Initiative Transverse « Matériaux » de l'Université Paris Saclay

Groupe de travail : Kees van der Beek, Patrick Le Tallec, Pierre Galtier, Jean-Christophe Harmand, Juan Pelta, Herman Hofte, Gianna Perre, Loreynne Pinsard-Gaudart, Eric Eliot, Hicham Maskrot, Cécile Gautheron, Brahim Dkhil, Sandra Domenek, Talal Mallah, Christian Serre

L'Initiative « Matériaux » rassemble les représentants des Départements de Chimie, Ingénierie Electrique, Optique et Electronique (EOE), Mécanique, Energétique et Procédés (MEP), Physique des Ondes et de la Matière (PhOM), Sciences de la Planète et de l'Univers (SPU), et Sciences de la Vie (SdV), afin de répondre aux défis sociétaux, de coordonner et de donner forme aux projets interdépartementaux, de servir de carrefour des compétences en synthèse, procédés, et analyse, et de rapprocher l'enseignement et la recherche dans le vaste domaine interdisciplinaire de la Science des Matériaux. Elle entretient, développe et structure les activités en Science des Matériaux développés par les Départements, Schools, plateformes, et Grands Instruments de l'Université Paris-Saclay (UPSay). Les moyens qu'elle se donne sont la coordination et la prospection, et ce, par (i) l'organisation, l'instigation, et le suivi d'évènements scientifiques (ii) la définition, l'accompagnement, et le portage de projets « matériaux », (iii) le développement d'outils de communication, (iv) la construction d'une synergie véritable avec les Masters « Matériaux » de l'UPSay, et (v) le tissage de liens avec l'industrie afin d'inventer, développer, et valoriser de nouveaux matériaux et procédés.

Enjeux sociétaux et stratégiques

Ayant pour sujet le tissu constitutif de nos organismes et de notre monde, l'étude des matériaux et de leurs propriétés est une science de toutes les époques. Auparavant empirique, elle est aujourd'hui basée sur de robustes paradigmes scientifiques. La Science des Matériaux est présente dans une multiplicité de domaines, et sa maîtrise est une clef essentielle de l'innovation technologique. Si les ressources matérielles sont de par leur nature limitées, la science des matériaux constitue quant à elle un terrain d'investigation presque sans limite. Au-delà des types de matériaux et de la quasi-infinité des composés possibles suggérés par la combinatoire des éléments du tableau de Mendeleev,¹ elle se caractérise par la multiplicité des méthodes d'élaboration et par la myriade de mises en forme possibles des matériaux (cristal, poudre polycristalline, céramique, couche mince, agrégat, fibre, cristal liquide, verre, amorphe, matériaux de structure...), sans oublier les matériaux d'origine biologique. Enfin, l'association de plusieurs matériaux aux propriétés différentes et la conception de matériaux hybrides (organiques/non-organiques, verres/cristaux, polymères, matériaux complexes...) élargissent le champ de la science des matériaux. A cela, l'avènement des nanosciences ajoute l'effet de la taille sur les propriétés.

A notre époque, l'humanité se trouve confrontée à de nombreux et cruciaux enjeux sociétaux. Ils sont de nature physique, économique ou sociale (épuisement des ressources, protection de l'environnement, équilibre climatique, globalisation, pression démographique, habitat, santé, bien-être, information et communication, liberté,

¹ voir le *Système des Matériaux*, en Annexe 1

sécurité). Le programme Horizon 2020 et la Stratégie Nationale de Recherche ont affiché la volonté de faire appel aux recherches fondamentales ou appliquées pour qu'elles apportent des solutions technologiques répondant à ces enjeux. Interpellant mécaniciens, physiciens, chimistes, géologues, astrophysiciens et biologistes, la science des matériaux est au cœur de nombreuses problématiques liées à ces enjeux. Moyennant une stratégie adéquate, elle est en mesure d'apporter des contributions essentielles pour répondre aux besoins sociétaux d'aujourd'hui. Cette stratégie doit viser le développement de nouvelles fonctionnalités, privilégier l'efficacité énergétique des technologies dans leur cycle complet (fabrication, usage, recyclage et traitement des déchets), favoriser l'utilisation de matériaux durables et réutilisables, et faciliter la prévention des risques.

Les développements récents de la recherche sur les matériaux offrent une palette inédite pour répondre à ces défis.² On citera tout particulièrement l'essor

- de nouveaux matériaux composites aux propriétés mécaniques, physiques, et biologiques inédites ;
- de l'ingénierie des matériaux et de leurs interfaces à l'échelle nanométrique afin d'obtenir et exploiter des matériaux hybrides, composites, ou à gradient de propriétés, et aux fonctionnalités multiples;
- des matériaux pouvant être commutés entre états et fonctionnalités différents, voire antagonistes, du fait des corrélations électroniques ou de l'interaction spin-orbite
- des nanomatériaux / nanoparticules fonctionnels pour les sciences de l'énergie et de la santé, et l'émergence de nouvelles propriétés à l'échelle nanométrique ;
- des nouvelles méthodes de fabrication (additive, façonnage par moyens optiques...) et la combinaison de méthodes existantes ;
- des méthodes et procédés de fabrication et de synthèses doux, propres, peu consommateurs de matière et/ou d'énergie ;
- des méthodes de caractérisation et d'analyse *in-situ*, *in-operando*, et *in-vivo* à toutes les échelles, de l'atome au macroscopique, appliquées à l'étude de la croissance, des procédés, du fonctionnement, et de la durabilité;
- de l'instrumentation scientifique (optique, grands instruments) permettant une caractérisation de la structure et des propriétés des matériaux avec des résolutions spatiale ou temporelle sans précédent;
- du calcul scientifique de haute performance pour la simulation, la modélisation, et le calcul classique ou *ab-initio* des comportements et propriétés des matériaux, et au-delà, la conception d'outils numériques prédictifs (« materials design ») permettant d'orienter la recherche expérimentale ;
- de l'acquisition et de l'analyse de grandes quantités de données (Big Data), permettant l'établissement de bases de connaissance sans précédent, et révolutionnant le concept d'expérience ;

