularité doit être conservée et ne pas être recréée de manière artificielle par un découpage trop strict entre des départements trop hermétiques.

Proposition par le GT5 d'actions à réaliser par Paris Saclay

Compte tenu du fait que, selon les informations à notre disposition, les budgets d'intervention attendus vont rester relativement limités si on les ramène à l'échelle des futurs départements et donc des périmètres à l'échelle des groupes de travail, nous sommes partis sur des propositions d'actions qui resteront relativement modestes, même si des besoins spécifiques de financement existent dans tous les domaines de recherche identifiés comme faisant la force de Paris Saclay (sans compter les nombreux axes de recherche plus spécifiques où certains des laboratoires de Paris Saclay sont reconnus au niveau européen ou mondial). Ces propositions d'actions viseront essentiellement à essayer d'organiser encore un peu plus la communauté de l'optique et de la photonique.

Une constatation qui est apparue lors des discussions dans le cadre du groupe de travail est que compte tenu de la diversité des partenaires intervenant dans l'Université Paris Saclay, un certain nombre d'actions qui fonctionnent très bien chez certains partenaires sont complètement inconnues chez d'autres partenaires. L'esprit de ces propositions d'actions est d'essayer de faire diffuser auprès des différents partenaires ce qui marche bien chez les autres partenaires et d'inciter à uniformiser un peu les actions permettant à la communauté scientifique de travailler de manière optimale.

L'environnement dans le domaine de l'optique et de la photonique se caractérise par la présence de moyens technologiques importants, au niveau de la conception, de la fabrication et de la caractérisation des structures pour l'optique intégrée, de la caractérisation des lignes de transmission et des composants pour les télécoms optiques, de la fabrication de lasers que ce soit des puces lasers semi-conducteurs ou des lasers solides pompés par diode, ou encore pour les systèmes optroniques. Une première action pourrait donc être une action de **développement d'outils de recensement des moyens technologiques sur ces grandes thématiques du département**. Ce recensement mis à jour régulièrement permettrait de faciliter la mutualisation de certains équipements spécifiques en échange par exemple d'aides au financement de leur entretien ou de leur mise à jour qui sont souvent coûteux. Ouverte à des équipements éventuellement plus simples pouvant être partiellement disponibles dans les laboratoires, ce recensement pourrait éventuellement mener à la création d'une bourse d'échange d'équipement, le département pouvant prendre à sa charge une partie des frais liés à des échanges ponctuels (assurance, entretien, ...). Cette action pourrait être étendue au laboratoire d'optique dépendant du département PhOM. Quoique d'apparence simple, ce type d'action correspond plutôt à une action à moyen terme, qui devra probablement attendre qu'une majorité des laboratoires amenés à s'implanter sur le plateau soient arrivés. Ce délai pourrait être mis à profit pour préparer des outils de gestion de cette plateforme.

Du fait des structures de financements actuels (ANR, Europe) avec des projets souvent très collaboratifs et d'importance, le financement des projets très risqués et très innovants mais souvent à faible demande financière (typiquement une dizaine de milliers d'euros) deviennent très difficile à financer. Ces projets, qui servent par exemple à réaliser une première expérience pour démontrer la viabilité d'un nouveau concept, ne trouvent pas vraiment leurs places dans les instruments de financement actuels. Souvent ces projets s'adossent à des recherches existantes et correspondent à des besoins de compléments d'équipement spécifiques afin de réaliser de nouvelles expériences sur une base d'équipements existants. Un des rôles du département pourrait être de réaliser de tels **appels d'offres pour des projets à hauts risques** avec faible demande de financement. À l'inverse, le montage de financement des gros équipements très coûteux, avec des sources de financement partielles provenant la plupart du temps de diverses origines peut être complexe. Cela multiplie les dossiers de demandes et laisse le projet à la merci de l'échec d'une de ces demandes même minoritaire. Un des rôles du département pourrait donc être **un soutien et une aide au montage du financement de ces gros équipements**, l'appui de Paris Saclay dans le dépôt de la demande pourrait être de plusieurs ordres: aide logistique pour la rédaction du dépôt des dossiers, soutien de la demande auprès des organismes financeurs, ou éventuellement complément de financement en cas de défaillance ou d'échec d'une des demandes de co-financement. Ce soutien pourrait éventuellement avoir une contrepartie dans la mutualisation accrue de ces équipements avec les autres acteurs de Paris Saclay. Ce type d'action pourrait se mettre en place assez rapidement.

Les échanges de chercheurs aussi bien dans le sens partant que rentrant participent à la renommée des universités. Un rôle du département ou plus généralement de l'Université serait de faciliter ces **échanges de chercheurs, par exemple pour le financement d'année sabbatique pour les chercheurs des établissements de Paris Saclay**. Des outils performants existent dans certains établissements de Paris Saclay (délégation pour le CNRS, CRCT pour l'université Paris-Sud) pour effectuer ces séjours à l'étranger pour les chercheurs, mais les discussions dans le cadre du groupe de travail ont montré que ces outils n'existaient pas forcément dans d'autres établissements. Une réflexion pourrait être menée rapidement pour recenser ces outils et les uniformiser à tous les établissements au niveau de Paris-Saclay. Cela permettrait à tous les chercheurs de Paris Saclay d'avoir la possibilité de réaliser des séjours à l'étranger et ainsi aider à faire connaître Paris Saclay dans ces pays.

L'**organisation de journées scientifiques thématiques** est un outil toujours efficace de communication interne mais aussi vers l'extérieur. L'invitation de personnalités scientifiques étrangères lors de ces journées scientifiques permet de faire connaître la structure Paris Saclay auprès de ces orateurs et par ricochet auprès de leurs collègues dans leurs propres institutions. Ces actions de communications sont aussi utiles en interne pour favoriser les contacts entre membres des communautés scientifiques appartenant à des établissements variés.

D'autres actions diverses pourraient être réalisées dans le cadre de Paris Saclay. Des **formations thématiques autour de certaines thématiques** de recherches pourraient répondre à des demandes de chercheurs qui pourraient trouver des compétences dans d'autres établissements. Dans le même ordre d'idée, Paris Saclay pourrait aider à l'**ouverture des formations continues aux autres partenaires de Paris Saclay**. Ainsi Paris Saclay pourrait réserver des places dans les programmes de formations continues de ses établissements pour les ouvrir aux personnels de tous les établissements de Paris Saclay. Cette ouverture pourrait se faire en échange d'un soutien à l'organisation de ces formations. L'organisation de grande conférence internationale sur le site de Paris Saclay pourrait faire beaucoup pour asseoir la visibilité de l'université, mais nécessite des moyens logistiques importants en terme de logement, de salle de conférence et d'exposition, mais aussi de lieux de vie et de transport. Par la mutualisation des moyens déjà à disposition, Paris-Saclay pourrait donner une **aide financière et logistique à l'organisation de conférence internationale au niveau local**.

Autres actions souhaitées au niveau de Paris-Saclay

L'évolution lente mais constante du réseau de transport en commun sur le plateau de Saclay (amélioration des cadences, transport en site propres, ...) devra continuer et s'accélérer pour améliorer l'attractivité de l'Université Paris Saclay et les contacts entre les laboratoires du plateau. L'effort devra aller dans un sens d'augmentation des cadences aux heures creuses, le développement de lignes spécifiques au plateau, l'amélioration des liens avec la vallée (RER, université Paris Sud)

Conclusions

Le domaine de l'optique et de la photonique est une des forces de l'Université Paris Saclay aussi bien au niveau de la recherche que de l'enseignement. Il souffre toutefois d'une séparation entre plusieurs départements ce qui limite en interne sa visibilité et sa reconnaissance comme communauté scientifique unie, même si les membres de la communauté optique et photonique savent aller au delà de cette séparation artificielle.

Un travail de coordination entre le GT5 et le Pôle 6 "Optique" de PhOM a eu lieu pour la préparation de ce rapport, sans toutefois que le travail de collaboration n'ait pu aller assez loin essentiellement par manque de temps.

On peut donc souhaiter que, si les groupes de travail sont amenés à être pérennisés sous une forme ou sous une autre, cette collaboration continue et même soit amplifiée sous la forme d'une groupe de travail réellement commun (avec sans doute une nouvelle organisation à définir) entre EOE et PhOM.

C- Annexes

Elles incluent les informations suivantes :

* Membres du groupe de travail

Tous les laboratoires de l'université Paris-Saclay concernés par les thématiques du GT5, ont au moins un représentant dans le groupe de travail.

Laboratoire	Représentants	Email
LPN	Stéphane Collin	Stephane.Collin@lpn.cnrs.fr
	Anthony Martinez	anthony.martinez@lpn.cnrs.fr
GeePs (LGEP)	Zakaria Djebbour	Zakaria.djebbour@lgep.supelec.fr
LPICM	Bernard Geffroy	bernard.geffroy@polytechnique.edu
IEF	Laurent Vivien	laurent.vivien@u-psud.fr
	Delphine Marris Morini	delphine.morini@u-psud.fr
SPEC (CEA/IRAMIS)	Fabrice Charra	fabrice.charra@cea.fr
LPQM	Mélanie Lebental	lebental@lpqm.ens-cachan.fr
Telecom PT	Frédéric Grillot	frederic.grillot@telecom-paristech.fr
	Bruno Thedrez	bruno.thedrez@telecom-paristech.fr
Telecom Sud Paris	Badr-Eddine Benkelfat	badr-eddine.benkelfat@telecom-sudparis.eu
	Yann Frignac	yann.frignac@telecom-sudparis.eu
ONERA	Gregory Vincent	gregory.vincent@onera.fr
LCF	Philippe Delaye	philippe.delaye@institutoptique.fr
COPIE EOE	Pierre Chavel	pierre.chavel@institutoptique.fr
Pole 6 PhOM	Fabien Bretenaker	Fabien.bretenaker@u-psud.fr

Comme dans d'autres thématiques du département EOE, un lien fort existe au niveau de l'optique et de la photonique avec le département PhOM et en particulier son Pôle 6 "Optique". D'où la présence de Fabien Bretenaker, l'animateur du Pôle 6 dans la liste des participants au GT5.

Pôle 7 :
Matériaux : élaboration et propriétés

Pôle 7 - Matériaux

Le pôle matériaux commun aux départements PhOM et EOE a pour vocation de stimuler et de coordonner les actions de recherches dans les domaines suivants :

- L'élaboration et la mise en forme des matériaux
- La caractérisation des matériaux motivée par l'étude de la relation entre structure et autres propriétés physiques ou fonctionnelles
- La modélisation et la simulation de leurs propriétés physiques et des mécanismes impliqués dans leur synthèse, leur croissance, ou leur mise en forme.
- la mise en œuvre de ces matériaux dans des dispositifs, des composants ou des systèmes.

Les échelles concernées s'étendent du nanoscopique au macroscopique, du 0D au 3D. Le périmètre thématique vise à renforcer les interactions entre ces diverses composantes.

Le triptyque "Synthèse-Analyses-Modélisation" forme le noyau dur des activités sur les matériaux pour les deux départements EOE et PhOM. Il permet de résoudre des problématiques propres aux sciences des matériaux. Les résultats font progresser les connaissances dans cette discipline et génèrent de l'innovation bénéfique aux autres domaines scientifiques et aux applications. L'objectif final est de proposer de nouveaux matériaux ou de nouvelles combinaisons de matériaux qui apportent de nouvelles fonctionnalités ou qui présentent des performances accrues.

La quatrième composante concerne la valorisation des matériaux étudiés. Il s'agit de les mettre en œuvre dans des dispositifs, des composants ou des systèmes. Cette composante interagit fortement avec les autres axes scientifiques des départements de l'UPSay et établit des relations avec les industriels. Pour ce dernier volet, elle doit s'appuyer sur les aides à la valorisation et au transfert technologique (SATT) ainsi que sur le groupe des relations industrielles qui se mettent en place à l'UPSay.

La communauté matériaux des départements EOE+PhOM comporte 26 laboratoires pour un total de plus de 350 ETP répartis dans environ 56 équipes. Les expertises en matériaux s'étendent des matériaux inorganiques aux organiques et s'intéressent à leurs interfaces.

Les méthodes d'élaboration sont variées : épitaxie, ablation laser, pulvérisation, dépôt assisté par plasma, exfoliation, irradiation, recuit, greffage, traitement de surface, frittage, gravure. Certaines méthodes font appel à de grands instruments (facilités nationales et internationales)

Les activités matériaux s'appuient sur une riche combinaison d'outils dédiés aux caractérisations et analyses des propriétés de la matière sous toutes ses formes et de ses interactions avec les ondes. Ces outils sont présents à l'échelle des laboratoires, dans certains cas ils font partie d'une plateforme ou sont liés à des TGIR (Très Grandes Infrastructures de Recherche telles que SOLEIL et le LLB).

Néanmoins, les activités ne sont pas limitées à l'élaboration et à l'analyse. Sont également pris en compte la modélisation et la compréhension des propriétés des matériaux, les aspects applicatifs et l'intégration dans les dispositifs. En particulier pour la micro-fabrication, le problème de la compatibilité des matériaux avec les filières technologiques est critique. Plus généralement, les matériaux ne sont pas uniquement conçus dans un but fondamental – nouvelles propriétés, nouveaux concepts, nouvelles familles – ; l'amélioration, voire l'optimisation prenant en compte les aspects économiques et sociétaux demeurent un volet important de l'activité de la communauté.

Rapport de prospective UPSay "Matériaux"

GT1- EOE et pôle 7-PhOM

V15

A - I.	Résumé	2	
	II.	Summary	6
B -	Document de synthèse		
	I.	Présentation du groupe de travail	7
	II.	Liste des laboratoires impliqués	8
	III.	Périmètre scientifique	8
	IV.	Cartographie, enjeux	12
	V.	Analyse SWOT	15
	VI.	Prospective :	16
C -	Annexes		24

A-1: Résumé

Périmètre scientifique :

Le pôle matériaux EOE+PhOM a pour vocation de stimuler et de coordonner les actions de recherches dans les domaines suivants :

- L'élaboration et la mise en forme des matériaux
- La caractérisation des matériaux motivée par l'étude de la relation entre structure et autres propriétés physiques ou fonctionnelles
- La modélisation et la simulation de leurs propriétés physiques et des mécanismes impliqués dans leur synthèse, leur croissance, ou leur mise en forme.
- la mise en œuvre de ces matériaux dans des dispositifs, des composants ou des systèmes.

Les échelles concernées s'étendent du nanoscopique au macroscopique, du 0D au 3D. Le périmètre thématique vise à renforcer les interactions entre ces diverses composantes.

Le triptyque "Synthèse-Analyses-Modélisation" forme le noyau dur des activités sur les matériaux pour les deux départements EOE et PhOM. Il permet de résoudre des problématiques propres aux sciences des matériaux. Les résultats font progresser les connaissances dans cette discipline et génèrent de l'innovation bénéfique aux autres domaines scientifiques et aux applications. L'objectif final est de proposer de nouveaux matériaux ou de nouvelles combinaisons de matériaux qui apportent de nouvelles fonctionnalités ou qui présentent des performances accrues.

La quatrième composante concerne la valorisation des matériaux étudiés. Il s'agit de les mettre en œuvre dans des dispositifs, des composants ou des systèmes. Cette composante interagit fortement avec les autres axes scientifiques des départements de l'UPSay et établit des relations avec les industriels. Pour ce dernier volet, elle doit s'appuyer sur les aides à la valorisation et au transfert technologique (SATT) ainsi que sur le groupe des relations industrielles qui se mettent en place à l'UPSay.

La communauté matériaux des départements EOE+PhOM comporte 26 laboratoires pour un total de plus de 350 ETP répartis dans environ 56 équipes. Les expertises en matériaux s'étendent des matériaux inorganiques aux organiques et s'intéressent à leurs interfaces.

Les méthodes d'élaboration sont variées : épitaxie, ablation laser, pulvérisation, dépôt assisté par plasma, exfoliation, irradiation, recuit, greffage, traitement de surface, frittage, gravure. Certaines méthodes font appel à de grands instruments (facilités nationales et internationales)

Les activités matériaux s'appuient sur une riche combinaison d'outils dédiés aux caractérisations et analyses des propriétés de la matière sous toutes ses formes et de ses interactions avec les ondes. Ces outils sont présents à l'échelle des laboratoires, dans certains cas ils font partie d'une plateforme ou sont liés à des TGIR (Très Grandes Infrastructures de Recherche telles que SOLEIL et le LLB).

Néanmoins, les activités ne sont pas limitées à l'élaboration et à l'analyse. Sont également pris en compte la modélisation et la compréhension des propriétés des matériaux, les aspects applicatifs et l'intégration dans les dispositifs. En particulier pour la micro-fabrication, le problème de la compatibilité des matériaux avec les filières technologiques est critique. Plus généralement, les matériaux ne sont pas uniquement conçus dans un but fondamental – nouvelles propriétés, nouveaux concepts, nouvelles familles – ; l'amélioration, voire l'optimisation prenant en compte les aspects économiques et sociétaux demeurent un volet important de l'activité de la communauté.

Enjeux :

Grands défis	Thématiques de recherches	Systèmes matériaux
Energie	Matériaux et composants photovoltaïques, piezoélectriques, électrocalorique, thermoélectriques, magnéto-caloriques Stockage, batteries nanostructurées Photocatalyse Pile à combustible durabilité, vieillissement énergie nucléaire, irradiation	Oxydes Supraconducteurs Colonne IV, TCOs, Organiques, hybrides, Métaux et alliages, Semiconducteurs, Polymères, céramiques, nanomatériaux, verres, Chalcogénures
Environnement	Matériaux non polluants, recyclables, bio-dégradables Substitution des éléments lourds, Méthodes de fabrications économes et non polluantes Recyclage	Polymères, Organiques, Carbone, nanomatériaux,

Santé	Sources UV, sources IR, capteurs biochimiques, nanophotonique, biopuces, physique pour la biologie, plasmonique, optique	Nanomatériaux, Organiques, Hybrides, oxydes, polymères
Information, Communications	Photonique, Lasers SC, Nanoélectronique, spintronique, magnonique, supraconducteurs HTc, électrons fortement corrélés, multiferroïques	Semiconducteurs, Graphene, Solides moléculaires, nanomatériaux, Oxydes, chalcogénures, diélectriques
Habitat	Eclairage, écrans, LED, luminescence Ciments, céramiques, vitrage intelligent	Semiconducteurs, Ciments, céramiques, verres, oxydes,
Astronomie	Bolomètres, durabilité, vieillissement	Semiconducteurs, supraconducteurs
Défense, sécurité	Photocathodes, supra haute Tc, Cryptographie, détecteurs, émetteurs	Oxydes, nanotubes, graphene, carbures, nanoparticules, semiconducteurs,
Transports	Aimants permanents, aimants sans terres-rares Semiconducteurs de puissance grand-gap Matériaux à faibles pertes Batteries, piles à combustibles	Oxydes, semiconducteurs, métaux, polymères

Analyse SWOT :

Forces:

- Multidisciplinarité des démarches en sciences des matériaux sur l'UPSay
- Grande variété des systèmes de matériaux étudiés (échelles allant du nano au macro).
- Moyens humains et équipements consacrés aux sciences des matériaux parmi les plus importants au niveau mondial.
- Activités s'étendant du très académique (universités, écoles, EPSTs) au très appliqué (EPICs et industriels).
- Thématiques scientifiques en phase avec les grands enjeux sociétaux nationaux et européens.
- Connections multiples avec le milieu industriel.
- Plateformes analytiques (Soleil, LLB, Tempos ...) et de nano-technologies de haut niveau (futur C2N)
- Existence d'institutions saclaysiennes fédérant les simulations sur les matériaux (maison de la simulation)

Faiblesses :

- La communauté des matériaux UPSay n'est pas encore structurée et ses activités sont fragmentées géographiquement. Elles méritent d'être plus visibles à l'extérieur.
- Connexions insuffisantes entre expérimentateurs/simulateurs/théoriciens
- Accès de routine aux outils de caractérisation des matériaux pouvant être problématique.
- Faible reconnaissance de la problématique matériaux auprès des filières de formation

Opportunités :

- Les matériaux sont au cœur des défis sociétaux (identifiés par les politiques)
- Grandes variétés des expertises et des activités matériaux au sein de l'UPSay qui peut donner une fertilisation croisée d'idées.
- Opérations structurantes localisées sur le plateau (IPVF, Vedecom), d'envergure nationale et qui demandent une expertise forte en sciences des matériaux
- Poids lourds de la R&D présents sur le plateau ou à proximité: Air-liquide, Valeo, EDF, Thales, Renault, PSA, Alcatel, Dassault, Horiba, Danone, Safran, Saint-Gobain.
- Nouvelles actions structurantes possibles (mutualisation de moyens, structuration des thématiques, renforcement des interactions). Voir notamment **L'Initiative Matériaux UPSay**
- Nouvelles possibilités de mobilité thématique et géographique au sein de l'UPSay.
- Participer à la structuration de la communauté des sciences des matériaux à l'échelle **nationale** pour la rendre visible autant que celle des grands pays scientifiques et technologiques (USA, Japon, Chine).
- Création d'un Master Matériaux

Menaces:

- Les activités matériaux dépassent rarement le TRL 4
- La réflexion menée actuellement pour structurer l'UPSay sera-t-elle suivie de moyens financiers pour mettre en œuvre les propositions d'action (coordination / structuration / fonctionnement des plateformes) dans le contexte de l'effondrement des financements publics nationaux et européens en recherche amont.
- L'arrêt programmé du réacteur Orphée peut fragiliser certaines études s'appuyant sur la diffraction et la diffusion de neutrons.

Prospective :

Systemes de matériaux:

- Hybridation des matériaux, Matériaux multifonctionnels
- Nanomatériaux, nanoparticules
- Matériaux à fortes corrélations électroniques, topologiques
- Matériaux et (nano)technologies vertes
- Matériaux pour les énergies renouvelables

Méthodes d'élaboration :

- Élaboration grande surface (scaling-up)
- Elaboration basse température
- Cristallogenèse
- Physico-chimie et caractérisation in-situ des premiers stades de la croissance.
- Utilisation de nouveaux procédés ou nouvelles combinaisons de méthodes: Atomic Layer deposition (ALD), Atomic Layer Epitaxy (ALE).

Méthodes de caractérisation :

- Développement de nouvelles méthodes de caractérisation des matériaux
- Méthodes de caractérisation in situ et in operando

Méthodes de simulation :

- Calculs des domaines de stabilité thermodynamique d'un matériau (pur, composé, comportant des impuretés, ordonné, désordonné)
- Prédiction des propriétés physiques (optiques, électroniques, électriques, magnétiques, mécaniques) d'un matériau.
- Modélisation des mécanismes impliqués dans la croissance/la synthèse des matériaux
- Modélisation des mécanismes impliqués dans la mise en forme des matériaux
- Modélisation du comportement des matériaux sous sollicitation externe (pression, température, irradiation)

Dispositifs et systèmes :

- Nouvelles fonctionnalités et enjeux de nouveaux matériaux pour les composants.
- Problématique de l'intégration de nouveaux matériaux dans les dispositifs
- Nouvelles filières dans les plateformes de micro & nano-technologies

Actions structurantes :

Plateformes de caractérisation et de technologie:

- Aide financière à la structuration des plateformes de nano-caractérisation afin de les rendre accessibles à l'ensemble de la communauté UPSay.
 - Créer un réseau d'experts pour chaque technique
 - Développer une partie service (RX, TEM, STM)
 - Structurer d'autres plateformes de mesures (caractérisations magnétiques...)
 - Organiser des accès simplifiés aux GI UPSay pour la communauté UPSay
- *Création de plateformes pilotes de caractérisation avec équipements délocalisés*

- Renforcer les liens avec les équipes scientifiques des grands instruments et inciter le cofinancement de thèses
- Organiser des accès simplifiés aux TGIR UPSay pour la communauté UPSay
- Uniformiser les modalités d'accès, de fonctionnement, de financement aux plateformes technologiques

Animation et soutien à l'activité scientifique

- Organisation d'ateliers thématiques et de séminaires réguliers sur des sujets matériaux
- Lieu central pour les séminaires
- Organisation d'écoles
- Financement d'actions conjointes élaboration/caractérisation/modélisation

Liens avec l'enseignement

- Participer à la mise en place de formations en sciences des matériaux.
- Proposer des formations doctorales sur les outils (caractérisation et technologie) des gros labos
- Financement de stages de M2 matériaux
- Financement de thèses interdisciplinaires/en cotutelle

Liens avec les acteurs industriels :

- Mise en place d'un club des industriels avec des thématiques identifiées

Communication: Création d'un site web pour présenter la recherche matériaux des labos UPSay

A-2 : Executive summary

Scientific scope:

The mission of the material science pole of EOE+PhOM is to stimulate and coordinate the research activities in the following domains:

- Development and processing of materials.
- Material characterisation aiming towards understanding the material structure and its role with respect to other physical and functional properties.
- Modelling and simulation of the physical properties of different materials, as well as of mechanisms involved in their synthesis, growth or processing.
- Their use in devices, components or systems.

The range of samples spans the nano-scale to the macroscopic and 0D to 3D. Furthermore, an important aim is to reinforce the interactions between these diverse elements.

The triptych “Synthesis – Analysis – Modelisation” constitutes the kernel of the material science activities for the two departments EOE and PhOM, providing for solutions to important questions within the domain. The results not only provide progress within the bounds of material science, but also generate important innovations beneficial for other scientific branches as well as for numerous applications. The ultimate objective is to be able to propose new materials or new combinations of materials that bring with them novel functionalities or proffer improved performances.

A fourth panel concerns the transfer of technology of the materials under study. The aim is to utilize them in devices, components or systems. For this part there are strong interactions with the other scientific departments of UPSay, and an impetus to set up industrial affiliations. Concerning the latter, it relies on aid for technology valorisation and transfer (SATT), as well as on the group for industrial relations, which is being put in place at UPSay.

The material science community of the EOE and PhOM departments consists of 26 laboratories for a total of more than 350 FTEs, distributed over roughly 56 teams. Their expertise ranges from inorganic to organic materials, including a strong interest in interface properties.

The methods used for developing materials are extremely varied: epitaxy, laser ablation, sputtering, plasma-assisted deposition, exfoliation, irradiation, annealing, grafting, surface

treatment, sintering, etching... Certain methods require the use of large instruments (national and international facilities).

The material science activities rely on a rich combination of instruments dedicated to the characterisation and analysis of properties of materials in all various forms, as well as of their various wave interactions. These instruments are present in the laboratories, and in some cases are parts of a platform or linked with TGIRs (very large scale research infrastructure, such as SOLEIL or LLB).

However, the activities are not limited to the development of different materials or the analysis of their properties, but includes also the modelling and understanding of these properties, of application aspects, and of the integration into devices. In particular, the question of their compatibility with different micro fabrication technologies is essential. More generally, the materials are not simply conceived with the aim of obtaining a better fundamental understanding – original properties, novel concepts, new families – but the improvements or optimisations, taking into account economic and societal aspects, occupy an important part of the activities of the material science community.

B - Document de synthèse

I. Présentation du groupe de travail

Les activités sur les matériaux du GT1-EOE et du pôle 7-PhOM ont des préoccupations communes qui nous ont encouragés à mener ensemble la réflexion sur la prospective. Sur ces thématiques matériaux, de nombreux laboratoires émergent aux deux départements. Les travaux de cartographie et de prospective ont donc été menés en commun.

Les membres du GT1 de EOE

Nom, prenom	e-mail	Laboratoire	ETP
José Alvarez Jean-Paul Kleider	Jose.Alvarez@lgep.supelec.fr jean-paul.kleider@lgep.supelec.fr	GeePs	4.5
Frédéric Mazaleyrat	frederic.mazaleyrat@satie.ens-cachan.fr	SATIE	4
Costel-Sorin Cojocar	costel-sorin.cojocar@polytechnique.edu	LPICM	12.5
Philippe Lecoer	philippe.lecoeur@u-psud.fr	IEF	29

Jean-Baptiste Moussy	jean-baptiste.moussy@cea.fr	SPEC-CEA	8
Jean-Christophe Harmand	jean-christophe.harmand@lpn.cnrs.fr	LPN	23
Daniel Lundin Nicolas Jidenko	daniel.lundin@u-psud.fr nicolas.jidenko@u-psud.fr	LPGP	1.75
Marie-Claude Clochard	marie-claude.clochard@polytechnique.edu	LSI	34.5
Philippe Bergonzo	philippe.bergonzo@cea.fr	LIST-CEA	5
Frédéric. Van Dau	frederic.vandau@thalesgroup.com	Thalès	26.5

Total ETP

148.75

Les membres du bureau Pôle 7 de PhOM

Nom, prenom	e-mail	Laboratoire	
Javier Briatico	javier.briatico@thalesgroup.com	UmPhy	
Jean-Paul Crocombette	jean-paul.crocombette@cea.fr	SRMP	
Brahim Dkhil	brahim.dkhil@ecp.fr	SPMS	
Thierry Gacoin	thierry.gacoin@polytechnique.edu	PMC	
Pierre Galtier	pierre.galtier@uvsq.fr	GEMaC	
Ulf Gennser	ulf.gennser@lpn.cnrs.fr	LPN	
Marie-Hélène Mathon	marie-helene.mathon@cea.fr	LLB	
Dominique Thiaudière	dominique.thiaudiere@synchrotron-soleil.fr	SOLEIL	

A ces listes s'ajoutent des correspondants des 26 laboratoires de PhOM et EOE concernés par des problématiques matériaux.

II. Liste des laboratoires impliqués

Laboratoires (%)	Phom	Chimie	EOE	MEP	P2I	SdV	Maths	SPU	Total
CSNSM Centre de Sciences Nucléaires et de Sciences de la matière	15				85				100
FAST	50			45				5	100
GeePs	25		75						100
GEMAC Groupe d'études de la matière condensée	80	10	10						100
ICMMO	30	70							100
IEF Institut d'électronique fondamentale	20		80						100
ISMO Institut des Sciences Moléculaires d'Orsay	80	20							100
LAC Laboratoire Aimé Cotton	100								100
LEM Onera Laboratoire d'étude des microstructures	80			20					100
LGEP (laboratoire de Génie électrique de Paris)	25		75						100
LIST			20						
LLB Laboratoire Léon Brillouin	90	10							100
LPGP	40		60						100
LPICM Laboratoire de physique des interfaces et des couches minces	25	10	65						100
LPN	70		30						100
LPS LABORATOIRE DE PHYSIQUE DES SOLIDES	90	5	5						100
LSI	80	10	10						100
NIMBE	20	66	4						90
PMC	50	50							100
PPSM Lab. de Photophysique et de Photochimie Supramoléculaire et Macromoléculaire UMR 8531	10	90							100
SATIE			70						70
SOLEIL Synchrotron	53	15			5	27		6	100

SPEC	85		15						100
SPMS	50	50							100
SRMP Service de Recherches de Métallurgie Physique, CEA	100								100
UMPHY Thales Unité Mixte de Physique CNRS Thales.	70		30						100

III. Périmètre scientifique

Le contour des activités sur les matériaux dans les 2 départements EOE et PhOM rassemble 26 laboratoires et 350 personnes ETP.