L'initiative 'Matériaux' se propose d'exploiter et de coordonner les efforts consacrés dans ces domaines au sein de UPSay aux interfaces avec les départements concernés.

Etat des lieux et cartographie

La Science des Matériaux « Saclaysienne » concerne directement environ 500 personnes en équivalent temps plein, qui émargent dans les départements cités en préambule, et

² voir *Matériaux et Grand Défis*, en Annexe 2

qui travaillent dans 44 laboratoires au sein de 14 établissements³. De nombreuses plateformes expérimentales sont disponibles ou se mettent en place : les installations Matmecca, Tamaris, FLAG, CEFS2, les Equipex ATTOLAB (lasers à dynamique ultra-rapide), CILEX, (lasers de ultra-haute intensité), TEMPOS (microscopie électronique), les accélérateurs d'EMIR,⁴ différents laboratoires travaillant dans la sphère nucléaire et de l'irradiation, le futur C2N⁵ (centrale de nanofabrication), ainsi que les grands instruments comme le synchrotron SOLEIL et la source de neutrons Orphée. Cet environnement unique se traduit par une production scientifique de grand qualité, illustrée par la présence de nombreux leaders 'matériaux' sur le plan international, lauréats de distinctions prestigieuses telles que prix Nobel ou Médailles du CNRS, ainsi que de nombreux ERC. La Science des Matériaux de l'UPSay rassemble des moyens humains et des équipements parmi les plus importants au monde, et est en position de prendre place parmi les principaux leaders mondiaux du domaine.⁶

Les équipes « Matériaux » de l'UPSay ont une production scientifique de tout premier niveau. Elles touchent un très grand nombre de thématiques et de matériaux différents. On note par exemple les efforts dans le domaine des oxydes et des matériaux aux corrélations électroniques fortes; les semiconducteurs de tous types; les métaux, alliages et matériaux structuraux, ainsi que leur durabilité; les matériaux pour le nucléaire; les nanomatériaux; les hybrides inorganiques-organiques, étendus ou moléculaires; les polymères; la matière molle; les biomatériaux; les propriétés et fonctionnalités des surfaces, interfaces, et hétérostructures. De nombreuses études interdisciplinaires, rythmées par des structures déjà existantes (Labex, Lidex, Equipex, ...) qui conjuguent chimie et physique, chimie, physique, et sciences de la vie, ou bien encore physique et mécanique, s'attaquent d'ores et déjà à certains des grands défis posés ci-dessus. En termes de synthèse, les méthodes douces et « bottom-up » côtoient les procédés plus lourds tels que la croissance sous vide, à haute température ou sous pression. La recherche sur les matériaux au sein de l'UPSay s'étend des aspects très en amont tels que la conception de nouveaux matériaux ou de techniques de mise en forme, à la valorisation et aux applications industrielles. Elle est en position de maîtriser, en collaboration avec le tissu industriel local et les pôles de compétitivité, la chaîne entière de TRL. Elle est caractérisée par la présence de nombreuses équipes, expérimentales, théoriques ou intégrant ces deux composantes. Elle compte dans ses laboratoires ainsi qu'au sein de structures telles que la Maison de la Simulation et l'ETSF⁷, une forte concentration de numériciens. Ce potentiel représente l'un des plus forts pôles de calcul intensif dans le domaine des matériaux au plan mondial.

Le développement des Sciences des Matériaux à l'UPSay est cependant freiné par le morcèlement géographique, institutionnel et thématique des activités de recherche. Ces activités sont souvent portées par des équipes de taille sous-critique en termes de personnel de recherche, de support technique et administratif ou de financement récurrent, ce qui rend parfois difficilement supportable les frais d'entretien des plateformes, entre autres. Les interactions avec l'environnement scientifique, académique et industriel local sont insuffisantes. La réactivité des équipes individuelles

³ voir *Laboratoires Impliqués*, en Annexe 3

⁴ CILEX / Centre Interdisciplinaire Lumière Extrême ; TEMPOS / Transmission Electron Microscopy at Palaiseau-Orsay-Saclay ; EMIR / Etudes des Matériaux sous IRradiation.

⁵ Centre de Nanosciences et Nanotechnologie - CNRS

⁶ voir *Benchmark*, en Annexe 4

⁷ European Theoretical Spectroscopy Facility

dans leur domaine de compétence se trouve parfois grevée face à la rapidité des développements aux échelles nationale et internationale. La fragmentation des modes et modalités de financement est un handicap et rend d'autant plus nécessaire une mise en commun optimisée des plateformes instrumentales ou d'élaboration. Le rôle principal de l'Initiative Matériaux sera de porter dans les domaines qui lui sont propres, les missions de l'Université Paris Saclay :

- rapprochement des acteurs de la recherche en matériaux, y compris sous la forme d'actions de structuration de plateformes, d'équipes ou de laboratoires
- optimisation de l'utilisation des installations (élaboration, caractérisation, modélisation),
- pérennisation et développement des compétences,
- coordination et structuration des initiatives scientifiques,
- accompagnement de transferts technologiques vers l'industrie,
- augmentation de la visibilité internationale,
- accroissement de l'attractivité du campus,
- établissement d'un lien plus solide entre recherche et enseignement, garant de l'irrigation des équipes par les meilleurs étudiants,

Ces missions doivent être menées en harmonie avec les stratégies de recherche et de valorisation propres aux établissements, avec les infrastructures de recherche actuelles et futures (ex : grands instruments), et en cultivant les nombreux liens collaboratifs nationaux et internationaux. L'initiative matériaux devra également s'appuyer sur la présence très marquée de poids lourds de la recherche industrielle sur le plateau, le tissu des PME et les collectivités locales et régionales, et les pôles de compétitivité, avec l'objectif d'augmenter la viabilité de procédés et de dispositifs issus de la recherche (augmentation du niveau de TRL).

Actions transverses proposées

L'Initiative Matériaux réunira, sous la forme d'un bureau, des représentants des pôles et groupes de travail « Matériaux » des Départements et Schools concernés. Ses priorités seront les actions de coordination, de veille scientifique, de communication, tout en s'assurant de la forte implication des équipes de recherche dans la restructuration du paysage « formation » au sein de l'UPSay. Une fois les premiers jalons posés avec succès, l'objectif principal sera de créer un véritable *Institut des Matériaux*, impliquant la représentation des établissements et tutelles.

Faire se rencontrer les acteurs de la recherche

Les trois premiers objectifs seront poursuivis au travers de l'organisation régulière d'ateliers, d'écoles d'été, de formations, et de séminaires et sessions thématiques à caractère interdisciplinaire et exploratoire, mêlant acteurs du public et du privé (cf page 1). Outre le soutien de l'Idex Paris-Saclay, les outils utilisés seront de type « Groupement de Recherche » (CNRS) ou « COST » (Europe), ce qui permettra d'émarger sur le plan national ou international. Un rapprochement sera fait avec les établissements organisant déjà des rencontres d'envergure (ex : SOLEIL, CNRS), l'OMNT (Observatoire des Micro- et Nano Technologies) et les sociétés savantes concernées,⁸ afin de préparer des

⁸ FFM (Fédération Française des Matériaux), SF2M (Société Française Métallurgie Matériaux), Association Française de Cristallographie (AFC), AFM (Association Française de Mécanique – GTT/Activités Universitaires en Mécanique), SCF (Société Chimique de France), SFB (Société Française de Biophysique), SFP (Société Française de Physique), DCP (Division de Chimie

événements incontournables qui donneront à l'UPSay le rôle de plaque tournante nationale des matériaux. Ces événements nécessitent l'identification ou la création d'un lieu de rendez-vous central, permanent et de dimensions adéquates, identifié à notre action (possiblement en synergie avec l'Institut Pascal). Leur organisation s'appuiera sur les initiatives de terrain et des Départements de l'UPSay, qui devront être coordonnées et structurées sous un label commun. Leur annonce fera l'objet d'une large communication au sein de la communauté scientifique et des entreprises locales. A cette fin, l'établissement d'un site web « Matériaux » bien identifié en lien avec le site UPSay, alimenté et animé de manière constante, est une condition *sine qua non*.

Attirer les étudiants

La viabilité de la Science des Matériaux de l'UPSay dépendra de manière cruciale sur sa capacité à attirer des étudiants de tout premier rang au niveau Master et Doctoral et de la façon dont ceux-ci pourront valoriser leur formation. L'une des missions de l'Initiative Matériaux sera donc l'établissement du lien entre laboratoires et programmes Master concernés.⁹ Il s'agira de mettre en relation des chercheurs et des étudiants, et d'aiguiller ces derniers. Dans la suite directe des propositions précédentes, l'Initiative Matériaux se fera forte d'impulser et/ou d'organiser des Ecoles et des formations sur les outils de caractérisation, sur les plateformes et les grands instruments. Elle agira pour simplifier les accès à ces plateformes, en favorisant l'émergence de nouveaux sujets et de nouvelles applications des techniques mises en jeu. Par ailleurs, elle facilitera leur intégration future dans le monde de l'entreprise.

Faire interagir les disciplines, donner accès aux plateformes

Sur le plan thématique, l'Initiative Matériaux s'imposera comme « carrefour de compétences » entre les disciplines impliquées. Elle œuvrera pour l'établissement des liens pérennes entre les chercheurs en Science des Matériaux et les équipes scientifiques des plateformes expérimentales et théoriques et des grands instruments, ainsi que pour la simplification d'accès, en favorisant l'émergence de nouveaux sujets et nouvelles applications des techniques mises en jeu. Ces liens peuvent prendre la forme de réseaux d'expertise et de formations, et aboutiront à la proposition et au montage de projets interdisciplinaires d'envergure.