GT1 de EOE : "Matériaux et nanomatériaux"

Le GT1 rassemblent les activités sur les matériaux et les nanomatériaux. Elles ont quatre composantes principales:

-La synthèse des matériaux et des nanomatériaux.

-Les analyses structurales et chimiques de ces matériaux et la caractérisation de leurs autres propriétés physiques.

-La modélisation et la simulation de leurs propriétés physiques et des mécanismes impliqués dans leur croissance, leur synthèse ou leur mise en forme.

-La mise en œuvre de ces matériaux dans des dispositifs, des composants ou des systèmes.

Pôle 7 de PhOM : "Matériaux : élaboration et propriétés"

Le pôle 7 a pour vocation de stimuler/coordonner les actions de recherches en élaboration/mise en forme et caractérisation des matériaux motivées par l'étude de la relation entre structure et propriétés physiques.

La démarche scientifique s'étend de l'étude des phénomènes physico-chimiques en œuvre lors de l'élaboration des matériaux jusqu'à l'analyse de leur propriétés structurales et de leurs propriétés physiques.

Les échelles concernées s'étendent du nanoscopique au macroscopique, du 0D au 3D. Le périmètre thématique inclut les activités de modélisation.

Articulation des activités matériaux PhOM-EOE

Le triptyque "Synthèse-Analyses-Modélisation" forme le noyau dur des activités sur les matériaux pour les deux départements EOE et PhOM. Il permet de résoudre des problématiques propres aux sciences des matériaux. Les résultats font progresser les connaissances dans cette discipline et génèrent de l'innovation bénéfique aux autres domaines scientifiques et aux applications. L'objectif final est de proposer de nouveaux matériaux ou de nouvelles combinaisons de matériaux qui apportent de nouvelles fonctionnalités ou qui présentent des performances accrues.

La quatrième composante concerne la valorisation des matériaux étudiés. Il s'agit de les mettre en œuvre dans des dispositifs, des composants ou des systèmes. Cette composante interagit fortement avec les autres domaines scientifiques et établit des relations avec les industriels.

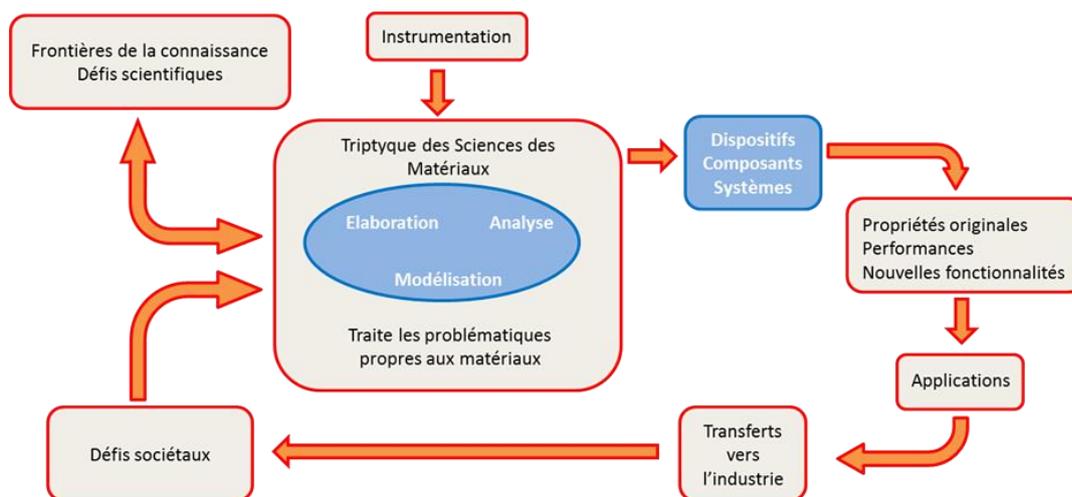


Figure 1 : Articulation des activités matériaux PhOM-EOE

Liens/interfaces/complémentarités avec les autres départements et initiatives de l'UPSay

Equipex:

- Un laser à ultra haute puissance (EquipEx CILEX) Une source de rayons X accordable innovante (EquipEx THOMX)
- Le développement de matériaux innovants, tour d'atomisation, microscopie et tomographie, calcul parallèle (EquipEx MATMECA)
- Microscopie électronique en transmission (EquipEx Tempos)

- Ordre local et sollicitations externes rapides (EquipEx ROCK)
- Imagerie 3D par micro et nano-tomographie (EquipEx NANOIMAGESX)
- Nano particules et molécules de haute vitesse, sonde des nano-domaines et nano-objets natifs (EquipEx ANDROMEDE)
- Groupe d'Etudes et de Nanoanalyses des Effets d'Irradiations (GENESIS)

Lidex :

- Center for data Science Paris-Saclay (CDS)

Labex:

- Nanosaclay,
- Charm³at,
- PALM,
- LaSIPS

IEED:

- IPVF
- VEDECOM

*** Les interfaces avec les autres groupes de travail du Dpt EOE:**

Axe(s) ou thème(s)/ sous-thème(s) du GT aux interfaces	Autre(s) GT EOE concerné(s)	Action envisagée par le GT (future ou déjà mise en place) pour collaborer sur cette interface
Matériaux pour les énergies renouvelables Méthodes de caractérisation Nano-matériaux	2. Interaction rayonnement - matière et environnement	Elaboration et caractérisation des matériaux et hétérostructures
Méthodes d'élaboration	3. Physique des décharges et plasma froid	
Semiconducteurs IV, III-V, II-VI, oxydes, métaux, diamant Hybridation des matériaux Matériaux à fortes corrélations électroniques Matériaux nano-structurés	4. Electronique , Spintronique	Elaboration et caractérisation des matériaux
Semiconducteurs IV, III-V, II-VI, métaux, Matériaux nano-structurés	5. Optronique, Opto - électronique et Photonique	Elaboration et caractérisation des matériaux

Matériaux pour les énergies renouvelables Hybridation des matériaux Matériaux et technologies vertes	6. Energie électrique	Conception de machines électriques avec aimants sans-terre rares réfrigérateurs magnéto-caloriques Modèles comportementaux pour la conception des dispositifs de puissance
Matériaux multifonctionnels Matériaux nano-structurés Hybridation des matériaux	7. Instrumentation, Physique de la mesure, Capteurs et systèmes électroniques	Elaboration et caractérisation des matériaux
Hybridation des matériaux Organiques/inorganiques	8. Sciences de l'Ingénieur pour le vivant et la santé	Matériaux bio-compatibles

*** Les interfaces avec les autres groupes de travail du Dpt PHOM:**

Axe(s) ou thème(s)/ sous-thème(s) du pôle aux interfaces	Autre(s) pôle PHOM concerné(s)	Action envisagée par le pôle (future ou déjà mise en place) pour collaborer sur cette interface
- Hybridation des matériaux - Matériaux à fortes corrélations électroniques, topologiques - Matériaux multifonctionnels - Cristallogénèse	1	Axes prioritaire élaboration du pôle 7 PHOM
- Synthèse, nucléation, croissance, morphologie & structure des nanoparticules - Nanostructuration	2	Axes prioritaires du pôle 7 (élaboration et mise en forme, caractérisation, modélisation)
- Matériaux multiéchelles et adaptatifs - Méthodes d'analyses in-situ	3	Axes prioritaires du pôle 7 (élaboration, caractérisation & modélisation)
- Matériaux à fortes corrélations électroniques	4	Axe prioritaire élaboration du pôle 7 PHOM
- Croissance et nanostructuration 2D/hétérostructures, 1D, nanoparticules 0D - Hybrides (orga/non-orga, métal/diél.)	5	Axes prioritaires du pôle 7 (élaboration et mise en forme, caractérisation, modélisation)

<ul style="list-style-type: none"> - Auto-organisation, auto-assemblage, supracristaux, nouvelles méthodes de croissance - Nouveaux matériaux : isolants topologiques, carbonés, à fort dopage, etc. <p>Mesurer : Instrumentations aux limites</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nanoscopies hyperspectrales (xy, w), ultrarapides (xy, t), in vivo et/ou in operando - Outils in situ multitechniques - Théories/modélisations/simulations ab-initio, atomistiques, moléculaires 		
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

*** Les interfaces avec les autres départements de Paris-Saclay:**

Axe(s) ou thème(s)/ sous-thème(s) du GT aux interfaces	Autre(s) département(s) concernés	Action envisagée par le GT (future ou déjà mise en place) pour collaborer sur cette interface
Toutes thématiques matériaux	Chimie, MEP, SPU, SdV,	Institut des Matériaux
Modélisation et Simulation	GT transverse théorie Simulations	Projets communs élaboration, caractérisation, modélisation. Organisation de workshops
Matériaux pour l'énergie	GT Transverse énergie	Axes prioritaires Pôle 7-PhOM/GT1-EOE

IV. Cartographie, enjeux

Le descriptif des activités matériaux conduit naturellement à un découpage en quatre axes qui permettent de faire un état des lieux des forces actuelles. Pour chaque axe, nous avons recensé

les moyens disponibles et les thématiques traitées à partir d'un questionnaire adressé aux divers correspondants des laboratoires.

1. Systèmes de matériaux et leur méthode d'élaboration :

L'analyse du recensement réalisé au sein des laboratoires de PhOM et EOE concernés par les problématiques matériaux fait apparaître que 56 équipes ont une activité en élaboration des matériaux. 40 équipes mettent en œuvre des expertises en mise en forme de ces matériaux (voir les détails *Tableau 1* en annexe).

- Oxydes
- Colonne IV
- Composés III-V et II-VI
- Chalcogénures, Pnictures
- Métaux et alliages
- Céramiques, composites et matériaux de structure
- Solides moléculaires
- Verres
- Matière molle
- Organiques & organiques/inorganiques
- Matériaux hybridés
- Surfaces & interfaces

Les méthodes d'élaboration sont variées : épitaxie, ablation laser, pulvérisation, dépôt assisté par plasma, exfoliation, irradiation, recuit, greffage, traitement de surface, frittage, gravure. Certaines méthodes font appel à de grands instruments (facilités nationales et internationales) comme le réseau d'accélérateurs EMIR regroupant 5 plateformes: Grand Accélérateur National d'Ions Lourds GANIL, Jannus Orsay (CSNSM et du SRMP), l'accélérateur d'électrons SIRIUS (LSI) et la plateforme du SRMA.

La communauté photovoltaïque du plateau se structure actuellement en liens étroits avec l'IPVF. La création de micro-réseaux (ex. TREND X, LIVEgrid, SIRTA) sont en train de se monter avec pour ambition une meilleure gestion des ressources en croisant prédiction-simulation-expérimental.

Les activités de recherche en élaboration sont le plus souvent orientées autour de thématiques scientifiques ciblées, en général assez amont, mais dont le potentiel applicatif est souvent sous-jacent.

2. Méthodes d'analyse et de caractérisation (propriétés physiques, chimiques, structurales)

Les départements EOE et PhOM s'appuient sur une riche combinaison d'outils dédiés aux caractérisations et analyses des propriétés de la matière sous toutes ses formes et de ses interactions avec les ondes. Ces outils sont présents à l'échelle des laboratoires, dans certains cas font partie d'une plateforme ou sont liés à des grands instruments scientifiques (SOLEIL, LLB). Dans l'inventaire de moyens d'analyses et de caractérisations de l'UPSay, sont aussi à prendre en considération les nouveaux équipements financés par les « Investissements d'Avenir », dont 7 projets d'EquipEx sur le Campus Paris-Saclay (CILEX, RHOMX, MATMECA, TEMPOS, ROCK, NANOIMAGESX, ANDROMEDE).

Les *Tableaux 2-6* présentés en annexe regroupent l'ensemble des techniques d'analyse et de caractérisation liées aux activités sur les matériaux de PhOM et EOE. Elles donnent des informations sur :

- l'organisation atomique et structurale de la matière ainsi que son évolution sous différentes sollicitations externes (température, pression, mécanique, illumination, irradiation, champ électrique, magnétique, environnement chimique) ;
- les propriétés physiques (électroniques, optiques, magnétiques, mécaniques) ou fonctionnelles permettant d'obtenir des informations à différentes échelles, en y incluant les méthodes d'analyse des surfaces.

On peut les classer en :

- Techniques de microscopie à sonde locale ou en champ proche
- Techniques d'analyses optiques
- Techniques d'analyses par faisceaux d'électrons, neutrons, ions
- Caractérisations électrique/électrochimique (ECH) et photoélectrique/photoECH
- Caractérisations magnétique, thermique et mécanique

3. Modélisation, simulation

Concernant la modélisation et la simulation, de nombreux outils ont été recensés dans les laboratoires travaillant sur les matériaux dans PhOM et EOE (voir *Tableau 7* en annexe). Qualitativement, on note l'importance des calculs de structure électronique *ab initio* (DFT). A l'inverse, il semble que les simulations en transport apparaissent peu au regard du nombre de citations du mot « transport » dans les thématiques des laboratoires. Il est difficile de juger si cela correspond à une faiblesse réelle, des modélisations par "Equation de Boltzmann" ou "électromagnétiques" pouvant bien sûr être des modélisations de transport. Des précisions, compléments ou corrections seraient éventuellement nécessaires.

On note que l'importance des simulations est très variable selon les laboratoires, certains ne déclarant aucune activité de ce type, alors que d'autres mentionnent de nombreuses méthodes.

Quelques réflexions ont été entreprises sur les simulations en sciences des matériaux en général et leur implantation à Paris-Saclay:

- Elles peuvent être lourdes numériquement (besoin de machines centrales, nationales voire européennes). Les difficultés numériques peuvent être importantes. Il y aurait parfois besoin de numériciens (mathématiciens appliqués, informaticiens).

- Il est nécessaire de préciser la notion de "simulateur" ou "modélisateur". C'est un chercheur spécialiste des calculs, de l'utilisation des codes, et de l'interprétation des résultats. Le simulateur se distingue du théoricien qui développe de nouvelles méthodes.

La modélisation pour les matériaux est donc un jeu à trois: le théoricien, le simulateur, l'expérimentateur. La continuité entre leurs activités nécessite des liens forts et bidirectionnels entre ces différents intervenants : l'expérimentateur a besoin de modéliser, le modélisateur utilise les méthodes développées par le théoricien. Le théoricien veut mettre en pratique sa méthode et vérifier son efficacité à résoudre des problèmes concrets.

En pratique il existe une variété de gens qui font des simulations. Cela peut être :

- des théoriciens,
- des simulateurs à temps plein
- des simulateurs à temps partiel, i.e. des expérimentateurs qui font aussi des calculs.

Tous devraient être des utilisateurs avertis. Les risques en terme de compétence se posent surtout dans les domaines où les codes sont lourds, complexes numériquement et théoriquement, mais faciles d'utilisation. C'est surtout vrai aux deux extrémités de l'échelle d'espace : ab initio, éléments finis.

- Le contexte à Paris-Saclay est très favorable aux activités de modélisations sur les matériaux. Il existe déjà des éléments de structuration de la communauté saclaysienne: la maison de la simulation, nœud francilien du CECAM (Centre Européen de Calcul Atomique et Moléculaire) très orienté matériaux (ce que son nom n'indique pas forcément).

4. Fonctionnalité dans les dispositifs, composants et systèmes

Les matériaux développés dans EOE et PhOM s'appuient sur de fortes compétences en physique de l'état solide, synthèse des matériaux, nanotechnologies, et d'un large panel de techniques de caractérisation telles que présentées précédemment.

L'analyse des activités auxquelles ces compétences sur les matériaux sont destinées permet d'établir que quasiment tous les domaines technologiques sont couverts par les départements EOE et PhOM. Le besoin de valoriser les études sur les matériaux en imaginant et en développant des applications

qui en tirent avantage est en général bien pris en compte. Quelques équipes, les plus en aval, savent valoriser leurs savoir-faire auprès des industriels. Les matériaux de l'UPSay sont donc au centre d'un éventail très large de domaines d'applications (voir *Tableau 8* en annexe). La transversalité des matériaux est très donc présente au sein des 2 départements : pratiquement l'ensemble des pôles PhOM et des GTs d'EOE ont des interactions avec le GT1 et le pôle 7.

Ce caractère pluridisciplinaire des matériaux est déjà à l'œuvre dans les LabEx et notamment dans NanoSaclay : à partir du vecteur commun des propriétés des matériaux nanométriques, les équipes EOE et PhOM mènent une grande diversité d'activités et cherchent à valoriser les résultats par des développements applicatifs pointus dans plusieurs domaines industriels.

5. Enjeux :

Le tableau qui suit liste les enjeux sociétaux qui sont couverts par les études sur les matériaux du périmètre UPSay. On y retrouve des enjeux couverts par au moins 8 des 10 propositions des ateliers de la SNR (Stratégie Nationale de Recherche).

Grands défis	Thématiques de recherches	Systèmes matériaux
Energie	Matériaux et composants photovoltaïques , piezoélectriques, électrocalorique,Thermoélectriques, magnéto- caloriques Stockage, batteries nanostructurées Photocatalyse Pile à combustible durabilité, vieillissement énergie nucléaire, irradiation	Oxydes Supraconducteurs Colonne IV, TCOs, Organiques, hybrides, Métaux et alliages, Semiconducteurs, Polymères, céramiques, nanomatériaux, verres, Chalcogénures
Environnement	Matériaux non polluants, recyclables, bio- dégradables Substitution des éléments lourds, Méthodes de fabrications économes et non polluantes Recyclage	Polymères, Organiques, Carbone, nanomatériaux,

Santé	Sources UV, sources IR, capteurs biochimiques, nanophotonique, biopuces, physique pour la biologie, plasmonique, optique	Nanomatériaux, Organiques, Hybrides, oxydes, polymères
Information, Communications	Photonique, Lasers SC, Nanoélectronique, spintronique, magnonique, supraconducteurs HTc, électrons fortement corrélés, multiferroïques	Semiconducteurs, Graphene, Solides moléculaires, nanomatériaux, Oxydes, chalcogénures, diélectriques
Habitat	Éclairage, écrans, LED, luminescence Ciments, céramiques, vitrage intelligent	Semiconducteurs, Ciments, céramiques, verres, oxydes,
Astronomie	Bolomètres, durabilité, vieillissement	Semiconducteurs, supraconducteurs
Défense, sécurité	Photocathodes, supra haute Tc, Cryptographie, détecteurs, émetteurs	Oxydes, nanotubes, graphene, carbures, nanoparticules, semiconducteurs,
Transports	Aimants permanents Aimants sans terres-rares Semiconducteurs de puissance grand-gap Matériaux à faibles pertes Batteries, piles à combustibles	Oxydes, semiconducteurs, métaux, polymères

Les problématiques matériaux des laboratoires de l'UPSay sont en prise avec les grands axes prioritaires tels qu'ils ont été identifiés au plan national et européen.

V. Analyse SWOT

Forces:

- Multidisciplinarité des démarches en sciences des matériaux sur l'UPSay
- Grande variété des systèmes de matériaux étudiés (échelles allant du nano au macro).
- Moyens humains et équipements consacrés aux sciences des matériaux parmi les plus importants au niveau mondial.

- Activités s'étendant du très académique (universités, écoles, EPSTs) au très appliqué (EPICs et industriels).
- Thématiques scientifiques en phase avec les grands enjeux sociétaux nationaux et européens.
- Connexions multiples avec le milieu industriel.
- Plateformes analytiques (Soleil, LLB, Tempos ...) et de nano-technologies de haut niveau (futur C2N)
- Existence d'institutions saclaysiennes fédérant les simulations sur les matériaux (maison de la simulation)
- Expertises en calculs ab-initio et de structure électronique.

Faiblesses :

- La communauté des matériaux UPSay n'est pas encore structurée et ses activités sont fragmentées géographiquement. Elles méritent d'être plus visibles à l'extérieur.
- Connexions insuffisantes entre expérimentateurs/simulateurs/théoriciens
- Accès de routine aux outils de caractérisation des matériaux pouvant être problématique.
- Faible reconnaissance de la problématique matériaux auprès des filières de formation

Opportunités :

- Les matériaux sont au cœur des défis sociétaux (identifiés par les politiques)
- Grandes variétés des expertises et des activités matériaux au sein de l'UPSay qui peut donner une fertilisation croisée d'idées.
- Opérations structurantes localisées sur le plateau (IPVF, Vedecom), d'envergure nationale et qui demandent une expertise forte en sciences des matériaux
- Poids lourds de la R&D présents sur le plateau ou à proximité: Air-liquide, Valeo, EDF, Thales, Renault, PSA, Alcatel, Dassault, Horiba, Danone, Safran, Saint-Gobain.
- Nouvelles actions structurantes possibles (mutualisation de moyens, structuration des thématiques, renforcement des interactions). Voir notamment **L'Initiative Matériaux UPSay**
- Nouvelles possibilités de mobilité thématique et géographique au sein de l'UPSay.
- Participer à la structuration de la communauté des sciences des matériaux à l'échelle **nationale** pour la rendre visible autant que celle des grands pays scientifiques et technologiques (USA, Japon, Chine).
- Création d'un Master Matériaux

Menaces:

- Les activités matériaux dépassent rarement le TRL 4
- La réflexion menée actuellement pour structurer l'UPSay sera-t-elle suivie de moyens financiers pour mettre en œuvre les propositions d'action (coordination / structuration / fonctionnement des plateformes) dans le contexte de l'effondrement des financements publics nationaux et européens en recherche amont.
- L'arrêt programmé du réacteur Orphée peut fragiliser certaines études s'appuyant sur la diffraction et la diffusion de neutrons.

VI. Prospective :

1. Systèmes de matériaux et leur méthode d'élaboration :

Les axes thématiques matériaux en lien avec les grands enjeux scientifiques (dont certains ont été identifiés par les autres pôles ou GT des départements EOE et PhOM) et sociétaux qu'il nous paraît souhaitable de soutenir en priorité sont les suivants :

Hybridation des matériaux, matériaux multifonctionnels

On peut définir les matériaux hybrides comme étant des systèmes polyphasés associant, à des échelles variables, au moins deux composantes de nature différente : métal/semiconducteur, organique/inorganique, semi-conducteur/organique etc... Ces combinaisons de matériaux peuvent être étudiées avec l'objectif d'associer les propriétés individuelles des matériaux ou bien dans le but plus ambitieux de coupler ces propriétés afin d'obtenir un effet ou une fonction nouvelle. Les exemples sont déjà nombreux : la jonction Schottky, les structures MOS, les hétérostructures multiferroïques, la fonctionnalisation des surfaces inorganiques par des matériaux organiques...

Les perspectives dans ce domaine sont en premier lieu l'optimisation ou la simplification des méthodes d'élaboration. La synthèse peut être séquentielle (dépôt d'un matériau sur un autre) ou bien "one pot" avec la formation concomitante des deux phases. Les objectifs peuvent être un meilleur contrôle des interfaces, de l'agencement relatif des phases, de la morphologie et de la taille des hétérostructures formées ou également l'amélioration de la qualité des matériaux de part et d'autre des interfaces.

Dans un deuxième temps, il s'agit d'étudier les propriétés physiques de ces systèmes, notamment électroniques en lien avec le magnétisme, le transport ou l'optique. Plus en aval vers les applications, ces études peuvent viser l'insertion des hétérostructures formées dans des dispositifs, comme par exemple les cellules tandem pour le photovoltaïque, la production d'hydrogène par photocatalyse de l'eau, les mémoires, les batteries électrochimiques, les systèmes d'éclairage, ou tout autre système actif.

Matériaux et (nano)technologies vertes

L'émergence des priorités environnementales et de préservation des ressources naturelles au cours de ce siècle, doit être intégrée dans les réflexions et prospectives scientifiques le plus en amont. Cela concerne bien évidemment les matériaux qui sont à la base de tout dispositif.

Les recherches dans ce domaine devront être soutenues avec les objectifs suivants:

- de produire des matériaux non polluants, recyclables, ou biodégradables.
- d'utiliser des procédés de fabrications économes en énergie et non polluantes.

- de mettre au point les méthodes de retraitement et ou de recyclage pour les matériaux polluants dont l'utilisation ne peut être évitée.
- d'utiliser des matériaux et/ou des technologies permettant la réalisation de dispositifs économes en énergie (suivant l'exemple des LEDs GaN) ou bien permettant la diffusion à grande échelle de technologies « propres » (matériaux magnétiques sans terres-rares pour le véhicule électrique)

La réflexion autour de cette thématique dépasse largement le cadre des départements EOE et PhOMet devra être élargie en lien avec les autres départements concernés (Chimie, SPU,...)

Matériaux à fortes corrélations électroniques, topologiques (matériaux 2D, 3D)

Les porteurs électriques dans certains matériaux ne peuvent pas être décrits comme des électrons libres et montrent des comportements intéressants, qui sont importants pour des études fondamentales ainsi que pour des applications. A la base de cette recherche, se trouve l'exploration de nouveaux matériaux : oxydes de métaux de transition à transition métal-isolant, pour la supraconductivité haute T_c , la spintronique et les matériaux de fermions lourds ; les supraconducteurs non-conventionnels comme les cuprates ou les pnictures ; ou les verres de spin tels que les aimants géométriquement frustrés de pyrochlore ; gaz d'électrons bidimensionnels de haute mobilité à base d'oxydes..

La variété des propriétés physiques de ces matériaux trouve des applications actuelles et futures répondant à plusieurs enjeux identifiés dans l'agenda stratégique « France-Europe 2020 ». Ainsi, la spintronique développe des dispositifs innovants pour des systèmes de l'information et de la communication de demain. Nous pouvons citer, par exemple, les nouveaux états magnétiques chiraux dans des systèmes à brisure de symétrie, qui nous permettraient de réaliser des dispositifs logiques non-volatiles à taille ultime ; les oscillateurs radiofréquence et micro-ondes à transfert de spin de taille nanométrique; ou les memristors, avec lesquels nous pourrions implémenter des moyens de traitement d'information et de calcul performants qui émulerait le cerveau et les systèmes biologiques, en dépassant les systèmes actuels pour leur compromis énergie-intégration.

Concernant les supraconducteurs à haute température critique, des applications dans le transport d'énergie, des prototypes de trains pour le transport de passagers et des systèmes d'imagerie médicale sont aujourd'hui très connues du grand public. Mais les récentes avancées de l'industrie cryogénique permettent de commencer à intégrer des solutions plus performantes que celles utilisées actuellement pour les systèmes de télécommunication et de traitement de l'information satellitaire et aéroporté (filtrage sélectif, traitement plus rapide du signal, intégration d'un traitement neuromorphique de l'information à base de supraconducteurs...). Ces mêmes dispositifs cryogéniques ultra-portables à faible consommation d'énergie encouragent aussi la réalisation de portiques sécuritaires dans le régime submillimétrique, intégrant des QCL et des détecteurs supraconducteurs.

On trouve également des propriétés nouvelles dans des isolants avec une forte interaction spin-orbite, où la topologie très particulière a pour conséquence l'existence d'états de surface métallique qui sont protégés. Des matériaux explorés pour ces effets comprennent le graphène et

d'autres matériaux 2D, des hétérostructures semiconductrices II-VI et III-V avec un fort couplage spin-orbite, des hétérostructures d'oxydes à base de SrTiO_3 et des matériaux topologiques 3D (Bi_2Se_3 , Sb_2Te_3 , ...). Comme pour les matériaux à fortes corrélations électroniques, les isolants topologiques ont des applications potentielles importantes. Une grande motivation est l'utilisation des états de surface topologiquement protégés contre la décohérence pour réaliser des dispositifs d'informatique quantique. La polarisation de spin de ces états peut également servir dans des dispositifs de spintronique, notamment comme interconnexions.

Cette grande variété d'applications (dont nous avons donné seulement quelques exemples) repose sur une large diversité des matériaux et des paramètres de croissance. L'intégration des fonctions si variées dans une seule puce électronique (par des techniques flip-chip, wafer-bonding, croissance monolithique ...), et réalisée en grande surface, est un défi auquel il faudra très certainement répondre afin de voir ces technologies innovantes dans le marché.

Matériaux nanostructurés, nanoparticules

Les nanomatériaux sont constitués de nano-objets (particules, fibres, tubes,...) dont la taille est inférieure à 100 nm, ce qui leur confère des propriétés spécifiques différentes des matériaux massifs : physiques, magnétiques, mécaniques, optiques, électriques, chimiques, thermiques. Deux types de matériaux se sont développés :

- les nanostructurés dont la structure intrinsèque est nanométrique
- les nanocomposites qui résultent de l'ajout de nanoobjets dans une matrice (de métal, polymère...).

Qu'ils soient élaborés par synthèse "bottom-up" ou structurés par des techniques "top-down", ces nanomatériaux sont sujet d'intenses recherches au sein de l'UPSay comme ailleurs. Leur émergence est liée aux développements des méthodes de caractérisation et d'élaboration ainsi qu'à la maîtrise, à l'échelle nanométrique, des mécanismes physiques régissant leurs comportements et leurs propriétés. Selon le type de matériaux envisagés, différents verrous scientifiques et techniques demeurent et leur levée nécessite des recherches conjointes, fondamentales et industrielles.

L'échelle nano crée des passerelles thématiques entre physiciens, chimistes et biologistes comme jamais auparavant. Il convient de saisir cette opportunité pour développer une recherche interdisciplinaire fortement fédératrice. L'UPSay est en très bonne position pour y jouer un rôle déterminant en associant ses compétences en chimie moléculaire et inorganique, en nanostructuration des solides, en synthèse de nanoparticules, en techniques de greffage et de fonctionnalisation de surfaces.

L'électronique moléculaire, la plasmonique, la spintronique, la photonique et le transport quantiques, la biophysique, le domaine de l'énergie nucléaire sont autant de domaines qui mettent en œuvre des nanomatériaux. Ils offrent des solutions aux défis de l'intégration et de l'hybridation des matériaux. Ils permettent le couplage de propriétés physique et la multifonctionnalité. Ils sont

des briques essentielles pour le confinement quantique de charges élémentaires ou le confinement sub-longueur d'onde de la lumière; ils permettent en conséquence la manipulation de photons, d'électrons ou de spins uniques.