Inventer de nouveaux instruments, de nouvelles techniques

Un simple coup d'œil sur ce que la concurrence internationale propose déjà sur le thème des Matériaux, montre la nécessité absolue du maintien et du développement de techniques de pointe faisant appel aux compétences déjà présentes sur le plateau de Saclay (neutrons, rayons X et rayonnement synchrotron, microscopie électronique à transmission, microscopies et analyses locales et en champ proche, irradiation, optique, magnétisme,...). Au delà, l'ambition sera de développer de nouvelles techniques expérimentales et de nouveaux instruments pour la synthèse ou l'analyse. L'Initiative Matériaux soutiendra des actions et des projets phares communs sur des sujets de pointe à fort caractère interdisciplinaire, impliquant non seulement les équipes mais aussi les infrastructures de recherche et les plateformes concernées. Parmi les thématiques à développer, on peut citer de manière prioritaire :

Physique), GFC (Groupe Français des Céramiques), GFP (Groupement Français des Polymères), Fédération Réaumur.

⁹ Sciences et Génie des Matériaux, Sciences du Médicament,

Elaboration, procédés :

- synthèse efficace, peu vorace en atomes et en énergie ;
- applications nouvelles de matériaux polyvalents, communs, et peu onéreux ;
- synthèse sous conditions environnementales non standard ;
- méthodes de fabrication additive ;
- matériaux bio-sourcés et bio-inspirés ;
- polymères, matériaux hybrides, solides moléculaires, et leur fonctionnalisation ;
- matériaux multi-fonctionnels

Analyse :

- caractérisation, imagerie, et analyse *in-situ*, *in-operando*, et *in-vivo* ;
- caractérisation environnementale ;
- plateformes et analyses multi-modales et multi-échelle ;
- analyses de fiabilité et durabilité ;

Numérique et Modélisation :

- application de l'acquisition et du traitement de grandes quantités de données aux Sciences des Matériaux ;
- Materials Design, spectroscopies, et synergie calcul *ab-initio* – expérience.

Valoriser les savoir-faire innovants développés en son sein

Les expertises acquises lors de recherches matériaux développées dans le cadre de problématiques spécifiques peuvent parfois être utilisées dans d'autres domaines ou bien donner lieu à valorisation industrielle. Cela concerne, par exemple, les méthodes d'élaboration. L'initiative matériaux favorisera la dissémination scientifique au sein de l'UPSay de ses savoir faire en soutenant les initiatives pluridisciplinaires autour de l'utilisation de procédés innovants. Plus généralement, elle favorisera la valorisation industrielle de procédés innovants en sciences des matériaux.

Positionnement au sein de l'Université Paris Saclay

L'Initiative Matériaux sera le lieu d'échange transversal de compétences et d'idées entre chercheurs des différents Départements de l'UPSay actifs en Science des Matériaux. Elle est appelée à être un canal de diffusion et d'interaction. Les compétences couvrent la synthèse, l'analyse et la modélisation des matériaux et de leurs propriétés. L'initiative Matériaux doit devenir un acteur de choix pour porter des projets interdisciplinaires dans ces domaines. Elle travaillera en synergie avec les Initiatives sur l'Energie, sur le Calcul Intensif et la Simulation Numérique, dont les activités sont à la fois en amont et en aval de la Science des Matériaux. Elle doit, à terme, se faire le dépositaire des connaissances acquises. En fonction du succès de son action, elle se transformera en *Institut des Matériaux* et devenir la vitrine de l'UPSay en Science des Matériaux.

Positionnement au niveau international

De grands acteurs mondiaux de la recherche ont depuis longtemps mis en place des structures permettant de coordonner et animer la recherche en Science des Matériaux. On peut citer les USA, dont l'action est loin de se limiter à l'organisation de quelques congrès, aussi importants soient-ils (comme ceux de la « Materials Research Society »). Au contraire, le pays coordonne, via la NSF, des programmes de recherches en Sciences des Matériaux. Un exemple est la « Division of Materials Research » (DMR), l'une des 4 divisions du « directorate for Mathematical & Physical Sciences », ce qui témoigne de

l'importance accordée outre-atlantique à ce domaine de recherche. Au Japon, en dehors de l'incontournable NIMS, on mentionne la « World Premier International Research Center (WPI) Initiative », dont la mission est le financement de la recherche fondamentale, dont plusieurs Instituts en sciences des matériaux. Ces Instituts phares regroupent plusieurs centaines de personnes, financées sur des durées de 10-15 ans. De telles initiatives n'existent pas au niveau français ou européen. L'Initiative Matériaux, dont la nature et l'envergure la situent à la croisée des chemins entre la recherche universitaire et celle des grands laboratoires gouvernementaux, doit se donner l'objectif de doter la recherche sur les matériaux à l'UPSay de la réactivité de la première, et la capacité de mobilisation des seconds, afin de la hisser au meilleur niveau mondial.

Impact

L'Initiative Matériaux vise la coordination des collaborations entre chercheurs du Plateau de Saclay et le soutien de leurs relations avec les industriels locaux. Elle doit promouvoir des projets ambitieux et stratégiques impliquant les Sciences des Matériaux. Elle doit faire bénéficier l'industrie locale de ses avancées scientifiques et techniques. Elle doit favoriser le partage et l'optimisation des ressources humaines et techniques de l'UPSay pour aboutir à un leadership international de l'Université dans ce domaine. L'impact se mesurera, au plan académique, par le nombre et l'appréciation, sur l'UPSay,

- de publications « Matériaux » en particulier les co-publications entre départements scientifiques ;
- de lauréats de distinctions scientifiques prestigieuses ;
- d'expériences communes sur les plateformes et grands instruments ;
- de projets « Matériaux » déposés notamment entre acteurs de différents départements scientifiques, incluant le cas échéant le rapprochement de certains acteurs autour de synergies scientifiques fortes ou de plateformes matériaux communes (caractérisation, élaboration) ;
- de Masters et Ph.D « Matériaux » ;
- de chercheurs « Matériaux » accueillis en séjour sabbatique ;
- d'évènements « Matériaux » (congrès, écoles, ateliers, séminaires)

et au delà par sa capacité, dans son domaine,

- à proposer ses réponses scientifiques et techniques aux grands enjeux sociétaux.
- de déposer des brevets et les valoriser ;
- à former les acteurs de la R&D de demain ;
- à développer des techniques analytiques innovantes ;
- à générer de la valorisation et de la propriété industrielle ;
- à participer au renouveau du milieu industriel.

Annexes

Plan

Annexe 1 : les systèmes matériaux (page 9)

Annexe 2 : les bilans 'Matériaux' au sein des départements UPSAy (EOE, PHOM, Chimie, MEP, SdV, GEOPS) (pages 10-46)

Annexe 3 : Les matériaux et grands défis (page 47)

Annexe 4 : Les laboratoires impliqués (page 48)

Annexe 5 : Benchmark (pages 49-50)

Annexe 2 : analyse matériaux par département

2.1 Les 'Matériaux' au sein du département EOE et PHOM

I 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	Jose.Alvarez@lgep.supelec.fr	GeePs	4.5
Jean-Paul Kleider	jean-paul.kleider@lgep.supelec.fr		
Frédéric Mazaleyrat	frederic.mazaleyrat@satie.ens-cachan.fr	SATIE	4
Costel-Sorin Cojocar	costel-sorin.cojocar@polytechnique.edu	LPICM	12.5
Philippe Lecoeur	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	daniel.lundin@u-psud.fr	LPGP	1.75
Nicolas Jidenko	nicolas.jidenko@u-psud.fr		
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 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.

IV 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	Oxydes, semiconducteurs, métaux, polymères

	Matériaux à faibles pertes Batteries, piles à combustibles	
--	---	--

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)

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 :

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

VII 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

2.2 Les 'Matériaux' au sein du département Chimie

Participants à l'axe 'matériaux' du GT chimie et chimistes du bureau GT matériaux: Eric Eliot (CEA), Christian Serre (Versailles), Gaël Zucchi (Polytechnique), Thierry Gacoin (Polytechnique), Loreyne Pinsard-Gaudart (PSud), Francois Ozanam (Polytechnique), Serge Palacin (CEA), Fabien Miomandre (ENS-Cachan), Denis Guillaneux (CEA), Sophie Peulon (Evry), Fouad Maroun (Polytechnique), Bertrand Poumellec (PSud), Hynd Remita (PSud), Talal Mallah (PSud), Guilhem Dezanneau (ECP), Phillippe Roger (PSud), Philippe Allongue (Polytechnique)

Les activités sur les matériaux du GT-Chimie concernent essentiellement le pôle 2 mais aussi les axes transverses modélisation ou caractérisation. Un travail de cartographie et de prospective a été conduit dont la synthèse est reportée dans ce rapport.

Le contour de ces activités rassemble 12 laboratoires (ICMMO, LCP, ILV, CEA-Nimbe, CEA-SCBM, PPSM, LPMC, LAMBE, LPICM, LPS, Soleil, LLB).

Partie 1 : Périmètre - Etat des lieux – Interfaces

Descriptif des activités "Matériaux et nanomatériaux" du GT-Chimie :

Le GT-Chimie rassemble 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 propriétés.
- La modélisation et la simulation de leurs propriétés et des mécanismes impliqués dans leur croissance ou leur mise en forme.
- L'intégration de ces matériaux dans des systèmes, dispositifs, procédés etc...

Découpage en principaux axes (ou thèmes):

Le descriptif des activités matériaux conduit naturellement à un découpage en quatre axes qui vont permettre de recenser les moyens et les thématiques actuels.

1. Systèmes de matériaux et leur méthode d'élaboration :

L'analyse du recensement réalisé au sein des laboratoires du GT chimie concernés par la problématique matériaux fait apparaître que 45 équipes ont une activité en élaboration des matériaux. 40 équipes mettent en œuvre des expertises en mise en forme de ces matériaux.

Systèmes matériaux		LCP	GEMAC	ICMMO	ILV	ISMO ?	LLB ?	Soleil ?	LPICM	LPS	NIMBE	LPNC	PPSM	LAMBE	SCBM
Oxydes	Perovskites			x						x		x ?	x		
	Zéolithes, phosphates...				x										
	Mésoporeux			x							x				
	Silice (sol-gel), alumine										x	x	x	x	
	Oxoalcoyénures			x											
	Cuprates, irridates, manganites...			x						x					
	Diélectriques								x						
	Ta-N-O										x				
	Dopés Ln, borosilicates										x	x			
	Oxydes Uranium										x				
Colonne IV	Nanotubes de carbones, mésoporeux	x		x					x	x	x		x		x
	Feutres de carbone										x				
	Carbones													x	
	Nanodiamant														x
	Graphène et analogues		x						x	x	x		x		x
Complexes	oxométallates	x			x										
	thiométallates				x										
	oxothio				x										
	Coordination		x		x						x				
Chalcogénures, Pnictures	MoS2										x				
	Pnictures		x							x					
	Chalcogénures		x											x	
Métaux et alliages	Alliages		x												
	Intermétalliques									x					
	Acier		x							x					