Les contrôles précis de leurs dimensions, agencement, composition chimique, structure cristalline ou moléculaire, surfaces et interfaces représentent des défis scientifiques et technologiques à relever. Le développement des méthodes de synthèse et des moyens de caractérisation, en particulier l'analyse in situ, et le couplage avec la modélisation sont des étapes indispensables pour progresser. Les préoccupations environnementales et la prise en compte des risques liés aux nanomatériaux doivent accompagner ces développements dans la perspective d'applications technologiques concrètes

Dans le cadre du développement des réacteurs nucléaires de « Génération IV », on attend de hautes performances mécaniques liées à la nanostructuration de nouveaux alliages métalliques renforcés par une dispersion très fine d'oxyde (aciers ODS) et de composites à matrices céramiques (CMC). Ce type d'alliage nanorenforcés représentent un enjeu important également dans les secteurs de l'aéronautique et l'aérospatiale qui sont en quête de matériaux extrêmement performants et légers.

Matériaux pour les énergies renouvelables

Des matériaux innovants et plus performants émergent ou sont en cours de développement pour répondre aux engagements nationaux quand à l'accroissement de la part des énergies renouvelables dans le pool énergétique. Ils concernent notamment la conversion photovoltaïque, la thermoélectricité, la piézoélectricité.

Les matériaux qui se développent actuellement que ce soit dans le photovoltaïque ou l'éolien sont en grande majorité des matériaux composites nanostructurés. La nanostructuration des matériaux nécessite des compétences transdisciplinaires et un tissu de collaborations déjà bien développé à Paris-Saclay (voir tableaux en annexe). Elle adopte des stratégies de synthèse chimique, de lithographie (salles blanches), d'interaction rayonnement-matière (lasers, accélérateurs).

Les cellules solaires de première génération sont composées de silicium cristallin et représentent plus 80% du marché photovoltaïque. Leur efficacité reste limitée à environ 20%. Des efficacités plus importantes peuvent être obtenues en utilisant des matériaux semiconducteurs III-V tel que le GaAs. La création de jonctions multiples a permis également d'obtenir dans cette famille de matériaux des rendements atteignant le record de 46%. Actuellement, les efforts de recherche des matériaux pour le photovoltaïque sont centrés sur les effets bénéfiques de la nanostructuration. En effet, les surfaces d'échanges aux interfaces créées dans le matériau à l'échelle nanométrique sont augmentées de plusieurs ordres de grandeur. Cela permet souvent de donner un nouvel essor à des matériaux connus depuis plus de 50 ans pour leur propriétés physiques intéressantes, mais inexploitées jusqu'à présent dans les applications du fait de leur rendement médiocre (matériaux

polymères piézoélectriques du type **polydifluorure de vinylidene-PVDF**) ou de leur fragilité mécanique (céramiques piézoélectriques du type Titano-Zirconate de Plomb -PZT).

Récemment, des systèmes nanostructurés 1D et 2D tels que des nanofils semiconducteurs (ZnO, CdS, PZT, BaTiO₃, AlGa_N, InN) ou des multicouches composites de PVDF et de copolymères, se sont révélés d'excellents candidats pour fabriquer des générateurs piezoélectriques efficaces, nouveaux et ultra-compacts. Les meilleurs piezogénérateurs peuvent aujourd'hui produire une densité de puissance de plusieurs mW/cm³. De même, la nanostructuration est un élément clé pour les dispositifs thermoélectriques producteurs d'énergie (Bi₂Te₃ et dérivés).

Un facteur nouveau à prendre en compte dans nos modes de vie est l'intégration d'objets portables ou embarqués. La miniaturisation des batteries et autres éléments de stockage d'énergie sont des enjeux qui peuvent également être relevés avec des nanomatériaux composites (super-condensateurs à base de nanotubes de carbone ou de nanofils métalliques interdigités dans des matrices isolantes (résines époxy, polymères thermoplastiques ou plastiques).

Le développement des matériaux pour les énergies alternatives nécessite donc de plus en plus l'utilisation de plateformes sophistiquées et d'outils de simulation afin d'améliorer les rendements de conversion.

Méthodes d'élaboration

D'une manière générale, sur le plan expérimental des efforts devront être dédiés au développement de méthodes d'élaboration stratégiques (bas-coût, grande surface), de procédés innovants et de combinaisons de méthodes. En amont, la compréhension des mécanismes physico-chimiques impliqués dans ces méthodes est essentielle. Nous proposons en particulier de concentrer des efforts sur :

- L'élaboration grande surface (scaling-up)
- L'élaboration à basse température
- La cristallogénèse
- La physico-chimie et la caractérisation in-situ des premiers stades de la croissance
- L'étude de procédés tels que: Atomic layer deposition (ALD), Atomic Layer Epitaxy (ALE).

2. Méthodes d'analyse et de caractérisation:

Le périmètre de l'UPSay a pour particularité de comporter plusieurs « plateformes de caractérisation ». Le fonctionnement, les modalités d'accès et le financement de celles qui existent aujourd'hui dans le périmètre sont très variables. On peut les classer en 3 catégories:

- les TGIR (Très Grandes Infrastructures de Recherche telles que SOLEIL et LLB),
- certains Equipex dont les équipements sont ouverts à un ensemble de partenaires,

- des équipements de laboratoire dont l'accès est ouvert mais non formalisé.

L'UPSay donne l'opportunité d'améliorer la visibilité et l'accès à ces plateformes. C'est aussi l'occasion de lancer une réflexion qui conduise, dans une certaine mesure, à des règles communes, à l'uniformisation des modalités d'accès et à des moyens de fonctionnement humains et matériels pérennes.

Les TGIR sont des structures aux règles déjà bien établies ayant prouvé leur efficacité (toute demande de temps de ligne à SOLEIL ou au LLB est examinée par des comités de sélection couvrant tous les domaines scientifiques). Des échanges privilégiés pourraient être mis en œuvre entre la communauté de l'UPSay et ces TGIR. Il est souhaitable qu'un dialogue entre l'UPSay et les directions des TGIR s'établisse pour étudier ce point sans que cela vienne en contradiction avec la mission nationale de ces TGIR. Le cofinancement de thèses (laboratoire utilisateur/TGIR) est une façon efficace de travailler qu'il convient d'encourager.

Certains Equipex ont vocation à devenir plateforme, mais les modalités de fonctionnement ne sont pas encore bien établies ou rodées. Par ailleurs, il est nécessaire de mettre en place dès maintenant les moyens de financer le fonctionnement des équipements concernés au delà de la durée contractuelle (10 ans) de ces Equipex. Ce fonctionnement ne pourra pas reposer sur les seuls crédits de fonctionnement des laboratoires. L'UPSay doit pouvoir apporter un soutien financier au fonctionnement de ces plateformes en favorisant l'accès à la communauté du plateau.

Plus généralement, une plateforme peut également être un point d'entrée qui dirige les demandeurs d'une analyse particulière vers l'équipement qui répond le mieux à leur besoin. Le parc d'équipements concernés peut être délocalisé géographiquement. La pertinence de telles plateformes au sein de l'UPSay est à étudier en s'appuyant sur des réseaux d'experts. Le travail de recensement des moyens d'analyse qui est présenté dans ce document est une base à exploiter. Nous proposons dans un premier temps de mettre en place des réseaux d'experts pour les 3 techniques de laboratoire suivantes :

- "Diffraction X"
- "Microscopie électronique en transmission"
- "Analyses en champ proche"

Ces réseaux seront capables d'identifier les équipements susceptibles d'entrer dans une plateforme. Des harmonies de fonctionnement seront alors à définir pour éviter toute concurrence déloyale, notamment avec les organismes privés. Une première initiative est lancée dans ce sens (préparation d'un questionnaire détaillé à envoyer aux contacts dans les labos). L'idée pourrait être étendue ultérieurement à d'autres moyens d'analyses.

Nous proposons plusieurs types de fonctionnement pour ces plateformes dont les deux derniers pourraient bénéficier d'un soutien financier au titre de l'ouverture à la communauté. :

-le fonctionnement collaboratif : l'analyse est faite dans le cadre d'un travail commun entre le labo plateforme et le labo extérieur. L'opérateur est membre du labo plateforme. L'analyse est gratuite. Les résultats sont valorisés par des publications communes.

-le fonctionnement en accès limité : l'analyse est faite par un opérateur extérieur au labo plateforme. Il a suivi une formation adaptée. Une contribution aux frais de fonctionnement de l'équipement peut être demandée par le labo plateforme au labo utilisateur. Des actions de formation doivent être organisées pour accompagner ce mode de fonctionnement.

-la prestation tarifée : l'analyse est faite par un opérateur membre du labo plateforme. La tarification peut éventuellement prendre en compte des frais de personnel. La réflexion sur la tarification doit tenir compte des tarifs pratiqués par d'éventuels acteurs privés.

En dehors des propositions de structuration mentionnées ci-dessus, nous souhaitons que des projets expérimentaux soient lancés autour des axes suivants :

- Développement de nouvelles méthodes de caractérisation des matériaux
- Méthodes de caractérisation in situ et in operando.

3. Modélisation, simulation

La simulation sur les matériaux a naturellement des relations avec les autres axes théoriques et de simulation dans l'ensemble de PhOM. Des contacts doivent être établis avec l'action transverse initiée par PhOM «Physique théorique, numérique et modélisation» qui recense environ 100 permanents impliqués partiellement dans la modélisation des matériaux. Un premier contact avec les coordinateurs de cette action transverse a permis d'identifier un objectif partagé : favoriser les contacts et les interactions entre personnes d'UPSay, en particulier entre expérimentateurs, simulateurs et théoriciens en sciences des matériaux.

Nous formulons les propositions suivantes pour favoriser les échanges:

Premier temps: Organisation d'un workshop général d'une journée, de présentation croisée expériences-simulations en sciences des matériaux. Il serait pertinent d'avoir comme orateurs :

- des expérimentateurs qui expliquent là où la simulation les a aidés ou leurs besoins en simulations; symétriquement avec des simulateurs
- des théoriciens qui exposent les méthodes, les problèmes qu'elles peuvent résoudre, qui donnent des exemples choisis de succès d'interaction entre simulations et expériences, qui expriment des besoins expérimentaux.

Il conviendra de choisir des orateurs d'expérience et capables de "penser large".

Deuxième temps : Organisation de workshops de un ou deux jours sur des thématiques ciblées pour mettre vraiment en contact des expérimentateurs et des simulateurs ou théoriciens.

Un exemple déjà rodé et qui a fait ses preuves à l'ETSF de ce type de workshop concerne les "spectroscopies théoriques pour les expérimentateurs". Cet exemple pourrait être renouvelé dans le périmètre de l'UPSay.

Autres thèmes possibles : "Comment modéliser la croissance des matériaux?"

"Physique statistique et sciences des matériaux"

"C'est quoi ces histoires d'atomes qui bougent dans les ordinateurs"

Par ailleurs, il faudrait proposer des actions de formation à l'utilisation d'outils de modélisation. Il est certainement pertinent de s'appuyer sur la formation organisée dans le périmètre du CECAM.

Les axes de recherche qui nous paraissent souhaitables de soutenir en priorité concernent le développement et l'utilisation d'outils de simulations permettant de prédire :

- les domaines de stabilité thermodynamique d'un matériau (pur, composé, comportant des impuretés, ordonné, désordonné)
- Les propriétés physiques (optiques, électroniques, électriques, magnétiques, mécaniques) d'un matériau.
- Les mécanismes impliqués dans la croissance/la synthèse des matériaux
- Les mécanismes impliqués dans la mise en forme des matériaux (gravure, implantation...)

Des actions encore plus transverses seront aussi initiées à travers le financement de projets conjoints faisant interagir élaboration, caractérisation et modélisation.

4. Fonctionnalité dans les dispositifs, composants et systèmes

L'analyse des questionnaires recensant les activités vers lesquelles ces compétences matériaux sont destinées a permis d'établir que quasiment tous les domaines technologiques sont couverts par les départements EOE et PhOM comme l'illustre le tableau 8. En particulier on peut noter la présence d'une recherche d'un excellent niveau dans des secteurs où les enjeux sociétaux à court, moyen et long termes nécessitent une capacité d'innovation forte pour relever les défis (énergie, transports, environnement, santé...). Parallèlement, les chercheurs comprennent la nécessité de valoriser les études matériaux pour des applications qui peuvent en tirer avantage, permettent une valorisation de leur savoir-faire vers les domaines d'applications industrielles. Les possibilités d'interactions avec les secteurs industriels sont nombreuses et croissent localement avec l'implantation sur le plateau de Saclay de nouveaux acteurs : Allegro Microsystems avec CrivaSense Technologies, centre de recherche de Safran à Chateaufort sont deux exemples récents. En particulier l'intégration de

nouvelles fonctionnalités dans les dispositifs, les composants et les systèmes est rendue possible avec le fort socle de recherche en matériaux.

Les outils de structuration et de financement existent au travers des Labex, avec une vaste diversité d'activités dans le but de valoriser les travaux des équipes EOE et PhOM vers des développements applicatifs pointus dans plusieurs des domaines industriels recensés. Cependant, il est nécessaire de structurer nos relations avec les industriels afin d'accroître notre visibilité auprès d'eux et de renforcer nos interactions. La création d'un Institut des Matériaux y participerait fortement. Afin d'améliorer visibilité et interaction, deux axes se distinguent et seront poursuivis :

a) Emergence de nouvelles fonctionnalités avec une maturité suffisante pour susciter l'intérêt du secteur industriel : pour cela, trois actions ont été identifiées comme verrous et nécessitent une attention particulière :

- Nouvelles fonctionnalités et enjeux de nouveaux matériaux pour les composants
- Problématique de l'intégration de nouveaux matériaux dans les dispositifs
- Nouvelles filières dans les plateformes de micro et nano-technologies (compatibilité CMOS, dépôt grande surface)

A titre d'exemple, nous citons les deux thématiques suivantes :

Afin de rendre compatibles CMOS certains matériaux non conventionnels tels que les oxydes de métaux de transition, diverses stratégies seront mises en oeuvre. On peut imaginer par exemple l'épitaxie de ces oxydes sur des wafers de Si de grande surface, et la reconnexion avec l'électronique CMOS par les techniques flip-chip ou wafer-bonding. A plus long terme, on peut également envisager de mettre au point des procédés de croissance grande surface à basse température (<350°C) en ALD, sputtering ou CVD.

De même, les centres colorés NV dans le diamant sont au centre des travaux de plusieurs équipes sur le plateau, tant sur substrats que sur nanoobjets. Ces travaux visent des applications en biologie, en magnétométrie quantique, en optique et électronique de spin, comme sources de photons uniques pour la cryptographie et pour la fabrication de capteurs (e.g. cristaux photoniques). Une filière matériau diamant et centres NV pourrait s'appuyer sur les compétences de plusieurs équipes du plateau, visant l'élaboration, la mise en forme, et la préparation de structures compatibles avec ces applications.

b) Réduction de l'écart entre preuve de faisabilité et réalisation d'un prototype de démonstration. La montée en niveau de maturité technologique s'appuiera sur la SATT- Paris-Saclay. Des actions plus spécifiques doivent être menées pour permettre une visibilité accrue de la recherche en matériaux auprès des acteurs industriels, en particulier, outre les groupes industriels, vers les PME et PMI innovantes.

Partie 5 : Actions structurantes générales

Animation et soutien à l'activité scientifique

- Organisation de Workshops thématiques UPSay
- Organisation de séminaires réguliers et communs « matériaux »
- Lieu central pour les séminaires
- Organisation d'écoles

Liens avec l'enseignement :

- Participer à la mise en place de formations en sciences des matériaux.
- Organiser des formations doctorales sur les outils (caractérisation et technologie) des gros labos
- Financement de stages de M2 matériaux
- Financement de thèses interdisciplinaires/en cotutelle

Liens avec les acteurs industriels :

- Mise en place d'un club des industriels avec des thématiques identifiées

Communication: Création d'un site web pour présenter la recherche matériaux des labos UPSay

Partie C - Annexes

Tableau 1 : Activité d'élaboration (X) et/ou de mise en forme (grisé) des laboratoires EOE et PhOM

Systèmes matériaux		SRMP	FAST CSNSM	Geeps	GEMAC	ICMMIO	IEF	ISMO	LAC	LEMI	LIST	LLB	LPGP LPICM	LPICM	LPN	LPS	LSI	NIMBE	PMC	SASTIE	PPSM	SOLEIL	SPEC	SPMS	UMPhy	
Oxydes	Corrosion/irradiation/co ntraintes		X																					X		
	Conducteurs & Isolants					X								X		X	X				X				X	
	Supraconducteurs																						X		X	
	TCO				X																					
	Magnétiques				X											X				X			X		X	
	Optique/photonique						X						X							X						
	Nanoélectronique						X													X					X	
	Aérosols													X												
	Matériaux & patrimoine		X		X														X							
	combustibles nucléaires	X																								
Colonne IV	Nanotubes de carbones, mesoporeux									X				X	X	X										
	Si, Ge et alliages						X							X					X			X				
	Siliciures ...		X				X																			
	Diamant				X						X									X						
	Graphène, Silène			X	X									X	X	X										
Composés III-V et II-VI	GaAs, InP, GaSb, GaN... alliages						X								X								X			
	BN									X																
	II-VI, alliages				X											X										
	Composés pour photovoltaïque																									
Chalcogénures,					X																	X				

Tableau 2: Techniques de microscopies à sondes locales ou en champ proche des laboratoires EOE et PhOM

Technique		SRMP	Geeps	CNSM	GEMAC	ICM/MO	IEF	ISMO	LPICM	LLB	LPN	LPS	PMIC	UMPhy	SPEC	LST	SOLEIL	CEA-LIST
AFM	Imagerie ¹																	
	KPFM/EFM ²																	
	CP-AFM/SSRM ³																	
	MFM ⁴																	
	Sous vide																	
	Température																	
STM	Imagerie ⁵																	
	Sous vide																	
	Température																	
SNOM	Imagerie																	
SAT ⁶																		

Imagerie¹ : Contact, Intermittent, Non-contact vibrant

KPFM/EFM² : Kelvin probe/Electrostatic Force Microscopy

CP-AFM/SSRM³ : Conductive Probe Atomic Force /Scanning Spreading Resistance Microscopy

MFM⁴ : Magnetic Force Microscopy, Imagerie⁵: Courant ou distance constant

SAT⁶ Sonde Atomique Tomographique

Tableau 3: Techniques d'analyses optiques des laboratoires EOE et PhOM

Technique		SRMP	GeerS	CSNSM	GEMAC	ICM/MO	IEF	ISMO	LPGP LPICM	LPN	NIMBE	LPS	PMC	PPSM	UMPhy	SPEC	LSI	SOLEIL	CEA-LIST	LIB	
Spectroscopie IR	FTIR ¹																				
	ATR-FTIR ²																				
	μ-IR/Imagerie																				
	Température																				
Spectroscopie UV-VIS-NIR	Ellipsométrie																				
	Reflectance																				
	Transmittance/ Absorbance																				
	Température																				
Fluorescence- PL ³	Macro																				
	μ-PL																				
	Imagerie																				
	TRPL																				
	Température																				
Spectroscopie de diffusion	Raman	Macro																			
		Imagerie																			
		μ-Raman																			
		TERS- nanoRaman																			
	GN ⁴	DLS ⁵																			
Microscopie	Confocale																				
	Interféro- métrique																				

Techniques		Geeps	CNSM	FAST	GEMAC	ICMMIO	IEF	LLB	LPN	SATIE	LPS	PMC	UMPhy	SPEC	LSI	SOLEIL	SRIMP
Magnétique	VSM ⁵																
	Magnéto-optique : Effet Kerr																
	SQUID																
	Transport de spin																
	MRS ⁶																
	Susceptibilité- Magnétisation																
	RFM ⁷																
	Hystérésimètre																
	RMN ⁸																
Thermique	Thermodésorption																
	DSC ⁹																
	Chaleur Spécifique																
	TGA ¹⁰																
	Resistivité- Coeff. Seebeck																
	Conductivité thermique : 3Ω																
	Figure mérite thermoélectr. ZT																
Mécanique	μ /Nano Indentation																
	μ -duromètre																
	Machine de traction																

VSM⁵ : Magnétométrie échantillon vibrant

MRS⁶ : Magnétorésistance

RFM⁷ : Résonance Ferromagnétique

RMN⁸ : Résonance Magnétique Nucléaire

DSC⁹ : Calorimétrie différentielle à balayage

TGA¹⁰ : Thermogravimétrie

Tableau 7 : Méthodes de simulation des laboratoires EOE et PhOM

Méthodes de simulations	FAST	Gaepps	GEMAC	ICMIMO	IEF	LEM	ISMIO	LPN	LPS	LSI	PMC	SASTIE	PSSM	SOLEIL	SPMS	SRMP	SPEC	UMPhy
Structure électronique (DFT)		X		X		X	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X
Structure électronique (liaison fortes)								X									X	
Homogénéisation	X																	
Champ de phase						X					X							
Equation de Boltzmann						X				X								
Eléments finis		X	X															
Multi-échelle		X																
Monte-carlo			X	X						X					X	X		
Dynamique moléculaire			X	X						X					X	X		
Modèles de spin			X									X						
Modèles de physique statistique			X													X		
Dynamique d'amas																X		
Equation maitresse				X												X		
Modélisation optique																		
Méthode K.p								X										
Modélisation de spectroscopies									X					X				
Modélisations électromagnétiques			X		X	X			X			X						X
Modélisations structurales										X					X			

Tableau 8 : Enjeux sociétaux concernés par les activités des laboratoires EOE et PhOM

Domaine	Geeps	CSNSM	GEMAC	ICMIMO	IEF	LEM ISWO	LPGP LPICM	LLB	NIMBE LpN	SATIE	LPS	PPSM PM/C	UMPhy	SPEC	LSI	SRMP SOLEIL	CEA-LIST
Défense																	
Energie																	
Environnement																	
Habitat																	
Information et communication																	
Santé																	
Sécurité																	
Spatial																	
Transport																	

Actions transverses : Valorisation, Relations avec les industriels

Context and ambitions

Scientific innovation is one of the main tasks of the Paris-Saclay campus and this innovation contributes to the valorisation of the academic research performed in the different laboratories of the campus, for instance through technological transfer to industry. The working group (WG) has clearly identified, particularly in an emergence stage, the beneficial impact of the management of the valorisation by researchers working in conjunction with the different structures of the campus involved in valorisation (DIRE, SATT, SAIC , ...). However, in this emergence stage, corresponding to the first step of the valorisation process towards industrial environment, the differentiation with academic research constitutes, most often, a barrier for an efficient progress of the valorisation process. Therefore, the efficiency, in this emergence stage, depends strongly on the technical and training support provided to researchers. Taking into account these considerations, **our project is based on the "emergence" of valorisation which will be directly managed by the scientific community. The subsidiarity principle dictates that this emergence action will be held, controlled and arbitrated by researchers having experience in valorisation, at the department level or at the level of several departments when these departments have similar valorisation approaches (as PHOM and EOE for instance).**

More precisely, the labs in Palm and EOE create new enabling technologies, dedicated to innovation. Moreover, to reach these ambitious scientific goals, they also develop state-of-the-art instrumentation for imagery, metrology, diagnostic, control/command and so on... These innovative set-ups are precious by-products, which can fulfil academic or industrial requirements for other application fields. Most of them are performed in a short delay, two or three years between ideas and achievement. So, the efforts in innovation have to be focused on both the new enabling technologies and these set-ups. **A representative result obtained during the last decade is the significant number of spin-offs emerged from the Campus**, as for instance Fastlite, Phasics, Leosphere, Genewave, NawaTechnologies,... **which originates from the research world.** At least 75% of them overcame the barrier of the three-years life expectancy.

From their creation, the Triangle de la Physique and the Palm and NanoSaclay Labex were concerned by the valorisation, and they developed an approach to contribute to the emergence of the valorisation and to enhance this stage. This approach is effectively working and is largely appreciated, especially by researchers having little experience in the field of dissemination towards industrial environment. **The actions arising from this approach are driven by researchers and are supported by a budget which is devoted to expenses related to the scientific and technical projects**, and not to actions of promotion or advertising which are sterile for the development of the emergence stage of valorisation. Valorisation initiatives with high potential, directly promoted by this approach, contributed to the signature of license agreements, and, for some of them, to pre-maturation (IDEX) or maturation (SATT...) projects. Such an approach was possible and effective because the budget allocated makes possible the development of the approach on several valorisation projects.

Approach and strategy

In this context, the WG identified several strategic priorities that will emerge in this valorisation action, together with the support necessary for their implementation. **The actions to be undertaken are intended to provide support, on both experimental and human aspects but also through training, to research groups interested in exploiting and valorising the results of their research. This will help to detect emerging development projects exhibiting high potential for dissemination towards industrial environment and to contribute to scientific and technological developments that will feed the pre-maturation step.**

We recommend that this valorisation procedure, contributing to the enhancement of the emergence stage, becomes **a long term and permanent action with a recurring annual budget and based on a steering and decisive committee at the department level** (or at the level of several departments). We believe that this approach, already proven in different structures (Triangle de la Physique, Labex Palm and NanoSaclay), comes in complementarity with the actions initiated by different structures of the campus involved in valorisation (DIRE, SATT, SAIC , ...).

Consequently, the main actions recommended by the WG for the Department are the following ones:

- Managing and driving the emergence of valorisation in laboratories, relying on the approach performed in labex Palm and Nanosaclay
- Sustaining, beyond the emergence stage, the existing initiatives devoted to the support of valorisation,
- Educating and training the research teams in valorisation and intellectual property
- Participating in performing a web portal describing the scientific activities of the labs
- Promoting the access to installations and platforms for industry
- Reinforcing and facilitating the links between students and industrial world
- Contributing, at the campus level, to the implementation of clubs of industries,

In order to capitalize on the past successful experiences and to upgrade the efficiency of this approach, at the Department level, we propose to define performance criteria. In a first step, the following criteria are listed below according to interest and priority order:

- patents and papers,
- shared patents,
- licences,
- prizes and grants from institutional agencies,

- transfer to IRT, SATT and IEED,
- creations of academy/industry consortium
- spin-off creation
- job creation

Projet IDEX OPT2X : un exemple de développement de partenariats industriels

Introduction

Le développement de nos programmes de R&D, aussi bien au plan technologique que financier, nous incite à chercher des partenariats actifs et des projets collaboratifs avec les autres acteurs du monde économique et technologique (PME, agences gouvernementales pour l'innovation technologique, Commission Européenne). Au-delà des actions de valorisation initiées par les chercheurs et les équipes académiques (brevets, licences, création de start-ups), cette contribution vise à analyser les opportunités en termes de partenariat public-privé, à travers les actions déjà entreprises et répertoriées au sein du consortium OPT2X et de l'Equipex ATTOLAB, ainsi que dans le cadre du projet APOLLON (Equipex CILEX).

Le partenariat Public-Privé

Trois types d'interaction peuvent être définis, impliquant un acteur académique (établissement et/ou laboratoire) et des acteurs industriels :

➤ *Producteur Industriel/ Client Académique*

Le laboratoire établit un cahier des charges qui définit un équipement ; l'industriel réalise seul l'équipement. Dans ce cas il n'y a pas ou peu de transfert de connaissances. Néanmoins, sous certaines conditions le laboratoire peut devenir un « utilisateur privilégié », témoignant des performances de l'équipement et donc du savoir-faire de l'industriel. La « démonstration » ou « vitrine académique » représente une valeur ajoutée pour ce dernier, et mérite donc d'être valorisée au bénéfice du « client ».

➤ *Un Partenariat Public/Privé paritaire*

Les partenaires académiques et industriels partagent leurs compétences, une partie des ressources et de la propriété intellectuelle antérieure. C'est le cadre dans lequel évoluent les partenaires du consortium OPT2X. Les bénéfices viennent de l'acquisition et de la valorisation de nouvelle propriété intellectuelle pour les partenaires académiques et industriels, de l'optimisation des ressources ainsi que de l'abondement apporté par les agences de financement, gouvernementales (ANR, FUI) et européennes (Horizon 2020, voir ci-dessous).

➤ *Un "producteur" ou "fournisseur" académique et un "client" industriel*

L'industriel acquiert auprès du laboratoire académique, moyennant paiement, un produit valorisable du type étude, procédé (licence/brevet) ou équipement. Ce schéma est actuellement peu exploré. Dans le domaine de l'interaction Rayonnement-Matière et la R&D sur les sources de lumière et de particules il recouvre le simple transfert de connaissances vers l'industriel ou la prestation de service, mais les exemples sont rares et les procédures peu systématisées. Ce type d'action, qui peut apporter une plus grande visibilité et des ressources pérennes à la recherche académique, notamment dans le cadre des programmes de H2020, mériterait d'être étendu et organisé.

Le Niveau de Maturité Technologique (Technology Readiness Level)

Dans l'analyse de la R&D, l'échelle de Maturité Technologique a été créée pour aider les acteurs à se positionner dans la filière de production d'un objet à forte valeur d'innovation. Elle prend en compte toutes les étapes, de la recherche fondamentale au « produit sur étagères ». En annexe du programme H2020, la commission européenne a donné la définition suivante :

Where a topic description refers to a TRL, the following definitions apply, unless otherwise specified :

TRL 1 - basic principles observed	
TRL 2 - technology concept formulated	
TRL 3 - experimental proof of concept	
TRL 4 - technology validated in lab	
TRL 5 - technology validated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)	
TRL 6 - technology demonstrated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)	
TRL 7 - system prototype demonstration in operational environment	

TRL 8 - *system complete and qualified*

TRL 9 - *actual system proven in operational environment (competitive manufacturing in the case of key enabling technologies; or in space)*

Le contexte du programme Horizon 2020

Trois piliers ont été définis pour la de R&D dans « Horizon 2020 »:

- Le Programme « Excellent Science » visant à élever le niveau d'excellence de la recherche fondamentale et assurer une dynamique stable de recherche de classe internationale pour assurer la compétitivité à long terme en Europe. Ce programme supporte les différentes actions de type ERC (support de talents individuels et/ou des synergies), FET (recherche collaborative), MSCA (formation et dissémination) et RI (Infrastructures de Recherche) ;
- Le programme « Competitive Industries » vise à soutenir l'ensemble du tissu industriel européen, mais notamment les PME ; il facilite aussi l'accès aux financement à risque, en promouvant l'investissement privé et le capital de risque pour la recherche et l'innovation.
- Le programme « Défis Sociétaux » (Santé, Bioéconomie, Energie, Transports, changement Climatique et Ressources, Sociétés Inclusives) reflète les priorités de la stratégie [Europe 2020](#) en termes des politiques communautaires.

Exemples de partenariats Académique / Industriels

Au vu des catégories de partenariat identifiées et des éléments évoqués précédemment, il est possible de faire un premier bilan analytique sur les projets et collaborations passés et/ou en cours, par les partenaires d'OPT2X, ATTOLAB et APOLLON.

Il est aussi à souligner que d'autres actions sont en cours, visant à rapprocher de façon globale le monde académique et les industriels dans le domaine de la R&D en Optique et Sources de Rayonnement, comme l'action COST MP1203 « Advanced X-ray Spatial and Temporal Metrology », coordonnée par le LOA, membre d'OPT2X et ATTOLAB.

➤ *Producteur Industriel/ Client Académique*

Plusieurs partenaires d'OPT2X et du département PhOM poursuivent naturellement cette approche.

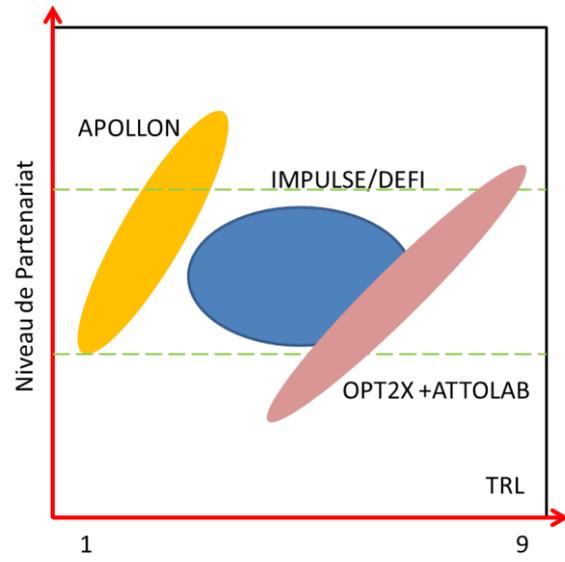
- **SOLEIL/ HORIBA JOBIN YVON:** Le site web de HORIBA-Jobin Yvon met en exergue les réalisations de lignes de lumière sur les synchrotrons, en particulier à SOLEIL.
- **LIDyL :** Dans le projet FUI STAR (développement d'un système laser OPCPA ultra-bref dans l'infra-rouge moyen), démonstration des performances du système pour l'optique non linéaire en phase gazeuse/solide, élément essentiel de validation du produit sur le marché, essentiellement académique, de la recherche autour de l'interaction laser-matière (voir aussi ci-dessous).

➤ *Partenariat Public/Privé paritaire*

- Laboratoire commun « *IMPULSE* », **LIDyL/Amplitude Technologies** : 5 projets, 50-50 en ressources humaines, mise à disposition de matériel ; 2 stages d'entreprise, 1 Stage Post-Doc, TRL compris entre 3 et 7. Deux autres sujets spin-off démarrent avec TRL 1 et seront mis en commun par la suite. Bénéfices : accès aux ressources, partage de la PI produite, accès privilégié du partenaire académique aux produits de développement
- Laboratoire commun « *DEFI* », **IOGS-LCF/ Amplitude-Systèmes** : lasers femtoseconde pompés par diodes et leurs applications ; 50-50 en ressources humaines, mise à disposition de matériel, 3 thèses CIFRE ; TRL 3-7, Bénéfices : 4 brevets, partage della PI produite.
- Partenariat **LASERIX/Amplitude Technologies**: Génération et contrôle temporel d'impulsions précurseurs sur lasers UHI pour optimiser la production des impulsions XUV ; Thèse CIFRE ; TRL 2 ; bénéfices : cofinancement thèse.
- Collaborations **LCF, LIDyL, LOA/ FASTLITE** : Caractérisation d'impulsions ultracourtes du proche infrarouge au proche UV: plusieurs sujets, thèses CIFRE, projets ASTRE (Département Essonne), 1 projet FUI-Innovation Stratégique Industrielle ;TRL 2-4 ; bénéfices : financement par contrat.
- Partenariat **LIDyL-IMAGINE OPTIC** : test de validation d'un miroir déformable dans le cadre du projet FUI « SAPHIR ». TRL 6-7. Retour : hébergement permanent du matériel testé
- Partenariats **IOGS-LCF/ ESSILOR/ XENOCs/ SAGEM-REOSC** : Développements d'optiques multicouches X : projets de collaboration et thèses ; TRL 4-6 ; bénéfices : cofinancement thèses, retour financier.
- Partenariat **APOLLON/ RSA** : réalisation de cristaux Ti:Sa de grande taille pour amplificateurs ; financement par ILE + investissement de RSA; Collaboration initié par ILE, avec un niveau de TRL 1 au départ. Bénéfice pour les académiques : avoir une seconde source de cristaux et des tarifs préférentiels.
- Partenariat **APOLLON/ SILIOS** : réalisation d'homogénéiseurs pour les lasers de pompe; financement par ILE + investissement de SILIOS ; Collaboration initié par ILE, avec un niveau de TRL 3 au départ. Bénéfice pour les académiques : licence commune avec Silios et possibilité de toucher des royalties.
- Partenariat **APOLLON / IMAGINE OPTIC** : création d'un miroir déformable de grande dimension compatible chaîne Ti :Sa et fourniture d'une plate forme de caractérisation de la qualité spatiale d'optique de diamètre $\geq 600\text{mm}$: niveau TRL4 ; financement par projet ASTRE (Département de l'ESSONNE), par le laboratoire et par Imagine Optic. Transfert de savoir-faire sur la partie contrôle commande. Bénéfice pour l'académique : possibilité de valoriser la plateforme de mesure, miroir déformable à prix cassé.
- Partenariat **APOLLON – LOA / REOSC** : traitements de surface compatibles avec un spectre de 200nm et avec une tenue au flux d'environ $5\text{J}/\text{cm}^2$: TRL2 ; bénéfices pour les académiques : thèse CIFRE financée entièrement par l'industriel, valorisation des moyens de tests de tenue au flux du LOA.
- Partenariat **APOLLON – Institut Fresnel (Marseille) / REOSC – JOBIN YVON** : nouveaux réseaux de diffraction ; financement par projet ASTRE (Département de l'ESSONNE), et par les industriels. TRL 3-4. Bénéfices pour les académiques : contrat de licence sur un brevet vers JOBIN YVON.

➤ *“Producteur” académique / “Client” industriel*

- **IOGS-CeMOX** : ouverture et prestations de service à plusieurs industriels (**HORIBA-Jobin-Yvon, Mécaconcept, WINLIGHT X**) dans le domaine des optiques X multicouches. TRL entre 7-9. Retour Financier.
- **LASERIX** : relations continues avec **Amplitude Technologies, Quantel, Fastlite** et d'autres, avec échanges et tarifs négociés suite à tests, validations, retours d'expériences.
- **APOLLON** : Transfert de connaissances vers **Thales Optronique (TOSA)**. TRL 3-4. Retour contractuel 50% en ressources financières, 50 % en matériel.



Actions transverses : Formation et relations avec les Ecoles Doctorales

Projet De Département Contribution Axe Formation

Le département PhOM est concerné par les schools « Basic Sciences » et « Engineering », et par les écoles doctorales (ED) : EDOM (Ecole Doctorale Ondes et Matière), PIF (Physique en Ile de France), Interfaces, EOBE (Electrical, Optical, Bio-physics and Engineering) et 2MIB (Molécules, Matériaux, Instrumentation et Biosystèmes). L'ED PIF est la seule qui relève de deux COMUE différentes (elle a été évaluée par l'AERES en vague D et non E comme les autres ED, alors que le projet d'espace doctoral de l'UPSay commençait seulement à être discuté). PhOM en tant que département de recherche est organiquement lié à ses écoles doctorales. Toutefois, les ED ne relèvent que partiellement de PhOM. 2MIB (chimie) et EOBE relèvent principalement des départements de Chimie et EOE. EDOM, PIF (pour sa partie Paris-Saclay) et Interfaces relèvent très majoritairement de PhOM.

Des statistiques pertinentes pour PhOM ne sont pas faciles à établir, en raison de la non-concordance entre départements, laboratoires, et ED. La taille des ED en nombre de doctorants et de personnels Habilités à Diriger les Recherches (HDR), ainsi que d'autres indications, sont donnés dans le tableau ci-dessous. Nous disposons de statistiques précises pour l'EDOM et ses laboratoires, et à un degré moindre pour PIF.

- **recrutement** : le **recrutement de doctorants se fait minoritairement à Paris-Saclay**, et même très minoritairement dans le cas de PIF. La part des ingénieurs inscrits en thèse à l'EDOM n'est pas négligeable (25%). On pourra considérer l'évolution de ce nombre comme un critère d'évolution des écoles de Paris-Saclay vers le standard international, qui est que l'élite des étudiants est formé par la recherche et obtient un PhD. Il faut noter que la part des ingénieurs n'est pas du tout homogène quand on regarde la distribution entre laboratoires. La fraction d'étrangers recrutés en master étranger n'est pas très élevée (13% pour l'EDOM), mais si on y ajoute les étrangers venus à Paris-Saclay en M1 / M2, le pourcentage approche 40%. Si l'on différencie ces chiffres par laboratoire, on constate de très grosses variations : certains recrutent très majoritairement des étrangers (75% à l'ISMO). Ces chiffres permettent de considérer que **l'attractivité des laboratoires de PhOM est globalement bonne pour les étudiants étrangers**.

- **encadrement** : le taux moyen de doctorants par HDR est faible (à peine plus de 1 pour l'EDOM, nettement moins de 1 pour la partie UPSay de PIF. La comparaison entre PIF Paris-Centre et PIF Paris-Saclay est très préoccupante, puisque le taux est deux fois plus élevé à Paris Centre, ce qui à notre avis est très révélateur des problèmes de transport et d'absence de vie de campus à Paris-Saclay). Ce taux de l'ordre de 1 est à rapprocher de la recommandation de ne pas dépasser 3 doctorants par HDR : on en est très loin en moyenne, ce qui correspond à un **déficit flagrant de doctorants**. Certains HDR n'ont qu'occasionnellement l'occasion de recruter des doctorants au cours de leur carrière. Le cas de l'ISMO montre une **forte disparité entre domaines de recherche**. Si le taux d'encadrement dans ce laboratoire est satisfaisant pour les domaines correspondant aux « défis sociétaux » (nanosciences et physique pour la biologie et la santé), il est très faible pour les domaines académiques. **Le ratio varie d'un facteur 4 à l'intérieur de ce laboratoire suivant les domaines de recherche**. L'évaluation par l'AERES, très homogène pour ce laboratoire, montre que l'explication ne relève pas du niveau des encadrants. De même, si on regarde, **à l'intérieur d'une même école doctorale**, les variations du taux d'encadrement en fonction des laboratoires (tableau 2), **on constate également une forte variation, d'un facteur 3, entre laboratoires**. Un élément d'explication est que certains laboratoires ont une école et/ou un master, dans leurs murs, mais cela n'explique pas tout puisque le recrutement des doctorants est majoritairement extérieur à Paris-Saclay. **Il faudrait donc tout faire pour augmenter le taux doctorants / HDR** : par exemple faire savoir aux étudiants

l'excellence scientifique des laboratoires de Paris-Saclay, ainsi que le niveau de reconnaissance internationale du PhD, qui est beaucoup plus élevé qu'un diplôme d'ingénieur à BAC + 5.

- **devenir professionnel** : des statistiques sont établies par les ED annuellement et sont transmises au ministère. Le souci avec ces statistiques est que le taux de réponse des anciens doctorants diminue vite avec les années. Pour l'EDOM, on constate un **taux de chômage faible** (5% pour les années N-1 à N-4), mais un **taux d'anciens doctorants en postdoc élevé** (47% globalement sur les quatre années). Ce taux diminue bien quand le temps écoulé depuis la soutenance augmente (facteur 3 entre N-1 et N-4), mais compte tenu du très faible taux d'embauche actuel dans les universités et les organismes de recherche, on peut s'inquiéter de ce taux élevé d'anciens doctorants qui « s'attardent » dans la recherche académique. Enfin, en 2013 environ 15% des doctorants ont bénéficié d'un recrutement en CDI avant la soutenance, ce qui montre que **pour certains industriels la reconnaissance du doctorat est une réalité**.

	Etablissements opérateurs	Nombre de doctorants UPSay 01/01/2014	Nombre d'HDR UPSay 01/01/2014	Proportion recrutée dans les établissements UPSay	Proportion doctorants / HDR	Sans-emploi 2010-2013	En post-doc 2010-2013
EDOM	Paris Sud IOGS Polytechnique	210	200	20% univ 25% écoles 13% étranger (2011-2015)	1.2	5%	47%
PIF	(Paris-Centre) Paris-Sud Polytechnique	114	179	11% (2014-2015)	0.64		
Interfaces	Polytechnique Centrale-Supelec UVSQ ENSTA	140	140		1		
EOBE	Paris-Sud ENS Cachan Centrale-Supelec IOGS	306	158				
2MIB	Paris-Sud ENS Cachan UVSQ UEVE Polytechnique	301	280				

Ratio doctorants / HDR pour les plus gros laboratoires de l'EDOM :

EDOM	Doctorants	HDR	Doctorants / HDR
ISMO	26	32	0.8
LAC	25	22	1.1
LCF	47	22	2.1
LPGP	7	10	0.7
CEA	25	24	1

Le rôle du département dans la formation est à inventer, puisque Paris-Saclay commence avec une structure particulière. Il faudra suivre, en concertation avec les schools et les écoles doctorales concernées, l'évolution du flux d'étudiants des schools vers les ED selon les disciplines, les laboratoires, les établissements. Il lui appartiendra de faire des propositions concernant l'évolution du contenu des enseignements afin que les disciplines soient correctement irriguées en futurs

doctorants. Les autres missions du Département sont de promouvoir le diplôme de doctorat au sein de l'Université Paris-Saclay, de contribuer à la stratégie d'évolution du contour des écoles doctorales, de faire connaître les laboratoires de recherche aux étudiants dès le niveau L3, de contribuer au financement de stages des étudiants de tous niveaux en laboratoire de recherche.

L'origine des doctorants est très diverse, comme on l'a vu plus haut, ce qui est un bon signe. De nombreux doctorants sont étrangers, venus soit en master, soit directement en doctorat. On remarque à ce propos que les parcours Erasmus seraient plus efficaces pour attirer des étudiants étrangers en doctorat s'il existait des financements couplés master + thèse, et s'il existait des financements appropriés pour prendre la relève des financements européens quand ceux-ci s'arrêtent. On a relevé plus haut que la proportion de doctorants issus de Paris-Saclay est faible, ce qui est vrai aussi pour les écoles d'ingénieur qui recrutent à BAC + 2 l'élite des étudiants. On peut s'interroger sur le fait que dans certains établissements les étudiants sont très fortement incités à partir faire leur doctorat à l'étranger. Bien entendu il est souhaitable qu'il existe un flux sortant et de ne pas s'opposer au goût de la découverte des étudiants, mais il ne faut pas pour autant perdre trop d'étudiants de qualité. Pour ceux qui souhaitent rester plus tard dans la recherche académique, le fait de faire une thèse à l'étranger, plutôt qu'un postdoc, peut compliquer la recherche d'un emploi académique en France.

Analyse SWOT de l'espace doctoral : la principale **force** est la qualité et la quantité des laboratoires de recherche, ainsi que la dynamique impulsée par la recomposition des masters et des écoles doctorales, qui mutualise les moyens en formation, et généralise les meilleures pratiques à l'ensemble des écoles doctorales (démarche qualité), sans oublier l'appel d'offre IDI qui apporte depuis 3 ans un complément bienvenu de contrats doctoraux.

Les **faiblesses** concernent le taux de doctorants par HDR qui est trop faible. Il est inégal, et est très en-dessous des standards internationaux. Ceci résulte d'abord du problème national de manque de reconnaissance du Doctorat en France, diplôme pourtant le plus reconnu dans le monde entier, qui seul représente une véritable formation par la recherche. Le doctorat reste très peu attractif pour l'élite des étudiants des écoles d'ingénieur, qui part ainsi majoritairement dans les entreprises sans être formée par la recherche. Nous proposons que le taux de doctorants de PhOM issus de ces écoles fasse l'objet d'un suivi, et que soient prises des mesures d'incitation ou, au minimum, d'information spécifique à l'intention des étudiants des écoles. Ceci est un véritable enjeu. Ensuite, la situation à l'intérieur de l'Ecole Doctorale Physique en Ile de France montre que le campus de Paris-Saclay est actuellement nettement moins attractif que Paris-Centre, qui bénéficie d'un taux supérieur d'un facteur 2. Le problème de l'isolement du Campus, et de la décrépitude constatée de la ligne B du RER, sont évoqués au chapitre des menaces ci-dessous.

Les **opportunités** pour le doctorat sont la visibilité et la dynamique qui accompagnent les constructions du Campus, qui sont dues à des industriels autant qu'aux laboratoires de recherche et aux nouveaux bâtiments d'enseignement. Si on arrive à dépasser les clivages historiques fondamental / appliqué d'une part, école d'ingénieur / université d'autre part, l'Université Paris-Saclay pourrait enclencher un cercle vertueux qui aboutirait à améliorer fortement le recrutement de personnels formés par la recherche au sein des entreprises, ce dont toute la France bénéficierait. Le récent découpage de la physique entre départements de Paris-Saclay montre que le clivage fondamental / appliqué n'a pas disparu. Cependant, chacun peut constater que les actions de valorisation se développent fortement dans tous les laboratoires, y compris dans ceux de recherche fondamentale, ce qui est très encourageant. Enfin, la création de l'Université Paris-Saclay est évidemment une opportunité pour améliorer les relations entre écoles et universités, et favoriser l'accès au doctorat d'un plus grand nombre d'élèves-ingénieurs.

Les **risques** sont de deux ordres : d'une part ce n'est plus seulement le tissu industriel national, mais également le tissu de R&D, qui se défait dans le cadre de la mondialisation et d'absence de politique nationale. Certaines opérations de valorisation issues des laboratoires se font avec des entreprises étrangères non implantées en France ! Ceci est un gaspillage du point de vue économique. Le second risque vient du Campus comme lieu de vie : on observe par exemple que le prestige scientifique d'Orsay et son cadre arboré ne compensent plus les graves difficultés du RER et l'isolement par rapport aux commerces, à la restauration ou à la culture, qui sont restées gravement absentes du campus au fil des décennies. Or le plateau de Saclay est bien plus rébarbatif encore que la vallée d'Orsay. Beaucoup se demandent si l'aménagement du Campus en tant que lieu de vie a réellement été pris en compte avec l'attention requise. Ce n'est pas du tout l'impression que donne par exemple l'aménagement du quartier du Moulon : destruction massive de l'espace arboré, constructions très décevantes sur le plan esthétique, absence de vraies pistes cyclables...

Sur le plan stratégique, en dehors d'une mission permanente de contribuer à optimiser le flux d'étudiants en doctorat, le département aura à réfléchir et faire des propositions dès 2017 concernant l'**évolution des écoles doctorales** dans lesquelles il est partie prenante : par exemple le continuum qui va des nanosciences à la matière condensée est arbitrairement coupé en trois entre EDOM (UPSay), PIF (UPSay et Paris-Centre), EOBE (UPSay) : cette situation n'avait pas été discutée en temps utile entre EDOM et PIF car les deux ED appartiennent à des vagues différentes d'évaluation. L'ED Interfaces a été définie sur la base d'un concept et d'un objectif spécifiques, qu'il sera intéressant d'examiner après quelques années de fonctionnement. Enfin, il faudra être attentif aux interfaces : par exemple la physique pour la biologie se développe un peu partout. Elle n'est pourtant pas clairement visible, ni au sein de PhOM dans le découpage en pôles, ni dans celui des ED.

Actions transverses : Plateformes Instrumentales

Action transverse plateformes instrumentales

Résumé

Les plateformes instrumentales représentent une partie très importante du paysage scientifique de PHOM. Elles constituent une spécificité de PHOM, se démarquant en cela de Paris Centre ainsi que des autres grands pôles de recherche français. Il existe une grande variété de plateformes, mais on peut dégager essentiellement 6 pôles : SOLEIL (Rayonnement X), LLB-ORPHEE (rayonnement neutrons), les grands Lasers (dont le LULI), les salles blanches, la microscopie électronique, les moyens d'irradiation et un grand nombre de plus petites plateformes, essentiellement de caractérisation à l'exception d'une plateforme de spectroscopie théorique. Elles offrent un support dans un très vaste champ scientifique, recouvrant les sciences des matériaux, la matière condensée, la matière diluée, la biologie et la santé, la physique des plasmas, la chimie et physicochimie, l'optique et la nanooptique, l'électronique et la nanoélectronique, etc...

Ces installations fournissent à la communauté française, européenne mais aussi internationale des moyens expérimentaux de premier plan, du plus haut niveau mondial, grâce à des développements permanents, et donnent naissance à de nombreuses publications. En outre, leur qualité entraîne une forte attractivité pour des équipes internationales (Europe, Etats-Unis, Japon) attirant chaque année plusieurs centaines de scientifiques d'horizons divers, souvent au travers de collaborations internationales. Elles assurent ainsi une visibilité internationale au plateau de Saclay, et de façon plus large à la région. Les plateformes entretiennent des liens étroits avec l'industrie, à travers l'émergence de start-up ou de collaborations avec des entreprises franciliennes ou au-delà.

Les plateformes participent activement à la formation de thésards et de post-doc.. Leurs personnels sont directement impliqués dans les enseignements universitaires ou de grandes écoles [rajouter lien avec plateformes].

Les modalités d'accès et de financement des plateformes varient suivant leur taille. Le principe d'accès subventionnés non-payants pour les académiques, après passage par un comité de sélection est la norme pour les grosses plateformes, et ce principe devra être étendue aux plateformes intermédiaires, avec le soutien de PHOM. En effet, il n'est pas identifié de besoins à moyen termes en instruments (UPSay a été très bénéficiaire des appels EQUIPEX), mais en termes d'organisation, de logistique (accueil de visiteurs...) et de budget de fonctionnement. En effet, ce budget n'est pas garanti pour les plateformes à rayonnement national ou international et qui ne sont pas des TGIR.

Il est clair qu'une des missions majeures de PHOM est de coordonner, rationaliser voire dans les cas où cela n'existe pas, mettre en place, les modalités d'accès aux plateformes, ainsi que d'inciter au développement de thématiques communes aux plateformes (traitement et stockage de données, par exemple). Finalement, une menace est très clairement identifiée avec l'abandon anticipé d'Orphée, seule source nationale de neutrons, contrairement à la feuille de route établie par le haut conseil des TGIR en 2013, et malgré la haute qualité des programmes soulignés par les rapports d'évaluation successifs. PHOM doit pouvoir manifester son soutien au maintien en fonctionnement du réacteur Orphée, et participer avec d'autres acteurs (société française de neutronique, INP, ...) à la définition d'une nouvelle stratégie française pour l'avenir de la neutronique.

Activité transverse PHOM

« Plateformes instrumentales »

P. Audebert (LULI), P Monot (LIDYL, CEA), S. Kazamias (P11)
L. Perfetti (LSI, P11), B. Boizot (LSI, CEA), M. Kociak (LPS, P11), D. Colson (SPEC, CEA),
S. Petit (LLB, CEA, sylvain.petit@ea.fr), P. Roy (SOLEIL)

Ce document décrit les travaux réalisés dans le cadre de l'action transverse « Plateforme instrumentales » du GT PHOM. Ce groupe de travail est composé de L. Perfetti (LSI), P. Audebert (LULI), P Monot (CEA), D. Colson (CEA), S. Kazamias (P11), B. Boizot (CEA), M. Kociak (P11), S. Petit (CEA) et P. Roy (SOLEIL). Ce document recense les plateformes présentes sur le site Paris-Saclay, implantées à l'université Paris-Sud, dans les laboratoires du CNRS, ou du CEA/Saclay. Sur la base d'une analyse force/faiblesse, il décrit ensuite les propositions que PHOM pourrait porter pour l'avenir.

1) Etat des lieux

Les plateformes instrumentales représentent une partie très importante du « paysage scientifique » de PHOM. Elles constituent une spécificité de PHOM, se démarquant en cela de Paris Centre ainsi que des autres grands pôles de recherche français. Le travail de recensement de ces installations (voir la liste ci-après) montre que leur nombre s'élève à environ 110. Se dégagent essentiellement 6 pôles formés par :

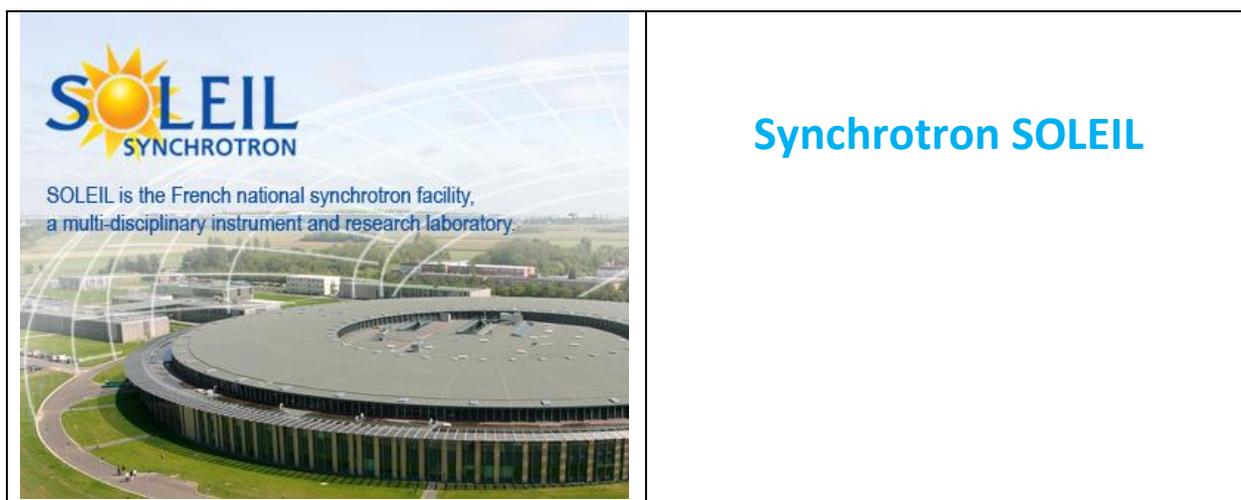
SOLEIL (Rayonnement X), LLB-ORPHEE (rayonnement neutrons), Les grands Lasers (dont le LULI), les salles blanches, la microscopie électronique, les moyens d'irradiation et un grand nombre de plus petites plateformes, essentiellement de caractérisation.

A noter que par le terme de plateforme, on entend une installation ouverte aux chercheurs, bénéficiant d'un support et d'une assistance technique, et dont les coûts de fonctionnement importants (plus de 100 keuros) impliquent une certaine mutualisation. La plupart de ces installations sont accessibles par la voie classique de comités de sélection, qui attribuent le temps de faisceau à partir de l'examen critique d'un projet scientifique. Les autres ont des modes d'accès plus variés, soit par comité de sélection, soit par le biais direct de collaborations scientifiques ou de prestations.

Ces installations fournissent à la communauté française, européenne mais aussi internationale des moyens expérimentaux de premier plan, du plus haut niveau mondial, grâce à des développements permanents. Ces installations constituent le creuset où un très grand nombre de publications voit le jour. En outre, leur qualité entraîne une forte attractivité pour des équipes internationales (Europe, Etats-Unis, Japon) attirant chaque année plusieurs centaines de scientifiques d'horizons divers. Elles assurent ainsi une visibilité internationale au plateau de Saclay, et de façon plus large à la région.

Enfin, en se maintenant à la pointe des technologies, les plateformes contribuent à l'émergence de start-up, et contribuent au développement industriels francilien d'éléments de haute technologie, comme les réseaux de diffraction de grande dimension fabriqués par Jobin-Yvon pour les lasers de puissance et les systèmes de correction adaptative développés par Phasics, imagine optics et la CILAS.

On donne ci-dessous quelques-unes des caractéristiques principales des grands pôles



SOLEIL, acronyme de « Source Optimisée de Lumière d'Énergie Intermédiaire du LURE », est un accélérateur de particules (d'électrons) qui produit le rayonnement synchrotron, source de lumière extrêmement puissante qui permet d'explorer la matière inerte ou vivante. Financé par deux principaux actionnaires, le CEA, le CNRS et ses autres partenaires, la région Ile de France, le département de l'Essonne, la Région Centre et l'Etat (Ministère de la recherche), SOLEIL a un statut privé de « Société Civile ». SOLEIL est une source de lumière dotée de propriétés exceptionnelles et nécessaires pour les communautés scientifiques et industrielles (grande brillance : 10000 fois plus intense que la lumière solaire, grande gamme spectrale source « blanche » allant des THz (1meV) aux rayons X durs (50 keV), polarisation (linéaire, circulaire etc.), source pulsée. Il ouvre ainsi de nouvelles perspectives pour sonder la matière avec une résolution de l'ordre du milliardième de mètre et une sensibilité à tous les types de matériaux. La mission de SOLEIL est triple :

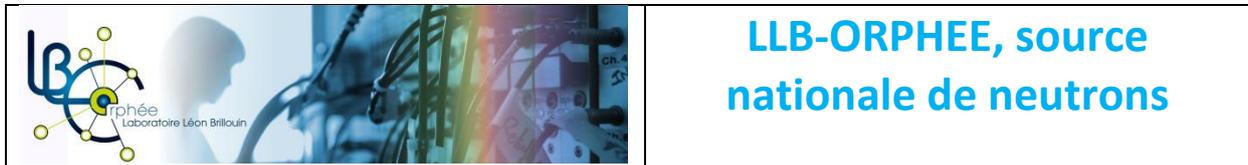
- une mission d'accueil pour soutenir les projets retenus par les comités de programme,
- une mission de développement d'instruments afin de maintenir chaque ligne à la pointe de la recherche internationale
- une mission de recherche d'excellence autour des équipes de lignes et des laboratoires supports.