Surfaces & interfaces	Fonctionnalisées					X						X					
	Semi-conducteurs					X					X		X				
	Couches minces					X				X		X	X				
	Métalliques		X			X						X					
	Polymère, organique											X					
	Membranes					X						X					
	Gaz 2D										X						
	Jonctions					X					X						
	hétérostructures					X					X		X				
Architectures	Matériaux 2D, 3D									X							
	Supramoléculaires											X					
Objets biologiques	Tissus									X							X
	Acides nucléiques, protéines										X	X					X
	Nanopores																X
	Tissus vivants-gels																X
	Cellules vivantes					X											X
Divers	Archéologiques											X					
	Fluides complexes											X					
	Lithium										X						
	Liquides ioniques										X	X					
	Tensioactifs										X	X					
	Bioinspirés										X	X					

Tableau 1 : Activité d'élaboration ou de mise en forme des laboratoires GT Chimie.

2. Méthodes d'analyses et de caractérisation (propriétés physiques, chimiques, structurales)

Caractérisation matériaux		LCP	GEMAC	ICM/MO	ILV	ISM ?	LLB	LPICM	LPS	NIMBE	LP/MC	PPSM	LAMBE	SOLEIL	SCBM
Microscopies	STEM								X						
	TEM, CryoTEM							X	X	X					
	Cathodoluminescence		x						X						
	MEB			X	X					X		X			
	AFM	X		X	x					X	X	X	X		
	AFMIR	X													
	STM									x	X				
	Confocale								X	x	X				
	électrochimique	X		X						x					
	MFM								X						
	Optique et polarisée								X	x			X		
Spectroscopies	UV-visible Proche IR	X		X	X		x	X		X	X		X		
	IR, ATR	X		X	X			X		X	X		X		
	IR en température				x		x								
	RMN liquide			X	X			X		x			X		
	RMN solide				X				?	x					
	MAS-RMN				x					X					
	Nano, μ , Raman							X		X		X			
	SPR									x			X		
	Fluorescence			X					X	X		X	X		
	Photoluminescence				X					X					
	μ XRD, μ XRF									X					
	Ellipsométrie				X				X	X					
	XPS			X	X			X		X	X				
	électrochimique			X	X					x					
Absorption X (à développer)			X						X				X		

	EELS						X	X						
	EDX			X	X		X		X		X			
	Masse	X		X	x		X						X	
	Maldi-TOF												X	
	XMCD (Synch)			X				X						X
	Niveau de cœur et bande de valence							X						
	Photoémission (Synch)			X				X						X
Diffraction	X-poudre			X	X		x	X	X		X			X
	X-monocristal			X	X		x			x				X
	LEED, RHEED			X										
	Electrons lents								X					
Electrochimie			X	X			X		X		X	X		
Mesures magnétiques	SQUID		X	X				X		X				
	RPE			X										
	Magnéto-transport							X						
	Magnéto-optique							X						
Mesures électriques	Seebeck			X										
	Effet hall			X				X						
	Magnéto-conductance							X						
	J(VT)-dispositifs						X							
	transport							X	X					
	diélectrique			X			x	X						
	Résistivité/conduc			X				X			X	X		
	Conductivité micro-onde résolue en temps	X												
Diffusion	lumière			X	x			X	X	X			X	
	GIWAXS, WAXS, SAXS							X	x					X
	Inélastique neutrons						X	X	x					
	Elastique neutrons						X	X	x					
	SANS			X			X	X	x					

3. Modélisation, simulation

Unité	Nombre	ETP	%activité						
			Approches stationnaires (structure électronique, états fondamental et excités)	Approches dynamiques (électronique, quantique, champs de force, mixte, gros grains, dissipatif)	Thermodynamique statistique (dynamique moléculaire, Monte-Carlo, équations maîtresses)	Analyse statistique de données, Bio-informatique et chimométrie	Approche par éléments finis	%Dev	%appli
UCP	4	1.9	43	77	70			37	153
SEARS	3	0.9	60			30		27	63
PPSM	4	0.55	46			8	1	5	50
LLB	1	0.3	24		6			30	0
LIDYL	7	4.35	89.5	57.5	288			155.5	279.5
LPMC	2	1.55	39	116	0	0	0	78	77
LCP	16	12.55	310	482.5	337.5	125	0	540	715
LCM	3	2.8	174	96	10	0	0	39	241
LAMBE	7	6.8	75	365	220	20		125	555
ISMO	23	17.4	626	1012	97	5		1128	612

IPNO	2	1	68	16	16			0	100
ICMMO	9	5.05	162.5	17.5	295	10	20	210	295
ICSN									
GEMAC	1	0.8			80			80	0
BioCIS	3	2.35	30	51	57	72	25	43	192
SB2SM	2	2	20	40	138	2		0	200
NIMBE	8	4.1	195	122.5	0	52.5	40	50	360
	95	64.4	30.46583851	38.09006211	25.06987578	5.038819876	1.335403727	39.55745342	60.44254658

4. Fonctionnalité dans les dispositifs, composants et systèmes

Dispositifs, systèmes ou matériaux en condition d'usage		LCP	GEMAC	ICMMO	ILV	ISMO ?	LLB ?	Soleil ?	LPICM	LPS	NIMBE	LPMC	PPSMI	LAMBE	SCBM
Capteurs, détecteurs	Gaz ultra-sensibles			x							x				
	IR				x										
	Divers										x				
Biomédical	Implants										x				
	Agents de contraste										x				x
	Libération retard				x						x				
Matériaux de structure, Métamatériaux										x					
Photovoltaïque				x				x	x	x					
Batteries											x	x			
Habitation	Verres intelligents									x					
	Eclairage									x	x				
Pneumatiques										x					

Tableau 3: activités liées aux dispositifs, systèmes et mise en condition d'usage des matériaux des laboratoires du GT Chimie.