Modalités d'accès

Synchrotron SOLEIL accueille plus de 4000 utilisateurs par an (chiffres 2014) sur 28 lignes de lumière. L'accès est ouvert à tout scientifique venant du monde entier et concerne aussi bien des chercheurs et ingénieurs appartenant à des organismes de recherche publique que des utilisateurs industriels et s'effectue selon deux types d'accès: un accès payant pour les utilisateurs qui demanderont un accès rapide ou confidentiel et qui seront exemptés de passer par les comités de programmes et un accès gratuit pour les utilisateurs qui publieront leurs résultats (obligatoire) et dont les demandes de temps de faisceau seront soumises et évaluées par l'un des six comités de programmes:

1. Matière diluée
2. Propriétés électroniques et magnétiques de la matière - Surfaces et Interfaces
3. Propriétés de la matière et des matériaux : Structure, Organisation, Caractérisation, Elaboration
4. Chimie et physico-chimie - Réactivité in situ - Matière molle
5. Biologie - Santé
6. Matériaux anciens - Terre et Environnement

Les membres des comités de programmes sont des scientifiques nommés pour une période de deux ans renouvelables. Ils se réunissent deux fois par an, et recommandent l'allocation du temps de faisceau en fonction du temps de faisceau disponible.



Le Laboratoire Léon Brillouin associé au réacteur Orphée est un laboratoire national, implanté sur le site du CEA/Saclay, financé conjointement par le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et le Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) (UMR 12). C'est à la fois un laboratoire de service et un laboratoire développant une activité scientifique propre. Ses missions sont :

- Promouvoir l'utilisation de la diffraction et de la spectroscopie neutronique dans tous les domaines possibles de la recherche fondamentale et appliquée.

- Accueillir et assister les équipes d'expérimentateurs qui viennent, pour un temps limité, réaliser une expérience grâce à l'un des instruments mis à leur disposition.

- Maintenir, sur ses propres programmes scientifiques, une recherche de qualité. Cette activité scientifique propre peut se regrouper en trois secteurs sensiblement d'égale importance: la physico-chimie « soft complex matter », « matériaux et nanosciences », « magnétisme et supraconductivité ».

Les spectromètres du Laboratoire Léon Brillouin, principalement destinés à l'étude de la matière condensée utilisent les neutrons produits par le réacteur Orphée. Il s'agit d'un réacteur de recherche, outil complémentaire de son voisin le synchrotron SOLEIL. Le réacteur a divergé pour la première fois le 19 décembre 1980. Il accueille tous les ans de l'ordre de 500 visiteurs scientifiques français et étrangers. ORPHÉE est un réacteur de type « piscine ».



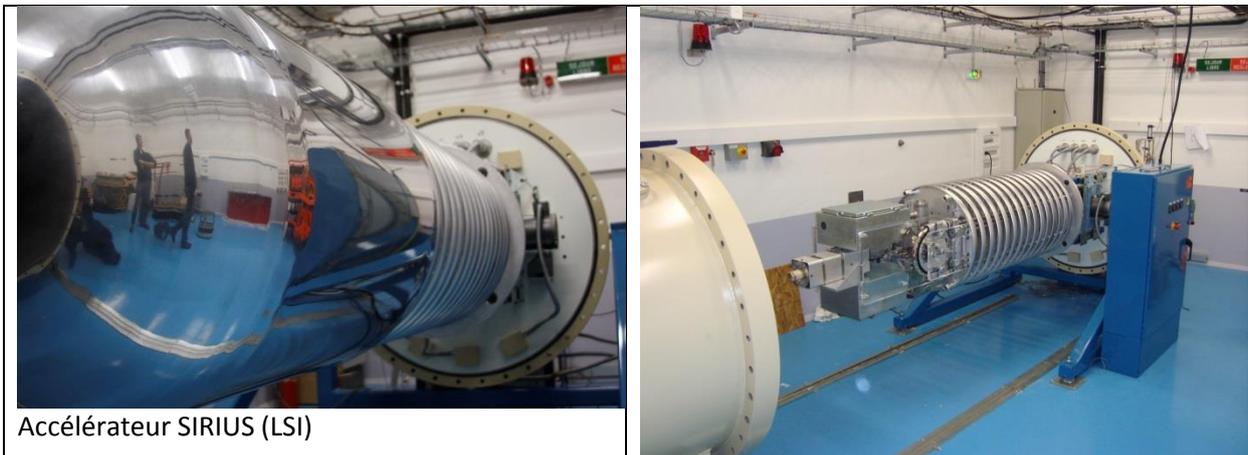
Modalités d'accès

L'accès aux neutrons est gratuit pour tout membre de la communauté scientifique française. Le LLB-ORPHEE prend en charge les frais de mission de deux expérimentateurs pendant toute la durée de l'expérience (voyage et séjour). Plusieurs voies sont possibles pour obtenir du temps de faisceau sur l'un des 20 spectromètres du LLB-ORPHEE.

- La soumission d'une proposition d'expérience à un Comité de Sélection (CS). Cette procédure est ouverte à tout chercheur d'un laboratoire (public ou privé) qui souhaite, dans le cadre de sa thématique de recherche, exploiter les possibilités qu'offre la technique de diffusion des neutrons. Les résultats obtenus doivent pouvoir être tout ou partie d'une publication dans un journal scientifique. Les Comités de Sélection du LLB-ORPHEE se réunissent 2 fois par an. Les dates limites d'envoi des propositions sont le 1^{er} Avril et le 1^{er} Octobre de chaque année.
- La soumission d'une proposition d'expérience à la Direction du Laboratoire. Cette procédure permet de raccourcir le délai entre la soumission et la réalisation de l'expérience. Non obligatoirement soumise à l'avis du Comité de Sélection, elle ne doit être utilisée qu'à titre exceptionnel : sujet chaud, anomalie dans le processus normal de sélection, ... confidentialité. Ces propositions peuvent être examinées en continu, tout au long de l'année.
- La procédure d'accès rapide. Cette procédure permet de réaliser, dans un délai de l'ordre de 1 à 2 mois, une expérience très courte (1 jour maximum) sur l'un des spectromètres : test préliminaire, caractérisation, résultats complémentaires, etc.. peuvent être obtenus très rapidement.

Un support technique est disponible sur chaque appareil. Le LLB-ORPHEE dispose en outre de moyens de conditionnement et de préparation d'échantillon dans les domaines de la chimie et de la biologie. Un support technique spécifique, pour différents types d'environnement échantillon est également disponible dans les domaines suivants : Vide, Cryogénie, Hautes pressions, Champs forts, Electronique, Détecteurs, Informatique, Mécanique, CAO.

IRRADIATION



Accélérateur SIRIUS (LSI)

Il existe sept plateformes d'irradiation au sein du département PHOM (cf. Tableau 1). Ces installations sont situées sur au CEA Saclay, à l'École Polytechnique et à l'université d'Orsay. Plusieurs catégories de machine sont représentées dans PHOM : des accélérateurs d'électrons pulsés (ELYSE + ALIENOR), des accélérateurs d'électrons continus (SIRIUS + HVTEM KRATOS), des accélérateurs d'ions (JANNuS Saclay et Orsay, Microsonde nucléaire, SAFIR). Ces installations sont utilisées pour comprendre l'influence de l'irradiation ou de la radiolyse dans les matériaux. En parallèle certaines de ces machines sont également utilisées pour l'analyse de la structure des matériaux par des méthodes de faisceau d'ions (RBS, ERDA, ...).

Installation	Type	Localisation	Mode d'accès
HVTEM KRATOS	Microscope Electronique continu (0.3 - 1.2 MeV)	Service de Recherche en Métallurgie Appliquée (CEA Saclay)	Réseau EMIR
SIRIUS	Accélérateur d'électrons Continu (0.15 – 2.5 MeV)	Laboratoire des Solides Irradiés (Ecole Polytechnique)	Réseau EMIR
JANNuS Saclay	3 Accélérateur d'ions	Service de Recherche en Métallurgie Physique (CEA Saclay)	Réseau EMIR
JANNuS Orsay	2 Accélérateur d'ions	Centre de Spectrométrie Nucléaire et de Spectrométrie de Masse (Faculté d'Orsay)	Réseau EMIR
Microsonde Nucléaire	Accélérateur d'ions (0.4-3 MeV)	Laboratoire d'Etude des Eléments Légers (CEA Saclay)	Comité d'expériences
ELYSE	Accélérateur d'électrons pulsé (4-8 MeV)	Laboratoire de Chimie Physique (Faculté d'Orsay)	Collaboration
ALIENOR	Accélérateur d'électrons pulsé (8-10 MeV)	Laboratoire Interactions Dynamique et Lasers (CEA Saclay)	Collaboration

Tableau 1 : Inventaire des plateformes d'irradiation dans l'Université Paris Saclay d'après « Serge Bouffard, Accélérateur Nationaux, Groupement de Recherche CPAMIR, CNRS, Avril 2013 ».

Modalités d'accès

Il existe plusieurs modes d'accès pour obtenir du temps de faisceau sur les plateformes d'irradiation de PHOM.

- 1) Le premier se fait dans le cadre de collaboration scientifique avec les équipes techniques ou de recherches travaillant sur les installations.
- 2) Le second accès se fait dans le cadre de proposition de temps de faisceau au réseau d'accélérateurs EMIR (<http://emir.in2p3.fr/>) pour 4 installations (SIRIUS + JANNuS saclay et Orsay + HVTEM) ou bien au comité d'expérience pour la microsonde nucléaire. Les demandes de temps de faisceau sont évaluées, puis programmées. L'appel à proposition de temps de faisceau est annuel pour le réseau d'accélérateur EMIR ainsi que pour la microsonde nucléaire.
- 3) Enfin, un accès payant pour les industriels est possible sur la plupart des installations d'irradiation de PHOM.

PÔLE LASERS

LULI

Le laboratoire LULI, centre de recherche académique et très grand équipement national (lasers de puissance de haute énergie), remplit différentes missions au sein de la communauté des physiciens des plasmas chauds. Le LULI met à disposition du plus grand nombre d'utilisateurs des chaînes laser, et des installations expérimentales, couplant en particulier des impulsions de durées variées, de la ns à la fs, compétitives et adaptées aux recherches sur la physique des plasmas créés par laser, que cela soit les plasmas à haute densité d'énergie (thématique HDE) ou les plasmas relativistes à ultra-haute intensité (thématique UHI). Cette mission inclut :

- (i) l'exploitation de deux infrastructures HDE (lasers et salles expérimentales associées) sur le site de

l'École Polytechnique - LULI2000 et ELFIE - et des développements spécifiques entrepris dans le but d'améliorer leurs performances (afin de les maintenir au plus haut niveau international),

(ii) la construction et la mise en exploitation de l'installation UHI APOLLON (laser et salles expérimentales associées) au sein du Centre Interdisciplinaire Lumière Extrême (CILEX) sur le site de l'Orme des Merisiers

(iii) des recherches et développements prospectifs en technologie laser, en particulier dans le cadre du projet LUCIA de laser solide pompé par diodes.

Centre de recherche en physique des plasmas chauds, le LULI développe - le plus souvent en collaboration avec des équipes nationales et/ou internationales réputées - des programmes de recherche dans le domaine des plasmas créés par interaction rayonnement-matière et leurs applications, dans le domaine de la production d'énergie par fusion inertielle, de l'astrophysique ou de la planétologie en laboratoire, des sources secondaires de particules et de rayonnement, du traitement des matériaux sous choc, ..., privilégiant la compréhension des mécanismes de physique fondamentale sous-jacents.

CLUPS, Centre laser de l'Université Paris Sud regroupe SELA, CPBM, LASERIX

SELA (Serveur Laser)

Le SELA propose un ensemble de lasers pulsés de largeur temporelle ns-ps dans une gamme spectrale s'étendant de l'IR à l'ultra-violet lointain. Sont aussi proposées aux utilisateurs plusieurs expériences consacrées à l'étude de systèmes isolés et froids, neutres ou ioniques, en phase gazeuse, ainsi que des emplacements d'accueil pour des expériences extérieures. C'est en Europe, et peut être dans le monde, le seul centre proposant les moyens de mener une étude comparative sur les mêmes systèmes neutres et protonés, à basse température, et à différentes échelles de temps (10 ps à quelques centaines de ns). Le SELA s'efforce d'élargir son offre expérimentale, à la fois dans le cadre collaboratif (national et international) et d'accueil. Bien que les possibilités offertes par le SELA soient particulièrement adaptées à la physico-chimie en phase gazeuse, des études couvrant d'autres domaines de la physique peuvent être envisagées.

CPBM (Centre de photonique biomédicale)

Le CPBM est une plateforme ouverte d'imagerie de fluorescence proposant différents dispositifs de microscopie résolue en temps, jouxtant un laboratoire de préparation cellulaire confiné de type L2. Le CPBM rassemble dans un même lieu des systèmes commerciaux conventionnels (microscopes en épi-fluorescence plein champ ou confocal avec lasers continus UV, visibles et IR pulsé) et des dispositifs originaux hautement résolus spatialement développés au centre (microscope STED, PALM-STORM, ...) ainsi que des dispositifs résolus temporellement (FCS, FCCS, TIRF-FLIM). Ces dispositifs sont ouverts à une large communauté d'utilisateurs physico-chimistes, biologistes, médecins, microbiologistes. Une de ses spécificités du CPBM est de développer des instruments d'imagerie offrant des caractéristiques optiques particulières, en termes de résolution axiale, latérale et de résolution temporelle. Le CPBM propose différentes modalités d'accueil, du mode collaboratif à la prestation de service pour des laboratoires de recherche privés ou publics.

LASERIX

LASERIX est une plateforme expérimentale basée sur une chaîne laser titane saphir de classe 100 TW fonctionnant à 10 Hz et, en cours d'étude 0.5 PW à 0.4Hz et/ou 1PW à 0.1 Hz. Elle est principalement dédiée aux développements et aux applications des sources de rayonnement XUV cohérent générées par laser. Les utilisateurs disposent d'une source de génération d'harmoniques d'ordres élevés, d'un

laser X en cible solide (actuellement 32,6 nm, 18,9 nm et 13,9 nm) éventuellement injecté et synchronisé avec une impulsion laser femtoseconde. LASERIX est membre de Laserlab et propose 8 semaines de temps européen par an. Après avoir été installée sur le site du LOA (ENSTA – Palaiseau) depuis sa création en 2004, LASERIX vient de s'installer sur le campus de l'UFR d'Orsay au LAL (Bât. 200 avec lequel elle entame une collaboration scientifique), à proximité des plateformes SELA et CPBM du CLUPS.

ELYSE (LCP)

ELYSE est un accélérateur d'électron (9 MeV). L'installation offre des équipements très performants pour l'étude des réactions chimiques ultra-rapides, ouverts à la communauté scientifique nationale et internationale. Cette installation dispose d'un Accélérateur d'électrons unique en Europe délivrant des impulsions de quelques picosecondes et d'une chaîne Laser produisant des impulsions de quelques dizaines de femtosecondes, dont le rôle est triple : créer les impulsions d'électrons de l'accélérateur par effet photoélectrique à partir d'une photocathode pour la Radiolyse picoseconde; fournir des impulsions pour la Femto-chimie en phase condensée; fournir des impulsions pour la femto-chimie en phase gazeuse. Un spectromètre THz innovant a été développé au sein d'ELYSE, pour la chimie physique et le contrôle non destructif sans contact. Il est basé sur la détection ultra-rapide et fiable d'impulsions THz. Cette approche technologique brevetée permet la meilleure stabilité et vitesse d'acquisition - deux exigences pour une exploitation plus poussée de la technologie THz dans l'industrie.

CLIO (LCP)

CLIO est un laser à électrons libre, produisant un faisceau de forte puissance, avec une longueur d'onde variable dans le domaine spectral de l'infra-rouge. L'installation dispose de 5 chambres, disposant du faisceau laser infra-rouge pour des applications dans divers domaines : spectroscopies de surface, physique moléculaire, microscopie infra-rouge en champ proche, quantum wells, ... Après la fermeture du LURE où CLIO était initialement implantée, cette source a rejoint le laboratoire LCP, qui assure également le fonctionnement d'ELYSE. En tant que membre du réseau ELISA (European Light Sources Activities network), un accès est offert aux chercheurs français et de l'UE. Dans la plupart des cas, l'accès est gratuit, et comporte le temps de faisceau, un support technique et scientifique. Voyage et frais d'hébergement peuvent aussi être pris en charge.

LOA

Il s'agit d'un Laser titane:saphir de classe 30 TW et 100 TW pour l'étude de l'accélération de particules par laser et la génération de rayonnement XUV cohérent (HHG et laser X en cible gazeuse). LOA est membre de Laserlab.

LIDyL

Les activités du laboratoire LIDyL (CEA-Saclay) sont centrées sur l'interaction rayonnement-matière et concernent des aspects aussi bien physiques que chimiques. Les programmes de recherche s'étendent des systèmes atomiques et moléculaires simples aux systèmes moléculaires et biomoléculaires complexes jusqu'aux plasmas. Voir également la description des projets CILEX et ATTOLAB ci-dessous.

LE PROJET CILEX (Centre Interdisciplinaire Lumière EXtrême)

Il s'agit d'un projet d'envergure mondiale dédié à l'étude de l'interaction de la lumière laser avec la matière, dans des conditions d'éclairement extrême. Le projet CILEX fédère douze laboratoires du Plateau de Saclay qui couvrent l'ensemble des compétences nécessaires à la construction et l'exploitation de Lasers de forte puissance. Le centre sera géré comme un TGI et administré par le laboratoire LULI. Financé dans le cadre des Investissements d'avenir, "l'Equipex" CILEX accueillera le

laser APOLLON d'une puissance record de 10 PW (10^{16} W) ainsi que les lasers de classe 100 TW (10^{14} W) LASERIX et UHI100, respectivement implantés aujourd'hui à l'Université Paris11 et au CEA-Saclay. Avec celles du LOA (ENSTA, CNRS et Ecole polytechnique) et l'équipement ELFIE du LULI, ces sources lasers préparent aujourd'hui les programmes scientifiques qui seront développés demain sur APOLLON.

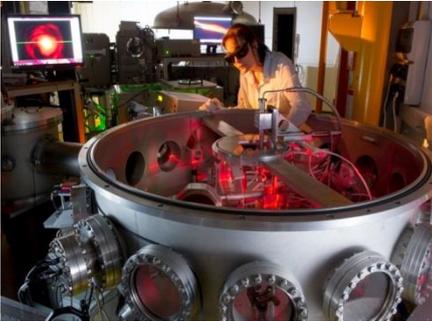
Les lasers qui y sont rassemblés sont si intenses et si brefs que leur impact avec la matière génère des faisceaux d'électrons, d'ions ou de rayonnement X et gamma, comme le ferait un accélérateur de particules. Un des objectifs de CILEX est l'étude et le développement de ce type de sources qui présentent de nombreux avantages en termes de compacité, de brièveté, de maniabilité, pour des applications dans des domaines extrêmement variés (traitements cancéreux par exemple). D'un point de vue plus fondamental, la rupture technologique qui y sera développée promet d'ouvrir de nouveaux horizons aux chercheurs qui envisagent ainsi de modifier les propriétés du vide.

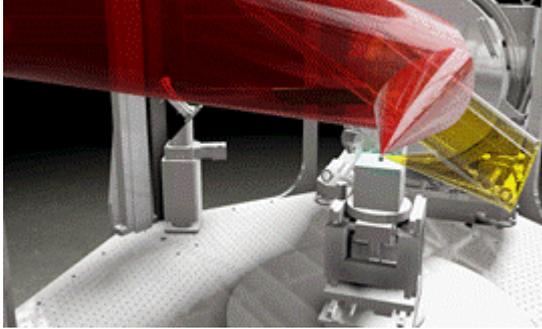
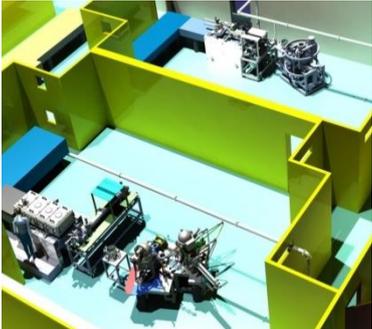
LE PROJET ATTOLAB

Le projet ATTOLAB est aussi un Equipement d'excellence (Equipex) financé par le programme "Investissements d'Avenir 2011" de l'Agence nationale de la Recherche (ANR). Le projet réunit neuf partenaires dépendant de sept tutelles. Il est coordonné par le Laboratoire Interactions, Dynamique et Lasers (CEA/IRAMIS/LIDyL). ATTOLAB a pour objectif d'établir une plateforme expérimentale pour les études interdisciplinaires de dynamique ultra-rapide – dynamique électronique et nucléaire aux échelles de temps femtoseconde et attoseconde - dans les systèmes en phase gazeuse, condensée et plasma. La plateforme ATTOLAB associe des sources de lumière ultra-brèves très performantes (chaînes laser femtoseconde dans l'infra-rouge et sources secondaires attoseconde dans le domaine extrême-UV) et des dispositifs expérimentaux pour les études de dynamique. Cet ensemble a deux composantes qui seront installées,

- d'une part, sur le site de l'Orme-des-Merisiers (CEA Saclay, travaux d'aménagement en cours)
- et, d'autre part, au Laboratoire d'Optique Appliquée (ENSTA - Ecole Polytechnique).

Une troisième composante dédiée à la fabrication et la caractérisation des optiques dans le domaine extrême-UV sera installée au Laboratoire Charles Fabry (Institut d'Optique-Graduate School). ATTOLAB a vocation à être une plateforme ouverte dès 2015 aux utilisateurs, nationaux et internationaux, notamment européens. Avec le CILEX, il constituera un élément important du « Pôle laser » qui se constitue sur le site de l'Orme-les-Merisiers.

	<p>Poste expérimental adossé au laser UHI100 du CEA/IRAMIS/LIDyL (crédit Ph Stroppa/CEA)</p>
	<p>Focalisation du futur laser Apollon dans l'enceinte d'interaction (crédit CEA/LIDyL-LULI-CILEX)</p>

	
	<p>Postes expérimentaux de la future « facilité laser » ATTOLAB (crédit photographique CEA/LIDyL).</p>

MICROSCOPIE ELECTRONIQUE

La microscopie électronique sur le plateau est pour l'instant relativement peu structurée comparée aux communautés évoquées plus haut, ce qui est une des raisons principales de l'existence du projet TEMPOS (voir plus loin). La microscopie électronique sur le plateau (hors JANUS et réseau technologique) se retrouve essentiellement :

- Au LPS :
 - o) pour 30% du temps d'utilisation Dans le groupe STEM, qui possède 2 microscopes dédiés aux spectromicroscopies (EELS, cathodoluminescence) pour la physique des matériaux et la nanooptique avec des résolutions subnanométriques ou sub-angströmiques. Ces deux microscopes sont exploités comme plateforme d'accueil dans le cadre des réseaux METSA (France) et ESTEEM2 (Europe) pour 30% du temps d'utilisation. Le LPS accueillera prochainement un nouveau microscope (TEMPOS/Chromatem)
 - o Dans le groupe SOBIO, qui possède un cryomicroscope pour les applications biologiques et matière molle, accessible via le réseau METSA
- A l'école polytechnique : Le CIMEX est une plateforme de microscopie électronique de l'Ecole Polytechnique qui s'inscrit également dans une démarche d'ouverture vers l'ensemble de la communauté des utilisateurs du plateau de Saclay. La plateforme CIMEX dispose de 150 m² de dalle antivibratoire sur laquelle sont installés 3 microscopes CM30, Jeol2010F et Titan (TEMPOS/NanoMax).
- A GIF, avec la plateforme IMAGIF, qui a une approche transversale (plusieurs techniques d'imagerie pour la biologie)

L' EQUIPEX TEMPOS (Transmission Electron Microscopy at Palaiseau, Orsay and Saclay)

Cet Equipex, porté par l'université Paris Sud (LPS) réunit les compétences de l'Université Paris-Sud-XI (UPS) de l'Ecole Polytechnique, CNRS, et du CEA pour créer un centre de microscopie TEM (transmission electron microscopy), de niveau international. TEMPOS se compose de trois instruments :

NANOMAX (livraison prévue fin 2015, localisé à l'X)

Cette installation permet de compléter l'observation ex situ de nanostructures stables, par l'observation directe in-situ, en temps réel de leur formation sous des conditions contrôlées. NANOMAX est la première tentative pour implémenter une installation MBE an un microscope TEM. Le projet « pilote » de NANOMAX est l'étude de nanofils de semiconducteurs III-V. Un certain nombre d'autres études sont prévues, incluant des études in situ de croissance par CVD d'objets allant de points quantiques semi-conducteur aux nanotubes de carbone. Les 5-6 premières années du projet seront consacrées au développement de l'instrument en collaboration entre les partenaires du projet. Au-delà, un "open-access" de l'installation sera proposé pour les utilisateurs externes, ainsi que pour les industriels. Une association au réseau METSA sera requise d'ici la fin du projet pour un accès de l'ordre de 20%

CHROMATEM (livraison prévue fin 2015), localise au LPS

Le projet CHROMATEM développe des techniques de spectro-microscopie, qui combinent photons et électrons pour l'étude de systèmes à électrons fortement corrélés, du photo-magnétisme dans les aimants moléculaires, les propriétés optoélectroniques de nanostructure à base de semi-conducteurs. CHROMATEM s'attaquera à de nouveaux problèmes ayant en commun de nécessiter l'accès aux propriétés électroniques ou optiques aux échelles nanométriques ou atomique avec une résolution en EELS très élevée (10 meV). L'installation sera dédiée à des recherches propres (40%), à des collaborations (accès libre pour 35%, incluant 5% dédiées à la formation des doctorants), et à des activités de service (25%, incluant le réseau français METSA et européen ESTEEM).

NANOTEM (livré en cours de mise en service), localise au LPN

NANOTEM est une plateforme ouverte, qui comprend microscope TEM et un microscope ionique (FIB) dédié à la fabrication de lame TEM. La plateforme sera pilotée par des experts en TEM issus des équipes partenaires du projet TEMPOS. L'accès aux microscopes sera gratuit aux chercheurs du plateau de Saclay. L'accès se fait suivant deux modes:

1. Une activité de service, assumée par les chercheurs et ingénieurs experts des laboratoires de TEMPOS (LPN, LPS, LPICM).
 2. Formation d'utilisateurs pour des besoins de long terme. La formation initiale, ainsi que l'encadrement scientifique et technique se fera par les experts de la plateforme TEMPOS.
- 5% du temps d'accès est réservé aux partenaires industriels.

PROJET MATMECA

L'Equipex MATMECA est un ensemble d'équipements scientifiques de pointe, pour élaborer, caractériser et modéliser les matériaux. Ce projet est porté par l'Onera et compte comme partenaires Mines Paris-Tech, l'École Normale Supérieure de Cachan, l'École Centrale de Paris et l'École Polytechnique. Les équipements seront localisés chez les partenaires du projet :

- une enceinte d'atomisation à l'Onera ;
- un microscope électronique à balayage équipé d'une sonde ionique focalisée à Mines ParisTech;
- un tomographe à rayons X à l'École Normale de Cachan.
- un microscope électronique en transmission à très haute résolution à Centrale Paris ;

Dans le cadre de cette dernière partie (complétée par l'ECP), deux microscopes électroniques du constructeur FEI sont installés par le MSSMat :

- un microscope électronique en transmission TITAN-G23 à haute résolution (0,1 nm), adapté à de multiples matériaux et permettant diverses analyses sur des échantillons minces ;
- un microscope HELIOS-NANOLAB-660 à double colonne, ionique et électronique à balayage, permettant de multiples analyses, en particulier 3D.

Les deux microscopes sont complémentaires. Ainsi HELIOS peut usiner des échantillons minces observés ensuite avec TITAN. Le projet a pour but d'étudier les propriétés multi-physiques des interfaces dans divers matériaux (composites, céramiques, biomatériaux...), et ainsi de nourrir par des observations à l'échelle nanométrique des modèles de calcul à l'échelle microscopique. Des essais *in situ* permettront d'observer l'évolution des propriétés physicochimiques et les conséquences sur la résistance mécanique en fonction des déformations.

SALLES BLANCHES (CENTRALE DE TECHNOLOGIE)

CENTRALE DE TECHNOLOGIE DE L'IEF

L'IEF abrite la Centrale de Technologie Universitaire IEF-MINERVE, l'un des deux laboratoires d'Ile-de-France porteurs d'une des six grandes centrales nationales de nanotechnologie du CNRS dans le cadre du réseau RENATECH : <https://www.renatech.org/projet/>. Ce réseau associé au laboratoire d'Électronique et de technologies de l'Information (LETI) du Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) porte le projet RTB « Réseau national de grandes centrales de technologie pour la Recherche Technologique de Base » (RTB) qui fédère les infrastructures et les moyens lourds en micro et nanotechnologie, répartis sur le territoire national au sein de 7 laboratoires CNRS et CEA porteurs des grandes centrales. Les centrales de ce réseau RTB ont été labellisées TGIR (Très Grand Instrument de Recherche) par le ministère de la recherche en 2009. Les laboratoires porteurs reçoivent annuellement depuis 2003 une dotation spécifique pour acquérir des équipements de pointe et développer au plus haut niveau la recherche en nanosciences et nanotechnologies. Parallèlement, ce réseau doit permettre à l'ensemble des laboratoires de la communauté nationale et aux industriels de bénéficier d'un accès à ces moyens

CENTRALE DE TECHNOLOGIE DU LPN

La Centrale de Technologie du LPN fait partie depuis 2004, avec les 5 autres centrales de l'IEMN, du LAAS, de FEMTO, du CEA-LETI, associé à la FMNT, de l'IEF, du réseau RTB. Dans le cadre de ce réseau, le LPN traite plus d'une soixantaine de projets par an, dont les porteurs sont extérieurs au laboratoire. Les correspondants LPN, chercheurs technologues et ingénieurs de recherche, évaluent la faisabilité des projets et définissent les technologies à développer ou mettre en œuvre pour répondre aux demandes. Le LPN engage 15% à 20% de ses moyens pour répondre aux demandes extérieures. Il s'agit essentiellement de demandes concernant la fourniture d'échantillons épitaxiés (principalement hétéro structures de semi-conducteurs III-V), la mise en œuvre de technologie de micro et nano-structuration ainsi qu'à des demandes d'analyse. Pour mener à bien l'ensemble des projets technologiques, la centrale de technologie est animée par une équipe technique, composée d'une vingtaine d'ingénieurs et de techniciens permanents. Y travaillent également à plein temps des chercheurs, thésards et post-doctorants. Les moyens de technologie sont regroupés dans 1000m² de salle blanche, et sont structurés en "Ressources", qui se regroupent autour d'un appareillage important ou d'un ensemble de plusieurs bâtis. Certains moyens sont accessibles à tous après formation, d'autres sont en accès restreint. Toute demande de projet est à faire par le demandeur extérieur au LPN, sur le site portail du site web du RENATECH.