* Les structures de Paris-Saclay en lien avec le périmètre des activités matériaux :

Labex: NanoSaclay, Palm, Char3mat, Lermite

* Les Interfaces avec les autres groupes de travail du Dpt chimie:

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

* Les Interfaces avec les autres départements de Paris-Saclay:

Laboratoires (%)	Phom	Chimie	EOE	MEP	P2I	SdV	Maths	SPU	Total
GEMAC	80	10	10						100
ICMMO	30	70							100

ISMO	80	20							100
LAMBE		70				30			100
LLB	80	20							100
LPICM	25	10	65						100
LPS	90	5	5						100
LSI	80	10	10						100
NIMBE	20	66	4						90
PMC	50	50							100
PPSM	10	90							100
SOLEIL Synchrotron	53	15			5	27			100
SPMS	50	50							100

*** Les thèmes/axes particuliers qui vous paraissent pouvoir faire l'objet d'une stratégie de recherche partagée entre les Etablissements partenaires de Paris-Saclay**

[ce qui ne réduit pas la stratégie de recherche des Etablissements à ce périmètre partagé]

Partie 2 : Enjeux, Analyse SWOT (« forces/faiblesses »)

Enjeux sociétaux et stratégiques (national et européen)

Renforcer les activités dans les domaines stratégiques (santé, énergie, environnement) avec un meilleur ancrage par rapport aux priorités définies pour les projets nationaux (ANR) ou européens (H2020) voire au-delà (Europe-Asie).

- Par les enjeux de la SNR, on pourrait au niveau de la chimie se focaliser en priorité sur les défis suivants : B=2-Une énergie propre, sûre et efficace, C=3 Stimuler le renouveau industriel et D=4 Santé et bien-être. Au niveau H2020, cela pourrait se traduire par un effort particulier sur 'Health, demographic change and wellbeing', 'Food security, sustainable agriculture and forestry, marine and maritime and inland water research, and the Bioeconomy', 'Secure, clean and efficient energy', 'Climate action, environment, resource efficiency and raw materials'. Bien entendu, favoriser les initiatives permettant d'augmenter le taux de succès des chimistes de l'UPSAy aux AAPs IF/ETN, ANR JC et ERC est également primordial.

Enfin, il serait pertinent d'accroître les partenariats industriels tant avec les grands groupes au travers d'actions pérennes qu'avec le tissu industriel local (PME).

Forces

- Forte production scientifique
- Visibilité internationale dans certains domaines (ERCs, Médaille d'Or CNRS...)
- Diversité des thématiques (ex: du moléculaire aux dispositifs PV)
- Fortes interactions avec le tissu industriel
- Plateformes de caractérisation

Faiblesses

- Certains secteurs peu représentés (ex: catalyse hétérogène)
- Manque de coordination entre les acteurs ou avec certains départements (ex: SDV) et/ou leur dispersion géographique
- Manque de visibilité de l'activité matériaux au sein de Saclay
- Applications : manque de moyens pour la mise à l'échelle, mise en forme...
- Interactions avec le tissu PME ?

Opportunités

- Accroître les interactions scientifiques au-delà de la chimie
- Partager les méthodes d'élaboration, caractérisation ou de modélisation
- Identifier des thèmes fédérateurs matériaux interdisciplinaires (ex: nouveaux matériaux 'hybrides' (ex: oxydes et moléculaires) ou cf projets proposés au département chimie ou les matériaux sont portants (ex : sciences catalytiques, imagerie...))
- Meilleur accès aux plateformes de caractérisation ou de modélisation
- Partager l'expérience en valorisation

Menaces

- Insuffisance de thèmes forts visibles sur le plan national ou international
- Manque d'attractivité internationale (jeunes chercheurs, étudiants)
- Transfert vers l'applicatif insuffisant (>TRL3)
- ...

Partie 3 : Suggestions d'actions

Actions transverses proposées (aspects thématiques et actions structurantes) appel à projets

Sur le plan scientifique,

Financement de projets inter-laboratoires sur quelques projets phares à identifier avec en parallèle l'organisation de GDRs thématiques prioritaires dont des actions spécifiques 'matériaux' internes à la chimie, selon les 7 axes définis par le GT de l'axe 2 'Matériaux' du département chimie (7 axes ont été proposés par le groupe de travail de l'axe 2 'Matériaux' du GT Chimie : composés multifonctionnels (oxydes, coordination...), contrôle des interfaces: structure et réactivité, élaboration de matériaux nanostructurés, lien structure-propriété/fonction : croissance, modélisation, mesure ; composés, architectures, sondes stimulables ; fiabilité/sélectivité/mise à l'échelle des procédés d'élaboration des nano-objets et intégration de matériaux au sein de dispositifs (PV, capteurs...)