PROJET C2N

Le Centre de Nanosciences et de Nanotechnologies (C2N) s'installera en 2017 à Paris-Saclay dans le quartier de l'École polytechnique. Il sera un futur pôle de référence nationale en matière de nanosciences et de nanotechnologies sur le campus de Paris-Saclay. Ce centre est né de la décision conjointe du CNRS et de l'Université Paris-Sud de regrouper les deux laboratoires comprenant chacun une grande centrale de technologie d'Ile-de-France, le Laboratoire de Photonique et de Nanostructures (LPN) et l'Institut d'Electronique Fondamentale (IEF). Il sera ouvert aux acteurs académiques et industriels, afin de permettre le développement de leurs axes de recherche stratégiques dans les domaines des matériaux, de la nano-photonique, de la nanoélectronique, des nano-biotechnologies et des micro-nano systèmes. Le C2N sera par sa taille la première centrale académique de nanotechnologie d'Ile de France, rattachée au réseau national RENATECH.

ATELIER DE NANOFABRICATION DU SPEC

L'atelier de nano-fabrication du SPEC est composé de deux salles blanches (115 m²) et (50 m²) et de quelques locaux conventionnels. Il est équipé pour la lithographie optique, la lithographie électronique avec microscope à balayage et mini-masqueur, le dépôt et la gravure de couches minces par divers procédés, et la caractérisation des structures à toutes les étapes de leur fabrication. Une de ses spécificités est la fabrication de nanostructures supraconductrices et magnétiques. Un effectif de trois personnes, correspondant à 2 ETP, est affecté à l'atelier pour sa maintenance et son évolution qui est continue. Cet atelier est labellisé centrale de proximité et permet de compléter à l'échelle locale le dispositif des grandes centrales: deux centrales du réseau Renatech se trouvent en effet dans les proches environs, le LPN à Marcoussis et l'IEF à Orsay.

Modalités d'accès

L'atelier est ouvert aux membres du SPEC et à ceux de l'IRAMIS qui ont les compétences requises dans le domaine des nanotechnologies après avoir suivi les formations à l'utilisation des équipements. Des utilisateurs extérieurs peuvent y accéder dans le cadre de collaborations avec des équipes du SPEC. Contrairement aux centrales de fabrication environnantes (LPN, IEF), il n'y a pas de soutien technique pour la mise au point des procédés de fabrication.

Utilisateurs

Environ 70 utilisateurs, dont une dizaine d'extérieurs au CEA, sont enregistrés pour y avoir accès et une trentaine d'entre eux y travaille très régulièrement. L'accès à la centrale est en libre-service pour les personnes ayant reçu les formations nécessaires. Plusieurs groupes de IRAMIS (Nanomagnétisme et Oxydes, Nanoélectronique, Quantronique, Electronique Moléculaire) effectuent l'essentiel de leurs recherches sur des structures fabriquées dans la centrale. Le groupe Nanomagnétisme développe des nanostructures magnétiques avec d'importantes applications dans le domaine des mémoires et des capteurs; le groupe Nanoélectronique s'intéresse aux effets de cohérence quantique sur le transport dans les nanostructures électroniques de basse dimensionalité; le groupe Quantronique met en oeuvre des circuits électriques fortement quantiques, de la supraconductivité mésoscopique aux processeurs d'information quantique; le laboratoire d'électronique moléculaire (LEM) développe une activité de recherche amont dans le domaine des nanosciences principalement consacrée à la synthèse de nouveaux objets par voie chimique, à l'étude des processus d'auto-assemblage à l'échelle nanométrique, aux mécanismes de transport électronique à cette échelle, et à l'intégration de nano-objets dans des dispositifs et circuits.

CENTRES DE CALCUL ET SUPPORT THEORIQUE (Lucia Reining, Grégoire Misguich)

Groupe de Spectroscopie Théorique du Laboratoire des Solides Irradiés

Le groupe de Spectroscopie Théorique du Laboratoire des Solides Irradiés (<http://etsf.polytechnique.fr>) mène une recherche théorique sur la physique de la matière condensée. Le groupe s'intéresse à la théorie de la fonctionnelle de la densité (DFT), à la théorie de la fonctionnelle de la densité dépendante du temps (TDDFT) et à la théorie de la perturbation à plusieurs corps (MBPT). L'objectif est de développer la théorie, les algorithmes et les codes de calcul pour des applications sur des systèmes réels et la comparaison avec l'expérience. L'état fondamental et les états excités (spectroscopies) sont étudiés. Les systèmes s'étendent des métaux aux isolants, du bulk aux surfaces en passant par les nano-structures, les molécules et les atomes.

Le groupe de Spectroscopie Théorique est membre du European Theoretical Spectroscopy Facility (www.etsf.eu). Il s'agit d'une infrastructure de recherche théorique de plus de 200 chercheurs en Europe et aux Etats-Unis. Il développe la connaissance en spectroscopie théorique grâce à une recherche de premier rang sur les théories et les méthodes de calcul permettant l'étude des propriétés électroniques et optiques des matériaux. L'ETSF fonctionne comme une plateforme. Les utilisateurs peuvent bénéficier de codes de calcul librement accessibles, de conseils et mis en contact, de projets en collaboration, et de formations. Des liens privilégiés sont construits avec d'autres plateformes, notamment avec le synchrotron SOLEIL.

Centres de calcul

L'UPSay peut bénéficier de centres de calculs de taille "significative" (ci-dessous) ; ces moyens de calculs sont accessibles via des collaborations avec des chercheurs ou équipes de l'établissement qui l'héberge.

En ce sens il ne s'agit pas vraiment de plateformes totalement "ouvertes" à la communauté. A noter qu'il existe trois centres nationaux : IDRIS à Orsay, TGCC du CEA à Bruyères le Chatel et CINES à Montpellier. Pour ceux-ci, l'accès aux machines se fait via des demandes de projet/allocation qui sont évaluées au niveau national (GENCI & DARI). Il existe aussi un système d'allocation/projets au niveau européen (PRACE) pour avoir accès à des machines de plusieurs gros centres en Europe. Quelques sites web utiles dans ce domaine :

Meso-centre de la fédération LUMAT:

<http://www.gmpcs.lumat.u-psud.fr/>

Centre de calcul de l'université Paris-Sud

<http://www.di.u-psud.fr/machine/index.html>

IDRIS (Orsay):

<http://www.idris.fr/comp/>

Mesocentre de l'Ecole centrale:

<http://www.mesocentre.ecp.fr/>

Maison de la simulation (Il ne s'agit pas d'un centre de calcul, mais d'un laboratoire dont l'objectif est d'accompagner et de soutenir les communautés scientifiques afin de tirer le meilleur parti des supercalculateurs) :

<http://www.maisondelasimulation.fr/index.php>

2) Analyse Forces/Faiblesses

Pour compléter cet état des lieux, le groupe de travail a tenté de mieux cerner les forces et les faiblesses de ce parc d'instruments. Cette analyse est basée sur un questionnaire envoyé aux contacts de chaque installation et demandant sur la période 2010-2013 :

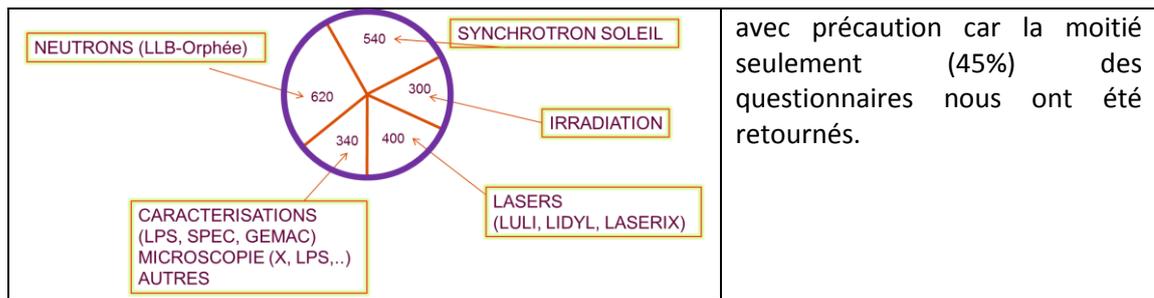
1. le nombre de projets (ou de propositions d'expériences) réalisés
2. le nombre de projets ou de propositions d'expériences dont le porteur fait partie de l'Université Paris-Saclay
3. le nombre de projets qui incluent thésards ou postdoc
4. s'il existe un accès aménagé pour la formation : M1 / M2 / thèse
5. s'il existe une page web liée à l'installation
6. quelles sont les principales sources de financement de l'installation
7. s'il existe des liens ou recoupements fréquents et privilégiés avec d'autres instruments plateformes
8. s'il existe des développements instrumentaux communs avec d'autres labos ou d'autres plateformes du plateau
9. s'il existe des liens avec le monde industriel
10. le nombre et si possible la liste des publications

Bien que a priori détaillée par plateforme, notre analyse n'est que très partielle car tous n'ont pas répondu (45 %). De l'ensemble des informations recueillies, se dégagent les points suivants :

Forces

1. Le nombre de projets réalisés (4200, selon les réponses au questionnaire) et le nombre de publications (2200 recensées) montrent l'excellence scientifique générale des plateformes qui attirent une large communauté scientifique et industrielle.
2. Les grandes plateformes SOLEIL, LLB-ORPHEE, LULI ... confèrent au plateau une envergure nationale et internationale. Elles forment un regroupement unique en France, voire au monde, et apportent une contribution claire et évidente à l'excellence scientifique et au rayonnement du plateau, en attirant une très large communauté scientifique et industrielle. Elles pèsent pour environ 60% dans les publications recensées. Les deux installations font approximativement jeu égal en termes de publications, mais on note que SOLEIL paraît le mieux « intégré » sur le plateau, entretenant des relations avec tous, tandis que le LLB-ORPHEE semble plus « à part ». La communauté utilisatrice des autres plateformes est sensiblement plus locale, davantage utilisée par les chercheurs du Plateau.
3. On remarque la richesse des liens qu'entretiennent les plateformes entre elles, montrant leur complémentarité. La plupart ont des projets d'instrumentation communs.
4. Résolument tournées vers la formation, l'immense majorité des projets réalisés sur ces plateformes impliquent des thésards ou des post-docs.

<p>Diagramme circulaire illustrant le nombre de projets déposés par plateforme :</p> <ul style="list-style-type: none"> NEUTRONS (LLB-Orphée) : 1700 SYNCHROTRON SOLEIL : 1200 IRRADIATION : 800 LASERS (LULI, LIDYL, LASERIX) : 300 CARACTERISATIONS (LPS, SPEC, GEMAC) : 200 MICROSCOPIE (X, LPS,...) : 200 <p>Equipex TEMPOS (Microscopie, Caractérisations) Equipex ATTOLAB et CILEX OPT2X (Lasers)</p>	<p>Analyse du questionnaire, nombre de projets déposés sur les différentes plateformes.</p>
	<p>Analyse du questionnaire, nombre de publications issues des différentes plateformes. Ces chiffres doivent être considérés</p>



avec précaution car la moitié seulement (45%) des questionnaires nous ont été retournés.

En résumé, ce panel d'installations, leur richesse, leur complémentarité, allant des très grands instruments jusqu'à des installations plus modestes, constitue non seulement une spécificité de PHOM, mais aussi un de ses atouts majeurs, lui donnant une visibilité de premier plan.

Faiblesses

La menace la plus immédiate, qui ressort de la quasi-totalité des réponses au questionnaire, met en lumière les limites des financements sur projet ... Si TGIR et IR sont relativement « à l'abri », l'émiettement des modes de financement, la réduction des crédits récurrents, un phénomène actuel bien connu dans tous les laboratoires, pose de nombreux problèmes aux petites plateformes, qui ont besoin de crédits de fonctionnement. Il faut en effet, pour entretenir les installations, un budget de fonctionnement récurrent, ce qui ne saurait constituer un projet « vendeur » pour les appels à projets des Régions, Labex, etc ...

Un certain nombre des plateformes de PHOM participent en outre activement au rayonnement du plateau via l'accueil de visiteurs nationaux et internationaux. Cette visibilité risque donc de pâtir de récurrence dans le financement du fonctionnement.

Si le périmètre de bon nombres d'installations (SOLEIL, LLB-ORPHEE, Irradiations, salles blanches) est bien balisé (comités de sélection), le « pôle LASER » semble sensiblement moins bien coordonné. Il paraît opportun de bénéficier de la construction de UPSay pour améliorer la visibilité, la structuration et d'organisation des différentes installations entre elles.

Parmi les menaces figure enfin l'arrêt programmé pour 2019 (et sans doute avant, en 2018, compte tenu du manque de combustible) du réacteur Orphée avec par conséquent la perte d'un TGIR sur le plateau. La lettre envoyée en mai 2015 aux personnels du LLB-ORPHEE et signée du Président du CNRS et l'Administrateur du CEA ne laisse aucun doute sur cette décision:



Communiqué aux personnels du LLB/Orphée.

Les directions du CNRS et du CEA souhaitent préciser les points suivants concernant le devenir du Laboratoire Léon Brillouin et le scénario d'arrêt du réacteur Orphée :

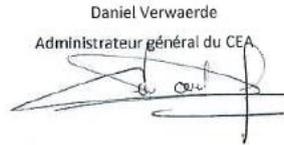
.....

Le nouveau scénario de référence prend donc comme hypothèse de départ de ne pas avoir à réapprovisionner de matière hautement enrichie et prévoit un fonctionnement du réacteur Orphée à 120 jours équivalents pleine puissance jusqu'à fin 2019, le réacteur étant définitivement arrêté à l'issue de cette phase d'exploitation scientifique.

Alain Fuchs
Président du CNRS
P. u.
PL. BAPTISTE



Daniel Verwaerde
Administrateur général du CEA



On doit s'inquiéter de la perte de compétences, de publications (notamment dans les pôles 1, 3, 5 et 7) et donc de l'impact scientifique qui en découlera pour PHOM.

3) Propositions

Cet état des lieux suivi de cette analyse des forces et des faiblesses nous conduit à formuler les propositions décrites ci-dessous. Toutes ont pour idée directrice de préserver l'atout majeur que représente ces installations, qui en quelque sorte constituent « la marque de fabrique » de PHOM. Il est à noter que pour le moyen terme, au vu de l'état actuel du parc d'instruments qui couvrent une très large partie des besoins actuels identifiés, les propositions s'orientent plus vers des actions de soutien aux équipements actuels et de coordination que vers l'acquisition de nouveaux appareils.

Visibilité et coordination

Pour gagner en visibilité et coordination, nous pensons qu'il serait judicieux :

- de faire apparaître sur le site web de UPSay un organigramme des plateformes accessibles, avec les liens et renvois appropriés, pour en aménager et préciser l'accès.
- d'encourager les « petites » plateformes à créer un « advisory board » commun qui pourrait mieux orienter les utilisateurs et distribuer ou allouer le temps sur les instruments.
- Mettre en relation les plateformes sur des sujets communs de « soutien » ou de « logistique », notamment dans des domaines comme :
 - o traitement et manipulation de données de grande taille (par exemple sous la forme de journées thématiques ou de workshops),
 - o cryogénie (soutien au pôle cryogénie du plateau),
 - o hébergement des utilisateurs (auprès de la maison d'hôte de Soleil, par exemple).

Financements, le cas du pôle Laser

Parmi les plateformes identifiées dans PHOM, il existe 3 installations laser ne faisant pas partie des installations de l'Infrastructure de recherche LULI (ie LULI2000, ELFIE et Apollon) de classe multi-térawatt qui ont été labellisées centrales de proximité lors de la mise en place de l'équipex CILEX autour du projet Apollon de laser multi-pétawatt. Ce sont la salle jaune du LOA, le laser UHI 100 du CEA Saclay, LASERIX de l'Université P11. Ces centrales sont chargées d'accompagner la montée en puissance de la communauté des lasers et physiciens des sources secondaires. Ces installations sont déjà en fonctionnement depuis plusieurs années et développent des aspects innovants de la

physique de l'interaction laser/matière à haute intensité. L'excellence de ce travail est clairement identifiée au niveau de PHOM et constitue une part de l'identité spécifique de la physique dans Paris Saclay, unique en France. Si le projet Apollon est un projet ambitieux dont le budget d'investissement de départ ainsi que les frais de fonctionnement estimés le placent plutôt à une échelle nationale, les coûts de fonctionnement des centrales de proximité, plus modestes, pourraient être partiellement supportés par le département PHOM, moyennant un effort de meilleure coordination entre les différentes tutelles qui soutiennent ces installations. Ce cercle a naturellement vocation à être élargi aux 3 autres installations constitutives du second équipex ATTOLAB après l'échéance de la fin de leur financement, soit 2019. Comme proposé plus haut, ces infrastructures pourraient être accessibles aux utilisateurs UPSay via l'achat de temps de faisceau par PHOM.

Une approche alternative ou complémentaire consiste à promouvoir la création d'un « TGIR » ou « IR » distribué, **incluant** d'une part les installations (LULI2000, ELFIE et Apollon) exploitées par le LULI (les seules à disposer du statut d'IR à l'heure actuelle) et d'autre part le reste du parc laser, notamment centrales de proximité de CILEX et installations ATTOLAB. Dans cette configuration, l'université Paris-Saclay jouerait le rôle de porteur de projet auprès du ministère ou auprès d'autres acteurs de financement afin d'obtenir le financement de fonctionnement nécessaire à l'accueil des équipes sur les installations. Dans cette configuration, le financement de chaque installation est négocié sur la base d'un engagement sur un temps d'ouverture et examen des demandes d'accès par comité de sélection indépendant.

Ces deux propositions sont de nature à accroître l'accessibilité sur ces installations et faciliter la lisibilité de l'offre laser de puissance sur le plateau de Saclay en définissant plus clairement les spécificités propres à chaque installation. Cette proposition contribuerait à une politique de rayonnement de site au niveau de Paris Saclay et permettrait à PHOM de s'impliquer dans la mesure de ses moyens au développement des futures expériences sur ses plateformes laser.

Ces propositions relatives aux financements ont en fait un caractère général : le projet évoqué ci-dessus sur le cas particulier du pôle Laser a vocation à être élargi aux autres plateformes. En effet toutes celles qui ne sont pas TGIR souffrent ou souffriront fin 2019 pour les EQUIPEX, d'un manque de financement de leur fonctionnement. Il paraît cohérent que PHOM puisse faciliter l'accès aux plateformes à des utilisateurs UPSay et assure leur fonctionnement par une contribution financière, à la condition que les projets scientifiques soient validés par un comité de programme mis en place par PHOM lui-même.

Perte de la source nationale de neutrons

Le risque actuel d'un arrêt anticipé du réacteur Orphée est grave : il entraînera des conséquences non seulement pour les personnels, mais surtout pour les programmes de recherche de bon nombre de laboratoires. Plus largement, c'est l'avenir de la communauté française des neutroniciens dans son ensemble qui est en péril. Ce problème concerne PHOM au premier chef puisque UPSay abrite aujourd'hui l'installation mais aussi car bon nombre de propositions d'expériences émanent de membres du plateau. De nombreux pôles de PHOM ont d'ailleurs exprimé une forte inquiétude concernant l'accès de la communauté scientifique aux techniques de diffusion neutronique.

La feuille de route établie par le Haut conseil des TGIR en 2013, et reprise par la ministre de l'Enseignement supérieur et de la recherche en réponse à une question écrite à l'Assemblée Nationale début 2014, prévoyait le fonctionnement du réacteur Orphée jusqu'en 2020 à son régime actuel de 180 jours par an, le LLB lui-même devant «perdurer» au-delà de cette date en tant que

«laboratoire d'excellence». Cependant, des messages officiels des directions du CEA et du CNRS expliquent les difficultés « *insurmontables* » que rencontrent les autorités pour acheter du combustible nucléaire auprès des USA, impliquant un arrêt du réacteur dès 2017, ou au mieux un fonctionnement réduit à 120 jours pour atteindre 2019. Cette date est elle-même incertaine puisque le dernier cœur de réserve n'est pas conditionné, l'arrêt étant dans ce cas prévu pour 2018.

Pourtant, les rapports d'évaluation successifs, dont celui de l'AERES en janvier 2014, présidé par W. Petry, responsable du FRMII (réacteur de recherche allemand installé à Munich), n'ont cessé de réaffirmer la haute qualité des programmes et de la production scientifique de la communauté utilisatrice du LLB-ORPHEE, en dépit du manque de personnels rapportés au nombre d'instruments par rapport aux centres européens (ISIS au Royaume-Uni, FRM2 en Allemagne, SINQ en Suisse) et internationaux (ILL Grenoble) comparables.

En réalité, la question du fonctionnement du LLB-ORPHEE doit être replacée dans le contexte de la participation française à la future source à spallation ESS, dont la construction à Lund (Suède) a débuté, mais qui ne sera pleinement opérationnelle au mieux qu'en 2025. En effet, l'investissement dans ESS n'a de sens que s'il s'appuie sur une communauté nationale dynamique, forte de ses compétences dans l'utilisation des techniques neutroniques, et porteuse de projets de recherche. Celle-ci est indispensable pour permettre à la France de prendre, au sein d'ESS, une place en rapport avec les investissements considérables qu'elle y aura réalisés. Le délai entre la fermeture d'ORPHEE et le plein démarrage de l'ESS est trop grand, laissant planer le doute quant à la conservation d'une communauté active et attractive en neutronique ainsi que d'une expertise indispensable à la participation aux développements instrumentaux de l'ESS. La participation française à ESS (140 millions d'euros soit 8-9% du coût total) ne servira *in fine* qu'aux pays qui n'auront pas asséché leur vivier d'utilisateurs, de concepteurs, et de chercheurs en neutronique... La France, sans une source nationale, risque un déclin irréversible de ses forces en la matière. A noter que les autres grands pays européens, Allemagne, Royaume-Uni, Suisse, disposent chacun d'une source nationale pérenne.

De plus, il est à craindre que la source à spallation européenne en construction (European Spallation Source, ESS, Lund, Suède) ne réponde qu'à une petite partie du besoin de la communauté nationale, du fait d'un temps disponible limité. La disparition des réacteurs Orphée à court terme et de celui de l'Institut Laue Langevin (ILL) peut-être à moyen terme, va alors mettre en danger une recherche de grande qualité.

Compte tenu de l'impact scientifique des techniques de diffusion des neutrons (magnétisme, physico-chimie, matériaux, métallurgie, ...) et dans le contexte de la participation pleine et entière de la France à ESS, PHOM pourrait peser pour de plusieurs façons :

1. manifester son soutien au réacteur Orphée en fonctionnement à 180 jours/an jusqu'en 2020, comme initialement prévu.
2. plus largement, en lien avec la Société Française de Neutronique représentant les utilisateurs et les autres acteurs impliqués, tutelles CEA et CNRS, personnel du LLB-Orphée, PHOM doit être associé à l'ensemble des réflexions à mener pour définir le devenir de la source nationale, et plus généralement sur l'avenir de la neutronique : une nouvelle stratégie française, ambitieuse, est à écrire. Ceci pourrait passer par le projet à long terme d'une source à spallation nationale équipée d'une suite d'instruments innovants, complémentaires de ceux de l'ESS, et pouvant ainsi répondre à la demande de l'ensemble de la communauté des utilisateurs.

Actions transverses : Physique théorique, numérique et modélisation

PhOM - Action transverse

Physique Théorique, Numérique et Modélisation

English summary – September 9th, 2015.

Theoretical research in physics (including numerical simulations and modeling) is by essence transverse and multidisciplinary. Theoreticians and researchers doing numerical simulations which work in different fields, laboratories or poles of the UPSaclay University share many common scientific interests. Many methods, – theoretical ones as well as algorithms – have a scope of applications that goes beyond a given problem, system, or physical phenomenon.

There are more than 250 permanent researchers in PhOM which main activity is in theory and/or numerical simulations and modelling. The subjects that are studied by these teams cover all the research topics of the PhOM department. They can (roughly) be grouped into five large classes of subjects: Few body systems, Quantum many-body theories, modelling in material physics, Plasmas and laser-matter interactions and Statistical physics. Many of these subjects have strong connections to the other departments.

The transverse action “Theoretical Physics, numerics and modelling” aims at strengthening the links within this community, and to promote exchanges throughout the continuum going from the theoretical or numerical research in direct contact with experiments, to those further upstream, working on models and ideas which are not (yet!) realized in experiments. This action will offer a place for discussions and exchanges generating a common culture, new ideas, new collaborations and new projects. In the same spirit, favoring diffusion of the “state-of-the-art” theoretical/numerical techniques should also be a priority (lectures, schools, workshops). Along these lines, an active participation to the (future) Institut Pascal will be a particularly efficient way to favor interactions between different components of the community, as well as to contribute to its international visibility.

Another objective is to contribute to a more attractive, dynamic and creative research environment. To this end we propose to grant young researchers (Ph D students, post-docs and young staff members) more autonomy and responsibilities. The funding of international conferences which are organized *by* and *for* young researchers is proposed to achieve this goal, as well as an efficient way to let the campus and our laboratories known by young talented foreign researchers. In the same “modernization” spirit, promoting women’s vocations and carriers (representing today only 10% in the theory community) is an important objective.

Finally, numerical simulations and modelling have become a central activity in scientific research during the last decades. These activities already represent a major strength in the PhOM landscape and making PhOM and the Paris-Saclay University a world-class center in computational physics appears to be an accessible goal. We want to work toward this objective with the numerous organisms (located on the plateau) devoted to the promotion of scientific computing (CECAM, IDRIS, TGCC of CEA, Maison de la simulation, Méso-centres)

PhOM - Action transverse

Physique Théorique, Numérique et Modélisation

Composition du bureau

Arnaud COUAIRON (couairon@cpht.polytechnique.fr, CPhT, Polytechnique), pôle 4
Hichem DAMMAK (hichem.dammak@ecp.fr, SPMS, Centrale-Supélec), pôles 3 et 7
Ivan DORNIC (ivan.dornic@cea.fr, SPEC, CEA), pôle 3 et 1
Olivier DULIEU (olivier.dulieu@u-psud.fr, LAC, Univ. Paris-Sud), pôle 1 et 2
Marc GABAY (gabay@lps.u-psud.fr, LPS, Univ. Paris-Sud), pôles 1, 5 et 7
Henk HILHORST (henk.hilhorst@th.u-psud.fr, LPT, Univ. Paris-Sud), pôle 3
Gilles MAYNARD (gilles.maynard@u-psud.fr, LPGP, Univ. Paris-Sud), pôle 2
Grégoire MISGUICH (gregoire.misguich@cea.fr, IPhT, CEA), responsable, pôles 1 et 3
Nicolas PAVLOFF (nicolas.pavloff@u-psud.fr, LPTMS, Univ. Paris-Sud), co-responsable, pôles 1 et 3
Laurent PROVILLE (laurent.proville@cea.fr, SRMP, CEA), pôles 7 et 3
Lucia REINING (lucia.reining@polytechnique.fr, LSI, Polytechnique), pôles 1,5 et 7
David SIMEONE (david.simeone@cea.fr, SRMA, CEA), pôle 3 et 7

Note :Rappel sur les thèmes des pôles et leur numérotation en bas de cette page.²

Ce document présente un état des lieux de l'activité en Physique Théorique, Numérique et Modélisation (PTNM) au sein du (futur) département PhOM. Il est le résultat du travail du bureau ci-dessus, effectué entre octobre 2014 et mai 2015 (9 réunions). Il présente les motivations et les objectifs de l'action transverse PTNM, les forces et opportunités sur lesquelles s'appuyer, ainsi que les risques et problèmes potentiels.

I – Motivations & Objectifs

Les réflexions menées au sein du bureau de l'action transverse (AT) PTNM ont en grande partie porté sur ce que l'AT-PTNM souhaite (et peut) faire sur le long terme au sein de PhOM et de l'UPSaclay. Les motivations de fond sont

- de contribuer à la créativité (et l'efficacité/compétitivité) des équipes,
- d'agir en amont pour attirer d'avantage les jeunes vers les disciplines scientifiques abstraites,
- de promouvoir la recherche théorique/numérique au sein de PhOM et de l'UPSaclay,
- d'entretenir et de développer une culture commune,
- de favoriser l'émergence de nouveaux sujets, d'encourager l'interdisciplinarité

² **1.** Cohérence et corrélations quantiques **2.** Matière diluée ou ionisée : de l'atome et la molécule aux plasmas **3.** Matière complexe : systèmes désordonnés et effets dynamiques, biophysique **4.** Lumière extrême : lasers intenses, sources ultra-rapides, interaction laser-matière, sources secondaires **5.** Nanophysique : nanoélectronique, nanomagnétisme, nanophotonique... **6.** Optique : biophotonique, imagerie, microscopies, capteurs **7.** Matériaux : élaboration, relations entre structure et propriétés

Remarque : Contrairement à ce qui se fait dans certains pôles, nous n'avons pas cherché à identifier un ou des sujets précis qui représenteraient un enjeu majeur, qu'il faudrait faire émerger, développer ou renforcer en priorité. Un tel point de vue nous a semblé contraire à l'esprit et aux objectifs de l'action transverse PTNM. De plus, dans un contexte de ressources limitées, le renforcement d'un axe prioritaire se ferait au détriment d'un soutien de base que nous estimons nécessaire et qui fait déjà défaut (cf. menace T2). Nos réflexions et nos choix se trouvent donc dans les questions *transverses* aux différentes thématiques.

[OB1] Favoriser les collaborations et interactions au sein de la communauté. Favoriser en particulier les échanges d'un bout à l'autre du *continuum* allant des recherches théoriques en prise directe avec les expériences (ex : modélisations, calculs ab-initio, ...), à celles qui sont le plus en amont (ex: physique mathématique, modèles exactement solubles, ...).

[OB2] Organisation de formations (cours, écoles, ...), pour la diffusion de l'état de l'art sur les méthodes théoriques et numériques.

[OB3] Faire du plateau de Saclay un pôle de classe mondiale pour la physique numérique. Ce qui demande en particulier de réunir les meilleures conditions possibles pour le développement de codes de calcul performants et innovants.

[OB4] Faire de notre environnement scientifique un cadre dynamique et attractif. Ceci passe notamment par une place accrue laissée aux jeunes. Mais aussi, une diversification de la population des chercheurs, notamment en ce qui concerne la proportion de femmes.

II – Etat des lieux et analyse

II.a – A propos de la recherche théorique/numérique

La Physique Théorique, Numérique ou la Modélisation ne constituent pas un « thème » scientifique en soi. En ce sens, le périmètre de l'action transverse PTNM est de nature différente à celle des 7 pôles thématiques.

Pourquoi alors une telle action transverse ? Tout d'abord, ces activités représentent une communauté très importante au sein de PhOM avec plus de 250 personnes dont l'activité principale est la théorie et/ou de la modélisation (voir section II-c et annexe II). Ensuite, l'action PTNM souhaite affirmer l'existence d'une démarche et de besoins spécifiques. Ces particularités de l'activité théorique/numérique/modélisation (qui ne sont pas spécifiques à PhOM) sous-tendent l'ensemble de notre analyse et nous commençons donc par en rappeler quelques-unes.

Le travail théorique/numérique

Utilisation et développement de méthodes/outils/concepts qui s'appliquent dans de nombreux domaines de la physique, voire au-delà. Les exemples abondent, qu'il s'agisse de calculs de structure électronique, de simulations Monte-Carlo, du « *high-performance computing* » (HPC), ou encore de nombreux concepts et méthodes de la physique des systèmes à petit ou à grand nombre de corps. C'est ce qui fait de la théorie une activité transverse par nature, et facteur d'unité dans les disciplines (langage commun pour décrire et comprendre des phénomènes en apparence diverses). L'ambition de développer des approches et idées *générales* comme d'explorer les interfaces avec d'autres disciplines sont des motivations importantes.

Importance du brassage des idées, du croisement des méthodes : il est particulièrement fructueux en physique théorique/numérique d'attaquer un problème avec plusieurs méthodes, autant qu'il est utile d'utiliser une même méthode sur plusieurs problèmes. Ceci améliore la compréhension des phénomènes et permet de développer les méthodes pour mieux appréhender la réalité expérimentale.

Rôle croissant des outils numériques (de la conception de nouveaux algorithmes aux techniques de calcul intensif) dans tous les champs de la physique, des sujets les plus abstraits aux plus proches des expériences. Ceci s'accompagne, pour être compétitif, du besoin de moyens de calculs performants et de compétences ciblées. Il n'existe d'ailleurs pas de frontière stricte entre activités « numériques » et activités « analytiques ». Ainsi, par exemple, les nouvelles méthodes de simulation s'inspirent souvent de la compréhension de nouveaux phénomènes et/ou de progrès « analytiques » tandis que beaucoup de nouvelles théories naissent d'observations faites lors « d'expériences numériques ». Pour ce type de raisons, particulièrement pertinentes dans le périmètre de PhOM, la réunion de la physique théorique et de la modélisation dans une même action transverse est tout à fait pertinente.

La recherche scientifique théorique et numérique produit des « objets immatériels » relativement complexes, qu'il s'agisse de théories ou de grands codes de calcul par exemple. La compréhension, l'utilisation et le développement de ces objets demande du temps, et un investissement humain sur la durée et la continuité.

Certains sujets théoriques (calculs analytiques notamment) se prêtent naturellement à des travaux en petites ou très petites équipes. Les avancées théoriques ou numériques les plus marquantes ne se font pas nécessairement au sein de grands groupes, ni dans le cadre de très grands projets.

Les collaborations à distance sont (en moyenne) plus faciles que pour les expérimentateurs. L'activité théorique/numérique autorise une plus grande mobilité géographique et impose moins de contraintes liées aux équipements localisés dans les laboratoires.

Interaction théorie/expérience

Il va sans dire que le lien entre théorie/simulation et activités expérimentales est essentiel, et ce lien s'exprime notamment dans chaque pôle. Il n'en reste pas moins que l'étude de sujets qui sont aujourd'hui éloignés (voire déconnectés) des expériences actuelles peut demain s'avérer très fructueuse dans des domaines directement reliés aux expériences et aux applications. Les exemples sont très nombreux. Un message que souhaite véhiculer l'action PTNM est que ces sujets de recherche très « amont » ont toute leur place dans un département de recherche fondamentale d'une grande université. Ils permettent d'entretenir la diversité des idées en explorant continuellement les frontières du possible.

Beaucoup de développements expérimentaux appellent/demandent des progrès sur le plan théorique et sur le plan de la simulation : qu'il s'agisse d'interpréter, de synthétiser, de comprendre ou de prédire les résultats expérimentaux, la théorie et la modélisation répondent à une demande forte dans beaucoup de domaines. Il est important de pouvoir établir des partenariats avec les expérimentateurs et d'apporter une expertise théorique/numérique qui soit à la hauteur des enjeux dans les domaines qui font l'objet des développements expérimentaux les plus importants, comme dans les domaines qui font l'objet des investissements (humain et/ou équipement) les plus importants.

II.b – Les thèmes de l’activité PTNM

La physique théorique/numérique et la modélisation sont présents dans quasiment tous les champs couverts par PhOM. Le résultat d’un inventaire des objets ou phénomènes physiques étudiés aurait donc été proche de la « réunion » des inventaires effectués dans les 7 pôles. En accord avec l’esprit d’un axe transverse nous avons plutôt adopté une démarche où l’accent est mis sur les théories et les méthodes théoriques/numériques. La liste de mots clés correspondants est donnée en annexe I. La version initiale a été complétée suite aux différents retours de la part de la communauté (cf. lettre envoyée le 31/01/2015).

L’idée de départ est de mettre côte à côte les approches qui ont des liens de parenté « mathématiques » ou « algorithmiques », quand bien même elles s’appliquent à des systèmes assez différents. Ainsi la section « *continuous media* » regroupe une famille de méthodes utilisées dans de nombreux domaines et qui visent – pour simplifier – à traiter des problèmes d’équations aux dérivées partielles, que ce soit analytiquement ou numériquement. Dans la même ligne, l’accent a été mis sur les méthodes de portée générale dans les sections « *quantum theories* » et « *statistical physics* » (ex : *Monte-Carlo methods* ou *Density functional theory*).

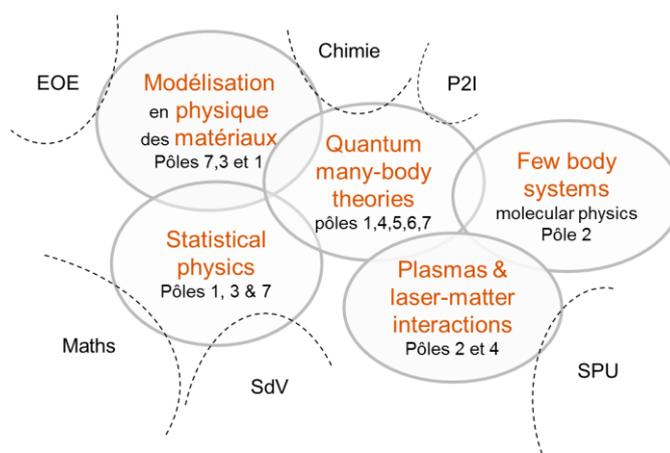


Figure 1 Schéma indiquant (de façon approchée !) les recouvrements entre les 5 grandes thématiques et leurs interfaces avec les autres départements.

Si la grande majorité des sujets s’insèrent bien dans un ou plusieurs pôle(s), nous signalons également l’importance de plusieurs thèmes proches de la physique mathématiques et/ou de la physique statistique qui sont proches des interfaces entre les thèmes de PhOM et ceux de départements comme Maths et P2I.³

[S1 – Force] La communauté associée à PTNM est constituée de chercheurs dont les activités se répartissent entre 5 grands thèmes (Figure 1). On peut citer « *Quantum many-body* » [Pôles 1,4,5,6,7], « *Few body systems* » (physique moléculaire en particulier) [Pôle 2], Interaction Laser-Matière & Plasmas [Pôle 4 & 2], « *Statistical Physics* » [Pôles 1, 3 & 7] ou

³ Ces sujets, principalement étudiés au LPT, LPTMS et à l’IPhT, sont par exemple: systèmes intégrables, méthodes de théories de champs, modèles de matrices aléatoires, approches combinatoires, processus stochastiques, ...

simulations & modélisation en physique des matériaux [Pôles 7,3 et 1]. Ces thèmes constituent également des axes importants pour les activités expérimentales.

II.c – Laboratoires et chercheurs

Recensement

Nous avons constitué une liste des chercheurs permanents des laboratoires rattachés à PhOM dont la Physique théorique, numérique ou la modélisation représente l'activité principale. Cette liste, donnée en Annexe II, comprend plus de 290 noms, et la quasi-totalité des laboratoires affiliés à PhOM sont présents (voir aussi la Figure 2). La très grande majorité de ces chercheurs sont théoriciens/numériciens/modélisateurs à plein temps, sans activité expérimentale en parallèle.

Note : Un nombre important d'expérimentateurs de PhOM ont en parallèle une activité simulation/modélisation significative, et souvent « de pointe » (exemple : à l'IEF). La plupart d'entre eux ne figurent pas dans la liste de l'annexe II dans la mesure où nous avons choisi de limiter le recensement aux personnes dont la PTNM est l'activité « principale ».

Remarque sur la méthode: Le recensement a été fait en contactant individuellement une ou plusieurs personnes dans chaque unité. En l'absence de contact « AT-PTNM » préalablement désigné pour/par chaque labo (comme c'était le cas pour les pôles), nous avons choisi un ou des contacts, au cas par cas.⁴ Cette liste préliminaire a ensuite été transmise à tous les directeurs d'unité, pour être éventuellement complétée. Nous avons également collecté quelques mots clés pour définir le domaine d'activité de chaque chercheur (ou au moins pour chaque équipe). Ces informations nous ont servi à établir la liste du paragraphe II-b.

Ces chercheurs occupent une grande diversité de situations: certains groupes travaillent au sein de laboratoires qui ont aussi de fortes composantes expérimentales (30 laboratoires), tandis que plusieurs laboratoires sont exclusivement théoriques (CPHT, IPhT, LPT, et LPTMS). Certains sont en collaboration étroite avec des expérimentateurs, tandis que d'autres s'intéressent à des problèmes plus abstraits ou à des modèles théoriques éloignés des expériences actuelles. Dans tous les cas ce tissu d'activités théoriques/numériques est intriqué avec les thématiques des pôles et joue souvent un rôle unificateur.

Ces activités se prolongent aussi de façon importante aux interfaces avec les départements voisins. A titre d'illustration, voici les laboratoires de PhOM qui i) apportent au moins 10 chercheurs à la liste PTNM (Annexe II) et qui ii) ont une composante importante (implication >10%) dans d'autres départements : le CPHT (P2I), l'IEF et le SPEC (EOE), l'IPhT (P2I et Maths), l'ISMO et le LCP (Chimie) le LPP (SPU).

Par ailleurs, les théoriciens des autres départements s'organisent également, et il est prévu de rendre les interfaces le plus perméable possible. Ainsi, un groupe comprenant des physiciens théoriciens (ou physiciens-mathématiciens) impliqués dans les départements de Maths, P2I, PhOM et SPU s'est réuni une première fois dans le but de faire une synthèse des réflexions menées au sujet de la physique

⁴ Il s'agit dans certains cas d'un des contacts PhOM du laboratoire pour l'un des pôles, du directeur d'unité, où parfois d'un théoricien qui n'est ni « contact pôle », ni DU.

théorique dans ces départements.⁵ Par ailleurs, notre action transverse est également en contact avec le groupe théorie du département de Chimie.⁶ Nous sommes également en lien avec le groupe inter-département « Simulation numérique ».⁷

Signalons enfin que la liste des théoriciens/modélisateurs en Annexe II comprend 7 bénéficiaires d'un financement ERC (dont 2 « advanced ») et 7 membres de l'institut universitaire de France (dont deux « séniors »)

[S2 – Force] Diversité de situations et de thèmes scientifiques, comme décrit plus haut.

Remarques sur les indicateurs bibliométriques : L'action transverse n'a pas collecté de liste de publications. Compte-tenu de l'étendue du domaine PTNM (+ de 30 labos, 295 chercheurs, intersections thématique avec les 7 pôles ...) et de la difficulté à séparer les travaux purement expérimentaux de ceux qui ont une composante théorique/numérique (et à quel degré ?), un travail de collecte systématique nous est apparu être à la fois une tâche trop lourde (pour le bureau comme pour unités, déjà très sollicitées par ailleurs) et partiellement redondante avec le travail effectué par les pôles. Notons également que les études quantitatives faites par les pôles incluent bien sur les travaux des théoriciens.

[W1 – Faiblesse] Il y a dans PhOM une trentaine de chercheuses sur un total de 295 personnes dans notre liste, soit 10% environ. En France cette proportion de chercheuses est de l'ordre de 20% pour la physique en général, et autour de 27% toutes sciences confondues. En 2012 elles représentaient 32.8% des chercheurs permanents du CNRS (toutes disciplines), mais seulement 9,5% en section 02 (physique théorique).⁸ L'action PTNM est donc particulièrement concernée par ce déséquilibre, et devra réfléchir aux moyens de rendre cette activité plus attractive pour les femmes.

[S3 – Force] L'expérience de l'axe « théorie » (axe B) du Triangle de la Physique (réseau thématique de recherche avancée dont le périmètre est voisin de celui de PhOM) fut très positive. Son bon fonctionnement et les contacts déjà établis au sein de la communauté sont autant d'acquis pour le démarrage de l'action PTNM.

⁵ Groupe constitué en concertation avec les DUs des 4 laboratoires de physique théorique (CPhT, IPhT, LPT et LPTMS): A. ABADA (LPT & action théorie du GT P2I), A. AFTALION (Lab. de Maths de l'UVSQ), S. LAVIGNAC (IPhT & action théorie du GT@P2I), Y. MAMBRINI (LPT & GT@SPU), S. MUNIER (CPhT & action théorie du GT @P2I), G. MISGUICH (IPhT & AT-PTNM@PhOM), S. NONNENMACHER (IPhT & GT@Maths), G. SCHERR (LPTMS)

⁶ D. LAUVERGNAT (axe théorie et simulation du département de Chimie).

⁷ G. MAYNARD, membre de notre bureau, y participe (avec L. PROVILLE comme suppléant).

⁸ Source : <http://www.cnrs.fr/fr/organisme/docs/espacedoc/CNRS-LP-2012.pdf>

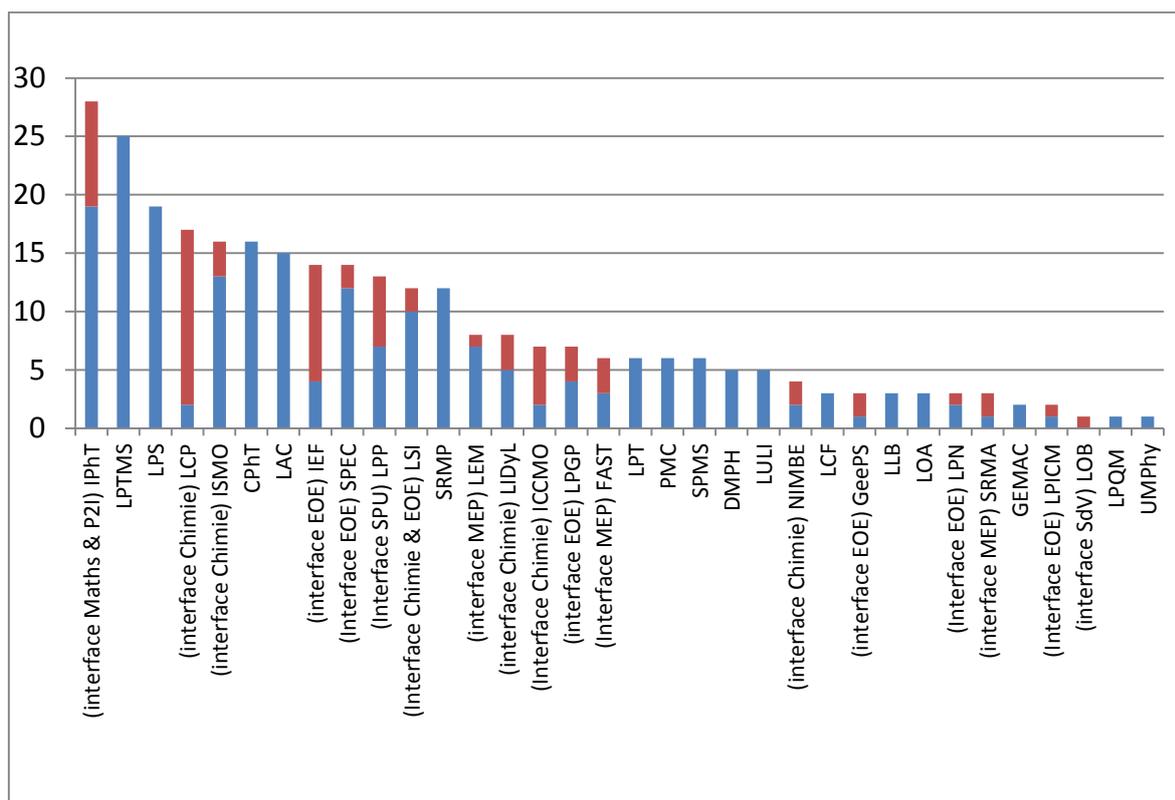


Figure 2 Effectifs des théoriciens/modélisateurs de PhOM (détail annexe II), totalisant 295 chercheurs permanents (NB : il ne s'agit pas d'équivalent temps-plein). Pour les laboratoires qui ont une implication importante dans un ou plusieurs autre(s) département(s), la partie de l'effectif marquée en rouge correspond à une *estimation* du nombre de théoriciens dont l'activité est à l'interface avec cet/ces département(s).

II-d Contexte et environnement scientifique

Forte de très nombreux laboratoires de premier plan, d'universités et d'écoles d'ingénieur prestigieuses, comme de plusieurs acteurs importants dans le domaine du calcul scientifique, la recherche fondamentale en Physique sur le plateau de Saclay a de nombreux atouts. L'environnement scientifique des chercheurs de PhOM (et celui des théoriciens/numériciens en particulier) va évoluer avec le développement l'UPSaclay. Le site va bénéficier (ou a récemment bénéficié) d'investissements importants (projets en *ex) et, qu'il s'agisse du démarrage d'équipements expérimentaux de pointe ou du futur Institut Pascal, les opportunités sont nombreuses pour l'activité PTNM. Un défi est d'être attentif aux questions théoriques posées par les nouvelles plateformes expérimentales de l'UPSaclay, tout en développant les thématiques qui répondent aux questions et aux démarches propres de l'activité PTNM.

[O1 – Opportunité] Gain de visibilité grâce à l'UPSaclay.

[S4 – Force] Grande richesse et grande variété d'activités expérimentales. Nombreuses installations de pointe, petites ou grandes. [S4' – Force] Présence de grands instruments.

[O2 – Opportunité] Création du futur l'Institut Pascal (IPa). S'il atteint son objectif de devenir un centre de rencontre scientifique de classe mondiale, il s'agira d'un formidable atout pour les chercheurs de l'UPSaclay. Il est clair que, par la nature de leur travail (voir paragraphe II.a) les théoriciens/numériciens en bénéficieront tout particulièrement. Nombre des grands instituts

qui ont inspiré ce projet ont d'ailleurs eu un impact scientifique majeur dans les disciplines théoriques.⁹

[T1 – Menace] Notons néanmoins que ni le financement du fonctionnement de l'IPa (plusieurs personnels permanents requis) ni le financement des programmes ne sont encore garantis à ce stade du projet. En l'absence d'un soutien clair de la part des communautés de chercheurs de l'UPSaclay, le risque est réel pour l'IPa d'avoir un fonctionnement réduit qui ne lui permettrait pas d'atteindre pleinement ses objectifs.

[S5 – Force] Présence sur le plateau de Saclay d'organismes qui visent à promouvoir le calcul scientifique :

- Maison de la Simulation
- Nœud île de France du CECAM (Centre Européen de Calcul Atomique et Moléculaire)
- IDRIS
- Méso-centres de calcul (GMPCS de la fédération LUMAT, méso centre de l'Ecole Centrale)

[S6 – Force] Dans l'ensemble, la formation par la recherche dans les domaines PTNM offre de bons débouchés. Que ce soit au niveau numérique comme analytique (statistique, ...), les compétences acquises au cours d'une thèse théorique et/ou numérique sont reconnues par les entreprises sur le marché du travail.

[S7 – force] Présence sur le plateau d'universités et de grandes écoles qui offrent des formations solides sur les aspects théoriques (notamment en maths etc.).

[W2 – Faiblesse] On constate néanmoins un cloisonnement assez fort entre les modules de formations qui sont proposés dans les différents établissements. La mise en place de l'UPSaclay atténuera certainement ce phénomène et on peut espérer qu'elle contribuera aussi à ce que le plus grand nombre des meilleurs étudiants restent travailler (M2 & thèses) dans nos laboratoires.

[W3 – Faiblesse] Nous observons un manque d'intérêt et d'implication des chercheurs dans la construction de l'UPSaclay, souvent perçue dans les laboratoires comme un montage complexe et peu lisible, et aux buts un peu flous. Il s'agit en partie d'un problème d'information, mais il y a aussi des inquiétudes réelles et légitimes concernant les futures sources de financements, l'administration de la recherche, la politique scientifique, les lieux de décisions, le risque de multiplication des structures et de la bureaucratie, ...

II-e Financement

La situation des chercheurs en PTNM vis-à-vis du financement de la recherche n'est pas fondamentalement différente de celle dans les autres disciplines. Elle est notamment marquée, comme presque partout, par une quasi disparition du soutien de base apporté par les unités et la généralisation d'un système de financement sur projets.

[T2 – Menace] Baisse du soutien de base, pérenne et récurrent.

- Travail devenu difficile/impossible sans financement externe.
- La quasi absence de soutien de base rend aussi plus difficile l'élaboration d'une stratégie individuelle ou d'équipe sur une durée supérieure à 2 ou 3 ans.

⁹ KITP Santa Barbara, Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences, Institut Henri Poincaré, Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme (Dresde), Aspen Center for Physics, ...

- Il est difficile de faire une demande de projet/financement uniquement pour du "networking" ou des missions. Ainsi, une situation où les appels d'offre n'offriraient que très peu de frais de fonctionnement serait un handicap pour les chercheurs qui comptent sur un soutien de base et qui a presque disparu ces dernières années. Par exemple, devoir faire une demande de financement pour pouvoir inviter un chercheur pour un mois ou financer un séjour à l'étranger de quelques semaines semble une perte considérable lorsqu'on intègre les coûts salariaux des demandeurs ainsi que ceux inhérents au traitement administratif des dossiers de demande.
- [T3 – Menace] Multiplication des guichets de financement. Il ne semble pas souhaitable que les départements deviennent des guichets supplémentaires, surtout si cela devait se faire à budget total constant. A moins qu'ils soient amenés à en remplacer d'autres ?
- [T4 – Menace] Baisse des financements disponibles pour les recherches les plus en amonts (programmes « blancs ») au profit d'appels d'offres qui visent un « retour sur investissement » à plus court terme. Ceci favorise les projets plus appliqués, qui répondent à des questions ou des besoins préalablement bien identifiés. Et ceci au détriment de recherches conduites sur le plus long terme, exploratoires, et plus risquées. Pour les mêmes raisons, il semble qu'un pilotage trop étroit des activités de recherche par les départements accentuerait le problème.
- [S8 – Force] Les progrès de ces dernières années en matière de simulation numérique font qu'il s'agit désormais d'un outil central, voire incontournable, pour la conception et la mise au point d'objets complexes. Les compétences de pointe PhOM en matière de simulation et de modélisation (mais parfois aussi sur certains sujets plus théoriques) sont clairement appréciées par les industriels (grands groupes en particulier), et ce dans beaucoup de domaines (physique du solide, physique statistique, plasmas, sources laser, interactions laser-matière, optique, ...), donnant lieu, par exemple, à de nombreux contrats CIFRE.
- [T5 – Menace] Coût des accès aux revues scientifiques, désabonnements par mesure d'économies; disparité des systèmes d'information des établissements composants l'UPSaclay.

II-e Place de la théorie & modélisation dans les analyses faites par les pôles

Si l'analyse présentée ci-dessus se rapporte pour l'essentiel à des questions *transverses* aux pôles, nous sommes également attentifs aux points qui sont plus spécifiques à des thèmes particuliers. Ainsi, nous reproduisons ci-dessous les éléments qui, dans les analyses SWOT et propositions des 7 pôles scientifiques, font explicitement référence aux activités théorie-modélisation. Ces informations basées sur les documents provisoires disponibles fin mai ainsi que sur les exposés de la journée PhOM du 2 juin). Certain de ces éléments sont repris plus loin pour dans la section III (propositions).

Pôle 1 :

- [Faiblesse] Trop peu de théoriciens en information quantique
- [Force] Concentration importante de théoriciens travaillant dans le domaine des propriétés quantiques des matériaux
- [Force] Maison de la simulation et nœud île de France du CECAM

Pôle 2 :

- [Etat des lieux] Les théoriciens représentent 32% des effectifs du pôle.

- [Force] Toutes les études menées au sein du pôle s'appuient sur une démarche fondamentale, dans laquelle la théorie et la simulation numérique ont une contribution très importante.
- [Force] Sur le plan théorique, une grande variété de méthodes sont développées et la communauté bénéficie des ressources de calculs nécessaires. Ainsi une remarquable synergie opère entre théorie et expérience, un point clés pour les activités couvertes par le pôle.
- [Force] Intrication forte entre théorie/expérience avec une double compétence locale

Pôle 3 :

- [Etat des lieux] Les théoriciens représentent 50% des effectifs du pôle.
- [Force] Les activités du pôle Matière et systèmes complexes (MSC) ont pour particularité une forte complémentarité entre théorie et expérience. La théorie est un élément remarquable et de fort impact : souvent en forte conjonction avec l'expérience, elle est une valeur ajoutée certaine aux travaux de MSC.
- [Menace] Financement difficile pour les projets théoriques (difficulté auprès de l'ANR)

Pôle 4 - Dynamique ultra-rapide.

- [Opportunité] Effort de développement théorique en cours; nouveaux sujets à explorer.

Pôle 4 - Matière sous conditions extrêmes

- [Faiblesse] Permanents théoriciens peu nombreux.
- [Opportunité] Renforcement des liens entre expérimentateurs et théoriciens sur le Plateau.
- [Proposition] Explorer de nouveaux champs théoriques aux frontières, dans le domaine des de l'interaction laser-matière en présence des champs électromagnétiques très intenses (lien avec QED, la physique nucléaire). Financement de thèses co-encadrées avec P2I.

Pôle 5

- [Faiblesse] Trop peu de théoriciens. Pas assez d'interactions entre la théorie et les expériences.

Pôle 6

- [Force] Les recherches s'étendent du fondamental à l'appliqué, souvent au sein des même équipes et concernent aussi bien les expériences que la théorie.

Pôle 7

- [Etat des lieux] Le triptyque "Synthèse-Analyses-Modélisation" forme le noyau dur des activités sur les matériaux pour les deux départements EOE et PhOM.
- [Force] Activité très importante dans le domaine des calculs ab-initio et de structures électroniques
- [Faiblesse] Interactions théorie/simulation/expérience à développer d'avantage
- [Proposition] Créer un réseau de chercheurs en modélisation, centre de calcul.
- [Proposition] Organisations de workshops en collaboration avec l'AT-PTNM (cf paragraphe III-f)

III Propositions de moyens à mettre en œuvre

III-a Collaboration avec le futur Institut Pascal (IPa)

Pour beaucoup de raisons liées à la nature de l'activité théorique (paragraphe I), l'IPa constituera un outil particulièrement utile et intéressant pour la communauté PTNM. Cette dernière représente par ailleurs un fort potentiel de propositions de programmes (et bien sûr de participants) pour l'IPa. L'organisation de rencontres de type « trimestres thématiques » s'inscrit complètement dans les motivations et objectifs de l'action transverse, tels qu'ils sont décrit plus haut. Elle répond par exemple à OB1 (voir OB2) grâce à S1, S4, O1 & O2. Mais aussi à W3 par des réalisations tangibles.

Compte-tenu du fait que le financement du fonctionnement de cet institut n'est pas garanti [T1], l'AT-PTNM souhaite soutenir le projet de l'IPa en proposant à l'IdEX de financer des trimestres thématiques à l'IPa, sur des sujets reliés au périmètre de l'action transverse PTNM. Cela contribuerait au démarrage de l'IPa¹⁰ dans de bonnes conditions (la recherche de financement n'étant pas à la charge des organisateurs scientifiques) et bénéficierait à un nombre important de chercheurs de PhOM et de ses interfaces.

Concrètement, l'action transverse PTNM se propose de solliciter la communauté de PhOM pour qu'elle fasse des propositions de programmes thématiques qui seraient sélectionnés par le conseil scientifique de l'IPa, et financés par l'IdEx.¹¹

A titre d'exemples et d'illustration nous indiquons ci-dessous quelques programmes thématiques du KITP de Santa Barbara (institut aux missions et fonctionnement similaires à ceux prévus pour l'IPa) sur des sujets qui sont dans le périmètre de PhOM, et avec une composante théorique importante. Il s'agit de programmes qui ont eu lieu (ou sont prévus) sur la période 2013-2016.

- « Fundamental Science and Applications of Ultra-cold Polar Molecules »
- « Spintronics: Progress in Theory, Materials, and Devices »
- « Control of Complex Quantum Systems »
- « Avalanches, Intermittency, and Nonlinear Response in Far-From-Equilibrium Solids »
- « Magnetism, Bad Metals and Superconductivity: Iron Pnictides and Beyond »
- « Entanglement in Strongly-Correlated Quantum Matter »
- « New Phases and Emergent Phenomena in Correlated Materials with Strong Spin-Orbit Coupling »
- « Many-Body Physics with Light »
- « Many-body Localization », Geometry, elasticity, fluctuations, and order in 2D soft matter »
- « New approaches to non-equilibrium and random systems: KPZ integrability, universality, applications and experiments »
- « Closing the entanglement gap: Quantum information, quantum matter, and quantum fields »
- « Novel States in Spin-Orbit Coupled Quantum Matter: from Models to Materials »
- « Non-equilibrium dynamics of strongly interacting photons »

¹⁰ Les 1^{er} programmes sont prévus pour 2018, mais leur préparation demande typiquement deux ans.

¹¹ Le document de présentation de l'IPa (par D. Ullmo, version du 16 mai 2014) estime le coût d'un trimestre thématique entre 200 k€ et 320k€.

III-b Carrières féminines

La proportion de femmes en PTNM est extrêmement faible [W1] et la situation ne semble pas spontanément évoluer vers un meilleur équilibre. Notre action transverse souhaite réfléchir activement à ce problème [OB4] et des actions possibles sont en discussion au sein du bureau. La possibilité de proposer des mesures de type « discrimination positive » a été évoquée, mais les avis sur leur pertinence sont partagés... Néanmoins, dans une université moderne en 2015, il nous semble qu'il faille dépasser le stade du simple constat et que des mesures concrètes devraient être proposées. Enfin, si le déséquilibre homme/femme est particulièrement fort dans le domaine PTNM, c'est aussi un problème global qui doit être discuté au niveau du département et même de l'université.

III-c Actions pour les jeunes chercheurs(euses)

Nous pensons qu'il faut donner plus d'espace, de confiance et de responsabilité aux jeunes, qu'il s'agisse des thésards, post-docs ou éventuellement de jeunes recrutés. Nous proposons donc :

Financement de conférences internationales organisées sur le plateau pour des jeunes et par des jeunes (« Young Researchers' Meeting »). Les expériences dans ce domaines se multiplient et donnent lieu à des retours sont très positifs. Cette proposition s'inscrit dans la volonté de l'AT-PTNM de donner une place et des responsabilités plus importantes aux jeunes chercheurs. A terme il s'agit aussi de dynamiser et moderniser l'environnement scientifique [OB4], et de contribuer à la visibilité de nos laboratoires auprès des jeunes talents étrangers. Par ailleurs, ceci attirerait des jeunes chercheurs sur le plateau et contribuerait faire connaître nos laboratoires par des candidats potentiels (et réciproquement) pour de futurs recrutements. Le coût d'une telle conférence est de l'ordre de quelque dizaines de milliers d'euros (frais de séjour & voyage pour les orateurs invités).

Organiser des rencontres entre jeunes chercheurs (thésards & post-docs) travaillant dans des laboratoires différents de l'UPSaclay, pour élargir leurs spectres d'intérêts et de compétences, favoriser les contacts inter-équipes et prévenir d'éventuelles situations d'isolement scientifique. Le coût financier de telles initiales, locales, est d'un ordre de grandeur plus faible que le point précédent.

Permettre d'avantage aux jeunes chercheurs d'enseigner, quand ils le souhaitent, serait également très profitable. C'est actuellement très difficile pour les non-enseignants chercheurs, mais on peut espérer de la création de l'UPSaclay qu'elle contribue à un certain décroisement sur ce point. Le créneau des cours d'école doctorale (qui s'adressent typiquement à des étudiants en thèse) semble intéressant parce que l'offre est actuellement relativement limitée et que leur organisation offre une plus grande souplesse que celle des cours de niveau L-M ou D.

Un autre type d'action que nous proposons est de disposer de **financement spécifique pour recruter des jeunes théoriciens, soit au niveau thèse soit au niveau post-doc**, en collaboration entre plusieurs équipes **et/ou** autour de thématiques liées à des projets porteurs (notamment expérimentaux) de Paris-Saclay. Ceci remplirait plusieurs objectifs

- Augmenter le nombre de jeunes [OB4] et améliorer le taux d'encadrement (thèse / HDR) qui n'est en moyenne pas très élevé (cf. l'analyse de l'action transverse « formation et relation avec les écoles doctorales »)
- Contribuer à renforcer les activités théoriques et les liens entre théoriciens et expérimentateurs. Ceci correspond à une demande des pôles 4, 5 et 7, ainsi que du pôle 1 (dans le domaine particulier de l'information quantique).
- Renforcer les liens entre théoriciens de laboratoires différents [OB1].
- Pallier à la difficulté de financement de la théorie dans ses aspects les plus « amonts » (manque de programmes « blancs » [menace T4]), un point également souligné dans l'analyse du pôle 3 (cf. II-e).

Remarque : La généralisation d'appels d'offre « collaboratifs » pousse parfois à des montages ad-hoc sans justification scientifique réelle. Pour cette raison nous proposons que l'aspect collaboratif ne soit pas *impératif* si l'intérêt pour le plateau et les qualités scientifiques du projet sont manifestes par ailleurs. Enfin, compte-tenu du problème que représente la multiplication des guichets de financement [menace T3], il est vivement souhaitable que de telles bourses puissent s'insérer dans un dispositif existant.

III-d Projets collaboratifs avec le CECAM & la Maison de la simulation

L'une des missions de la Maison de la simulation est d'apporter aux chercheurs une expertise en calcul intensif. Cette expertise concerne notamment les outils de programmation nécessaires pour tirer pleinement partie des supercalculateurs actuels (parallélisme massif, processeurs graphiques (GPU), etc..). L'ambition de faire du campus un pôle de classe mondiale pour les sciences numériques [OB3] doit naturellement s'appuyer sur ces compétences. Nous proposons donc le financement de projets dans lesquels des ingénieurs informaticiens collaborent avec des chercheurs pour le développement ou l'optimisation des codes de calculs, et, plus généralement la diffusion de l'état de l'art dans les techniques de « high performance computing ». Notons par exemple que le pôle 3 a mis en avant dans son analyse le grand succès rencontré par un projet de ce type (projet open-source SMILEI [Simulation of Matter Irradiated by Light at Extreme Intensities]). Ce type de projet demande typiquement un post doc et/ou un étudiant en thèse et l'ordre de grandeur du coût est donc en général supérieur à la centaine de kilo euros.

Le CECAM¹² (et en particulier son nœud île de France, hébergé par la Maison de la simulation à Saclay) organise des écoles, conférences et ateliers (workshops de durée habituellement assez courte) sur des thèmes reliés à la simulation numériques sur des problèmes de matière condensée, de matériaux, de chimie, et/ou de systèmes dilués (entres autres). PhOM est donc très directement concerné [S5] et l'action transverse PTNM souhaite proposer le financement (ou co-financement) de tels programmes, qui contribueraient clairement à favoriser les interactions au sein de la communauté PTNM du plateau, ainsi que sa visibilité [OB1, OB2, OB3]. Le coût d'un tel programme (sur une durée de 1 ou 2 semaine(s) par exemple) est de l'ordre de la dizaine de milliers d'euros (frais de voyage & séjour pour les orateurs invités).

¹²Centre Européen de Calcul Atomique et Moléculaire

III-e Projets collaboratifs théorie↔ expérience

Les théoriciens ont parfois besoins de nouvelles données expérimentales visant à tester, valider ou améliorer certaines approches théoriques. Les expériences nécessaires peuvent par exemple impliquer des mesures de précision sur des matériaux ou systèmes « classiques » qui ne sont par ailleurs plus l'objet d'une recherche expérimentale de pointe, car ils ne rentrent pas dans la catégorie des systèmes « à la mode ». Ce type d'études, motivées en grande partie par des considérations théoriques, ne trouvent aujourd'hui pas facilement de financements. Plus généralement, un tel type de financement pourrait permettre d'engager tous type d'étude expérimentale motivée par des questions ou des prédictions théoriques nouvelles.

Nous donnons ci-dessous deux exemples à titre d'illustration. Le premier, en physique des matériaux, est un projet déjà en cours. Le second concerne une prédiction/proposition théorique récente dans le domaine des condensats de Bose-Einstein.

Suite à une prédiction fondée sur la DFT (« *Irradiation-Induced Formation of Nanocrystallites with C15 Laves Phase Structure in bcc Iron* », M.-C. Marinica [SRMP], F. Willaime [SRMP], and J.-P. Crocombette [SRMP] Phys. Rev. Lett. 108, 025501 (2012)) et montrant l'existence de nano-clusters de phase C15 dans le fer irradié, une validation expérimentale de ces prédictions est actuellement recherchée à l'aide de microscopie électronique en transmission (MET) et de sonde atomique tomographique (SAT), dans le cadre de l'ANR EPIGRAPH (T. Jourdan, au SRMP).

La radiation de Hawking est associée aux effets quantiques au voisinage de l'horizon d'un trou noir. La proposition consiste à observer en laboratoire un phénomène analogue, à l'aide de condensats de Bose-Einstein, où la frontière entre une région d'écoulement « subsonique » à une région « supersonique » joue le rôle de l'horizon gravitationnel. Référence : « Quantum signature of analog Hawking radiation in momentum space » D. Boiron [LCF], A. Fabbri, P.-É. Larré, N. Pavloff [LPTMS], C. I. Westbrook [LCF], P. Zin, arXiv:1406.5229.

III-f Animation scientifique

Les workshops, journées thématiques et autres séminaires, cours ou écoles sont des moyens efficaces de diffuser les connaissances au sein de la communauté, de susciter des rencontres, de nouvelles idées et d'initier nouveaux projets [OB1 & OB2].

Ainsi, par exemple, une première discussion avec le pôle 7 (matériaux) a conduit au projet d'organiser une journée d'exposés scientifiques (théorie & expérience) sur le thème de la simulation et de la science des matériaux, dans le but de donner un panorama des compétences sur le plateau de Saclay ainsi que les grands enjeux associés [cf paragraphe II-2/pôle 7] et de favoriser de nouvelles collaborations entre expérimentateurs et modélisateurs ou théoriciens. Cette première journée serait suivie par une série de workshops plus ciblés, d'un jour ou deux chacun (quelques exemples : « Comment modéliser la croissance ? », « Physique statistique et sciences des matériaux » ou « dynamique moléculaire »).

Annexe I

Thèmes et mots-clés de l'action transverse

Physique Théorique, Numérique et Modélisation

Remarques : Les points blancs (○) ne constituent pas des listes exhaustives, ils sont donnés à titre d'illustration, pour préciser le sens des rubriques (●).

A-Quantum theories

- Quantum many-body theories
Application to: electronic systems, cold atoms, Bose Einstein condensates, quantum magnetism, disordered quantum matter, electron-ion coupling, relativistic effects, ...
 - Many-body perturbation theory, diagrammatic methods
 - Field-theory methods
 - Out of equilibrium quantum systems (quantum quenches, Keldysh formalism, ...)
 - Density functional theory (DFT), time-dependent DFT
 - Reduced density matrix functional theory (RDMFT)
 - Dynamical mean-field theory (DMFT), cluster-DMFT
 - Electronic structure theory and calculations
 - Materials design from first-principles
 - Quantum Monte-Carlo methods
 - Density matrix renormalization group
 - Exact diagonalizations
 - Quantum integrable systems, Bethe Ansatz
 - Quantum simulators & model systems (analog gravity/cosmology)
- Few-body system physics
 - Scattering theory, resonance
 - Applications to molecular physics
- Coupled Maxwell-Schrödinger equations & time-dependent Schrödinger
Applications to Laser-matter interactions in extreme conditions: attophysics, imaging and control
- Topology
 - Berry phase, Berry curvature, gauge field
 - Topological invariants, Chern numbers
Applications: topological insulators, Quantum Hall effects, graphene,...
- Quantum coherence
 - Quantum measurements, decoherence theory
 - Information theory, quantum entanglement, quantum computing, quantum cryptography
 - Quantum control
- Spectral theory, semiclassical methods, quantum chaos

B-Statistical Physics

- Monte Carlo methods (kinetic Monte-Carlo, ...)
- Molecular dynamics (equilibrium and out-of equilibrium simulations)
- Ornstein-Zernike and Integral Equations of Physics of Liquids
 - Molecular description of complex solvents
 - Reference Interaction Site Model (RISM)
 - Solvation free energy of molecules and macromolecules
- Models for complex fluids
 - Chains & random walks
 - Models for macro-molecules, polymers and biopolymers
 - Models for granular matter
- Field theory & renormalization group methods
 - Renormalization group, theories for phase transitions, functional/non-perturbative renormalization group methods
 - Conformal field theory (CFT), Stochastic Loewner Evolution (SLE)
 - Supersymmetry
- Replica & cavity methods
Application to disordered systems, statistical inference, compressed sensing, signal processing, ...
- Mathematical methods: integrable systems, random matrices, combinatorics
- Localization theory
- Other methods in stat. phys: transfer matrix, series expansion, ...
- Out-of-equilibrium systems & stochastic processes
 - Statistics of extremes & records, theory of large deviations
 - Growth models, Kardar–Parisi–Zhang equation
 - Exclusion processes, open/driven models
 - Random geometry (Voronoi cells,...)
 - Active matter models
- Statistical physics approaches applied to other fields:
Road and pedestrian traffic, intracellular transport, networks, biophysics, econophysics, optimization, computer science, turbulence, fractures...

C – Continuous media

- Fluid and solid mechanics
 - Navier-Stokes equations, ...
 - Laplace and Helmholtz problems, linear stability analysis
 - Theory of turbulence, Kolmogorov cascade
 - Fracture/cracking, instabilities, pattern formation, dislocation dynamics, self-organisation
- Waves
 - Wave turbulence
 - Kinematic wave models
 - Shock waves theory
 - Solitons, inverse scattering methods
 - Computational electromagnetism and optics
- Charged fluids equations & methods
Application to plasma physics, hot and dense plasmas, laser-matter interactions, electrolytes, ...
 - nonlinear magneto-hydrodynamic and bi-fluid models
 - Boltzmann and Vlasov equations
 - Hybrid models
 - Wave-particle and wave-wave interactions
- Non-linear dynamics
 - Ginzburg Landau (GL) equations, time-dependent GL
Allen–Cahn and Cahn–Hilliard equations
 - Gross-Pitaevskii / Non-linear Schrödinger equations
 - Instabilities, bifurcations
- Simulations & modeling
 - Phase-field and phase-field crystal methods
 - Multi-scale analysis and simulations
 - Finite element methods
 - Particle in cell (PIC) methods
 - Godunov's scheme
 - Hybrid fluid/kinetic methods

Annexe II

Chercheurs permanents des laboratoires affiliés à PhOM qui ont une part importante de leur activité en Physique Théorique, Numérique ou Modélisation

Remarque : Pour les laboratoires à cheval sur plusieurs départements, seules les personnes ayant des sujets de recherche qui recouvrent certains thèmes de PhOM ont été retenues (ainsi, par exemple, les théoriciens des hautes énergies du CPhT, du LPT ou de l'IPhT ne sont pas comptabilisés).

CPHT

Charged fluids equations & methods (all sub-items), applications to laser-matter interactions. Waves: kinematic wave models, computational electromagnetism and optics. Nonlinear dynamics: NLS equations, instabilities. Simulations & modeling: Coupled Maxwell-Schrodinger equations.

Quantum many-body theories: application to electronic systems, cold atoms, Bose Einstein condensates, quantum magnetism. Out of equilibrium quantum systems. Dynamical mean-field theory (DMFT), cluster DMFT, electronic structure theory and calculations.

ADAM	Jean-Claude
AMARI	Tahar
BIERMANN	Silke
COUAIRO	Arnaud
DELYON	François
FERRERO	Michel
GEORGES	Antoine
HÉRON	Anne
HÜLLER	Stefan
LAVAL	Guy
LE HUR	Karyn
LUCIANI	Jean-François
LÜTJENS	Hinrich
MORA	Patrick
PESME	Denis
POYUROVSKIY	Leonid

DMPH

Continuous media: computational electromagnetism and optics, Charge fluids equations and methods, application to plasma physics

DHERBECOURT	Jean-Baptiste
GODARD	Antoine
LABAUNE	Julien
MELKNIAN	Jean-Michel
PACKAN	Denis

FAST

Continuous media, Fluid and solid dynamics, Waves, Non-linear dynamics, simulations & modelling

CARLES	Pierre
CORTET	Pierre
KASPERSKI	Guillaume
LAZARUS	Véronique
RIBE	Neil
TALON	Laurent

GEMAC

Statistical physics. Monte Carlo methods.

BOUKHEDDADEN	Kamel
LINARES	Jorge

ICMMO

Statistical Physics: Monte Carlo methods, Molecular dynamics, Out-of-equilibrium systems. Continuous media: Fluid and solid mechanics, Simulation and modelling. Electronic structure theory and calculations

AMZALLAG	Emilie
BERDIN	Clotilde
BERTHIER	Fabienne
BRAEMS	Isabelle
CREUZE	Jérôme
GANDON	Vincent
TÉTOT	Robert

IEF

Quantum many-body theories, applications electronic systems and quantum magnetism, DFT, electronic structure theory and calculations. Continuous media: Waves; computational electromagnetism and optics; Boltzmann equation. Statistical physics: Monte Carlo methods.

AMATO	Michele
ANIEL	Frédéric
BOUCAUD	Philippe
BOURNEL	Arnaud
CASSAN	Éric

CHECOURY	Xavier
DOLLFUS	Philippe
EL KURDI	Moustafa
FISHMAN	Guy
KIM	Joo-Von
RETAILLEAU	Sylvie
SAINT-MARTIN	Jérôme
SAUVAGE	Sébastien
WARDE	Elias

IPhT

Statistical Physics: Monte Carlo methods, model for complex fluids, field theory & renormalization group methods, replica & cavity methods. Mathematical methods: integrable systems, random matrices, combinatorics. Out of equilibrium systems & stochastic processes. Statistical physics approaches to other fields. Quantum many-body theories: applications to electronic systems, quantum magnetism; DMFT; cluster DMFT; quantum integrable systems. Topology. Quantum coherence. Spectral theory.

BAUER	Michel
BALIAN	Roger
BARTHELEMY	Marc
BENA	Cristina
BERGÈRE	Michel
BILLOIRE	Alain
BIROLI	Giulio
BOUETIER	Jérémie
DAVID	François
DI FRANCESCO	Philippe
DUPLANTIER	Bertrand
EYNARD	Bertrand
GODRÈCHE	Claude
GOLINELLI	Olivier
GUITTER	Emmanuel
HOUDAYER	Jérôme
MALLICK	Kirone
MISGUICH	Grégoire
MONTHUS	Cécile
NONNENMACHER	Stéphane
ORLAND	Henri
PARCOLLET	Olivier
PASQUIER	Vincent
PÉPIN	Catherine

SALEUR	Hubert
SCHIRO	Marco
SERBAN	Didina
VOROS	André
ZDEBOROVA	Lenka

ISMO

Few-body system physics: Scattering theory, resonance; Applications to molecular physics. Coupled Maxwell-Schrödinger equations & time-dependent Schrödinger. Quantum coherence: Quantum measurements, decoherence theory; Information theory, quantum entanglement, quantum computing, quantum cryptography; Quantum control; Spectral theory, semiclassical methods; Electronic structure theory and calculations; Density functional theory (DFT), time-dependent DFT. Molecular dynamics.

AGUILLON	François
ATABEK	Osman
BERGERON	Hervé
BILLY	Dominique
BORISSOV	Andrei
CHARRON	Éric
MARINICA	Dana-Codruta
FALVO	Cyril
KELLER	Arne
LEFEBVRE	Roland
LE SECH	Claude
MORISSET	Sabine
PARNEIX	Pascal
RASEEV	Georges
ROUGEAU	Nathalie
SVEN	Nave

LAC

Few-body system physics: Scattering theory, resonance; Applications to molecular physics. Coupled Maxwell-Schrödinger equations & time-dependent Schrödinger. Quantum coherence: Quantum measurements, decoherence theory; Information theory, quantum entanglement, quantum computing, quantum cryptography; Quantum control. Electronic structure theory and calculations.

AKOULINE	Vladimir
BENREDJEM	Djamel
BOULOUFA	Nadia
BRION	Étienne
CARLIER	Frédéric
CRUBELLIER	Anne
DULIEU	Olivier
GROSSHANS	Frédéric
JUNGEN	Christian
LEPERS	Maxence
LUC-KOENIG	Eliane
MALÉGAT	Laurence
QUÉMÉNER	Goulven
RAOULT	Maurice
SARFATI	Alain

LCF

Quantum many-body theories; Application to: electronic systems, cold atoms, Bose Einstein condensates,

quantum magnetism; Many-body perturbation theory, diagrammatic methods; Field-theory methods; Out of equilibrium quantum systems; Quantum Monte-Carlo methods; Exact diagonalizations; Quantum simulators & model systems; Localization theory; disordered quantum matter; Gross-Pitaevskii & Non-linear Schrödinger equations

GREFFET	Jean-Jacques
SANCHEZ-PALENCIA	Laurent
SAUVAN	Christophe

LCP

Electronic structure theory and calculations; Density functional theory (DFT), time-dependent DFT; Few-body system physics; Molecular dynamics (equilibrium and out-of equilibrium simulations); Models for complex fluids, Models for macro-molecules, polymers and biopolymer, Models for granular matter; Multi-scale analysis and simulations

ARCHIREL	Pierre
ARTOLA	Pierre-Arnaud
BUSSON	Bertrand
CAILLIEZ	Fabien
DE LA LANDE	Aurélien
DEMACHY	Isabelle
DESOUTER-LECOMTE	Michèle
HIBERTY	Philippe
JUSTUM	Yves
LAUVERGNAT	David
LÉVY	Bernard
MAÎTRE	Philippe
NGUYEN-THI	Van-Oanh
PERNOT	Pascal
RIDARD	Jacqueline
ROUSSEAU	Bernard
SCUDERI	Debora

LEM

Phase field, dislocations dynamics, Electronic structure theory and calculations

AMARA	Hakim
APPOLAIRE	Benoît
DEVINCRE	Benoît
FÈVRE	Mathieu
FINEL	Alphonse
GATTI	Riccardo
HUG	Gilles
LE BOUAR	Yann

LGEP/GeePS

Continuous media: solid mechanics, waves (computational electromagnetism), simulation & modelling (multi-scale simulations)

BOUILLAULT	Frédéric
DANIEL	Laurent
PICHON	Lionel

LIDyL

Quantum many-body theories: Density functional theory (DFT), time-dependent DFT; Coupled Maxwell-Schrödinger equations & time-dependent Schrödinger: applications to Laser-matter interactions in extreme conditions: attophysics, imaging and control. Continuous media; waves, Computational electromagnetism and optics; charged fluids equations & methods

ANGELIÉ	Christian
AUGUSTE	Thierry
BLENSKI	Thomas
BONNAUD	Guy
BRENNER	Valérie
DE PUJO	Patrick
POIRIER	Michel
SOUDAN	Jean-Maïk

LLB

Quantum many-body theories, application to electronic systems, quantum magnetism

AUBRY	Serge
ONUFRIEVA	Florina
PFEUTY	Pierre

LOA

Charged fluids equations & methods, applications to Laser-matter interactions. Simulations & modeling

LIFSCHITZ	Augustin
NAUMOVA	Natalia
RAX	Jean-Marcel

LOB

Molecular dynamics

LAMBRY	Jean-Christophe
--------	-----------------

LPGP

Quantum many-body theories: DFT, time dependent DFT; Coupled Maxwell-Schrödinger equations & time-dependent Schrödinger, applications to Laser-matter interactions in extreme conditions. charged fluids equations & methods: applications to plasma and to beam-plasma interactions. Simulations & modeling: PIC, fluid, and Hybrid fluid/kinetic methods

DEUTSCH	Claude
GUILBAUD	Olivier
KAZAMIAS	Sophie
LEROY	Olivier
LUNDIN	Daniel
MAYNARD	Gilles
MINEA	Tiberiu

LPICM

Molecular dynamics, electronic structure, simulation & modelling

NOVIKOVA	Tatiana
VACH	Holger

LPP

Charged fluids equations & methods (with all sub-items), applications to discharge plasmas and to hot and magnetized plasmas. Simulations & modeling: PIC, fluid, and Hybrid fluid/kinetic methods

BELMONT	Gérard
BOURDON	Anne
CHABERT	Pascal
CHANTEUR	Gérard
FIRPO	M. Christine
GALTIER	Sébastien
GURCAN	Ozgur
KRAFFT	Catherine
MORADI	Sara
MOREL	Pierre
RAIMBAULT	Jean-Luc
SAVOINI	Philippe
SMETS	Roch

LPN

Electronic structure theory. Out-of-equilibrium systems, growth. Simulation & modelling

GLAS	Frank
KREBS	Olivier
VOISIN	Paul

LPQM

Coupled Maxwell-Schrödinger equations & time-dependent Schrödinger Applications to Laser-matter interactions in extreme conditions: attophysics, imaging and control; Wave-particle and wave-wave interactions; Multi-scale analysis and simulations

PALPANT	Bruno
---------	-------

LPS

Nouveaux  tats quantiques; matière de Dirac; matière topologique; atomes froids; matériaux corrélés; transitions métal-isolant; effets Hall quantique; supraconductivité; magnétisme quantique; défaut d'ordre et quasi-cristallinit ; désordre des interactions; approches numériques ab initio, Monte Carlo quantique et DMFT; oxytronique; mottronique; transport électronique en dimensions réduites (2D, 1D, 0D)   l'équilibre et hors équilibre; atomes froids; matière molle; matière biologique

ABRAMOVICI	Gilles
BOTET	Robert
CIVELLI	Marcello
FOFFI	Giuseppe
GABAY	Marc
GOERBIG	Mark-Oliver
HÉRITIER	Michel
JAGANNATHAN	Anuradha
JOETS	Alain
KALOUGUINE	Pavel
MONTAMBAUX	Gilles
PHAM	Khu�n-Viêt
PI�CHON	Frédéric
ROZENBERG	Marcelo
SAFI	In�s
SIMON	Pascal
TARENTO	René-Jean

WENSINK
ZOBELLI

Rik
Alberto

LPT

Statistical physics: molecular dynamics, theory of liquids, random geometry, road and intracellular transport, nonequilibrium statistical mechanics

APPERT-ROLLAND	Cécile
CAILLOL	Jean-Michel
CORNU	Françoise
HILHORST	Henk
MAZARS	Martial
VERLEY	Gatien

LPTMS

Quantum many-body theories: Application to: electronic systems, cold atoms, Bose Einstein condensates, quantum magnetism, disordered quantum matter; Exact diagonalizations, DMRG; Quantum integrable systems, Bethe Ansatz; Topology; Quantum coherence; Spectral theory, semiclassical methods, quantum chaos. Statistical Physics: Models for complex fluids; Field theory & renormalization group methods (CFT, ...); Replica & cavity methods; Mathematical methods (integrable systems, random matrices,...); Out-of-equilibrium systems and stochastic processes; Statistical physics approaches to other fields. Non-linear dynamics

BOGOMOLNY	Eugène
BRAZOVSKI	Serguei
COMTET	Alain
EMIG	Thorsten
FRANZ	Silvio
GIRAUD	Olivier
JOLICOEUR	Thierry
KRIVINE	Hubert
LEBOEUF	Patricio
LENZ	Martin
PAVLOFF	Nicolas
PETROV	Dmitry
ROSSO	Alberto
ROUX	Guillaume
MAJUMDAR	Satya
OUVRY	Stéphane
SANTACHIARA	Raoul
SCHEHR	Gregory
SHLYAPNIKOV	Georgy
TERRAS	Véronique
TEXIER	Christophe
TRIZAC	Emmanuel
ULLMO	Denis
VIVO	Pierpaolo
ZVONAREV	Mikhail

LSI

Quantum many-body theories: application to electronic systems; electron-ion coupling. Many-body perturbation theory, diagrammatic methods, Out of

equilibrium quantum systems (Keldysh), Density functional theory (DFT), time-dependent DFT, Reduced density matrix functional theory (RDMFT), Electronic structure theory and calculations, Materials design from first-principles. Relativistic effects. Magnetism. Monte Carlo methods Molecular dynamics (equilibrium and out-of equilibrium simulations)

CODDENS	Gerrit
DROUHIN	Henri-Jean
GATTI	Matteo
GIORGETTI	Christine
HARDOUIN DUPARC	Olivier
HAYOUN	Marc
RAYNAUD-BRUN	Mich�le
REINING	Lucia
SJAKSTE	Jelena
SOTTILE	Francesco
VAST	Nathalie
V�NIARD	Valérie

LULI

Charged fluids equations & methods, applications to Laser-matter interactions. Simulations & modeling

GRECH	Mickael
JACQUEMOT	Sylvie
RICONDA	Caterina
ROSMEJ	Frank
VINCI	Tommaso

NIMBE

Statistical physics: model for complex fluids, Ornstein-Zernike and integral equations of physics of liquids, molecular dynamics. Electronic structure theory and calculations. Charged fluids equations & methods

BELLONI	Luc
CORNUT	Renaud
DOGNON	Jean-Pierre
POLLET	Rodolphe

PMC

Statistical physics: Monte Carlo methods, out-of-equilibrium systems, Localization theory. Continuous media: Fluid and solid mechanics (fracture, pattern formation), non-linear dynamics, simulation & modelling (phase-field methods, finite-element methods)

FILOCHE	Marcel
GREBENKOV	Denis
HENRY	Hervé
KORB	Jean-Pierre
PLAPP	Mathis
SAPOVAL	Bernard

SPEC

Quantum theories: topological insulators, Quantum Hall effects, graphene, Quantum coherence. Statistical Physics: Monte-Carlo methods, functional/non-perturbative RG methods; Localization theory; Growth models, KPZ equation; Active matter; Statistical physics approaches applied to

other fields. Continuous media: Fluid and solid mechanics; Waves; Nonlinear dynamics

AUMAITRE	Sébastien
BARRETEAU	Cyrille
DUBRULLE	Bérengère
CHATÉ	Hugues
CARTON	Jean-Pierre
DAPPE	Yannick
DORNIC	Ivan
FLEURY	Geneviève
GALLET	Basile
LATIL	Sylvain
NIKOLAYEV	Vadim
PICHARD	Jean-Louis
ROGER	Michel
SMOGUNOV	Alexander

SPMS

Density functional theory (DFT). Materials design from first-principles. Density matrix renormalization group. Monte Carlo methods. Molecular dynamics. Multi-scale analysis and simulations

BECKER	Pierre
CORTONA	Pietro
DAMMAK	Hichem
DEZANNEAU	Guilhem
GILLET	Jean-Michel
KORNEV	Igor

SRMA

Phase field, multi scale modelling, atomistic simulations, Cahn Hilliard model, fractality, out of equilibrium stability

LUNÉVILLE	Laurence
PONTIKIS	Vassilis
SIMEONE	David

SRMP

Electronic structure theory and calculations, Multi-scale analysis and simulations, Monte Carlo methods, Molecular dynamics, Allen-Cahn and Cahn-Hilliard equations

ATHÉNE	Manuel
BRUNEVAl	Fabien
CLOUET	Emmanuel
CROCOMBETTE	Jean-Paul
LEGRAND	Bernard
MARINICA	Mihai-Cosmin
NASTAR	Maylise
PROVILLE	Laurent
ROMA	Guido
SOISSON	Frédéric
VENTELON	Lisa
WILLAIME	François

UMPhy

Quantum many-body theories, applications to electronic systems

JAFFRES	Henri
---------	-------