- Organisation de séminaires, écoles d'été ou Workshops thématiques UPSay 'matériaux' avec à la clé un lieu central pour les séminaires voire pour les colloques
- Organiser un accès plus facile aux plateformes au travers de financements UPSay

Sur le plan formation, il faudrait articuler les actions avec les formations proposées (masters matériaux) et les écoles doctorales concernées (Interfaces ?). Des actions pourraient être proposées :

- Formation des étudiants (master, doctorants) aux grandes plateformes (caractérisation, élaboration, modélisation ?)
 - Financement de thèses interdisciplinaires/en Matériaux en cotutelle
 - Financement de bourses de stages (niveau L3 à M2 matériaux), notamment à l'étranger, ou de bourses pour la participation à des congrès matériaux

Autres actions :

- Mise en place d'un site web avec l'inventaire des forces en présence, et le rendre accessible/visible aux PME afin de financer ultérieurement des premières collaborations entre laboratoires et PME
- Structurer et renforcer l'accès aux plateformes et grands instruments (microscopie, Synchrotron...)

Impact

- Accroître la visibilité de la chimie des matériaux sur l'UPSAY et ainsi attirer les meilleurs étudiants ou jeunes chercheurs nationaux ou étrangers
- Favoriser les synergies matériaux intra-chimistes et entre chimistes et autres disciplines

2.3 Les 'Matériaux' au sein du département Mécanique, Energie, et Procédés

Acteurs impliqués : P. Le Tallec, K. Van Beek...

Périmètre état des lieux

L'activité autour des matériaux occupe plus d'un tiers du département MEP, autour des thématiques suivantes :

1. Conception, élaboration et transformation des matériaux
2. Caractérisation nano et micro-structurale des matériaux (métaux, céramiques, polymères, composites, ciments, roches, sols)
3. Caractérisation du comportement mécanique et fonctionnel des matériaux (sous chargement et environnement)
4. Effets de l'environnement (corrosion, irradiation, ...)
5. Modélisation physique des matériaux et lois de comportement
6. Mécanique de l'endommagement et de la rupture, modèles de durée de vie.
7. Mécanique des surfaces (tribologie) et des interfaces (revêtements, couches minces)

D'un point de vue volumétrique, dans le cadre du département MEP, on dénombre pour ce domaine 167 thèses soutenues et 848 publications de rang A dans les 5 dernières années, 252 permanents travaillant de manière principale sur ces thématiques.

De manière plus précise, on peut décrire cette activité du département MEP en quatre tableaux -matériaux et méthodes d'élaboration

Matériaux	FAST	LMT	LMS	MSSMAT	ONERA/ MAS	CEA/ SEMI	CEA/ SEARS	CEA/ SRMA	CEA/ SCCME	CEA/ SECR
Métallique & alliages métalliques		X	X	X	X	X	X	X	X	
Polymères et élastomères	X		X							X
Composites et matériaux hybrides		X		X	X		X	X		X
Céramiques		X	X		X		X	X		
Mousses et matériaux poreux		X		X	X					X
Matériaux cimentaires et bétons		X		X						X
Matériaux géologiques			X							X
Verres et silice	X		X							
Revêtements et systèmes de protection					X		X			

Ce tableau met en évidence une très forte contribution des matériaux métalliques. Les matériaux composites et céramiques sont également bien représentés.

méthodes d'élaboration	FAST	LMT	LMS	MSSMAT	ONERA/MAS	CEA/SEMI	CEA/SEARS	CEA/SRMA	CEA/SCCME	CEA/SECR
Frittage de poudres sous charges	x		x		x			x		
Séchage de suspensions colloïdales	x									
Voie fonderie					x			x		
voie métallurgie des poudres	x			x	x		x	x		
Gâchage classique										x
moulage			x	x						
CVD ou CVI				x	x		x	x		
PVD					x					
Dépôt électrochimique					x			x		
Fabrication additive (Projection laser ou lit de poudres)							x			

Les capacités d'élaboration se concentrent essentiellement dans les EPIC. La métallurgie des poudres (mécano-synthèse, frittage sous charge ou laser, la CVD) sont les principales méthodes. Il est à noter également que des moyens plus classiques tels que la fonderie et le moulage sont représentés.

Analyse et caractérisation :

analyse et caractérisation	FA ST	LMT	LMS	MSSMAT	ONER A/MAS	CEA/SEMI	CEA/SEARS	CEA/SRMA	CEA/SCCME	CEA/SECR
DRX		x			x	x	x	x		
MEB /MEB feg		x	x	x	x	x	x	x	x	
EBSD			x		x			x		
EDX/ EDS /WDS		x	x	x	x	x	x	x	x	
FIB				x	x			x		
MET				x	x	x		x		
Tomographie		x		x						
Microscopie optique				x	x	x	x	x		
AFM			x				x			
ATG/ATD				x	x			x		
Diffusivité thermique, émissivité					x		x		x	
calorimétrie		x								
Essais mécaniques (traction, flexion, compression, dureté, résilience etc...)			x	x	x	x		x		
Identification vibratoire					x					
Caractérisations chimiques des matériaux en volume et surface							x			
Spectroscopie IR, Raman							x	x		
Mesure de surface				x				x		

spécifique et pycnométrie, densitométrie, etc...										
Caractérisation électrochimique									X	

On retrouve une panoplie très complète, largement répandue en particulier en termes de MEB et DRX. Cependant, il est à noter un déficit en termes de caractérisation chimiques. Assez limité en caractérisation chimique des matériaux.

Concernant la caractérisation mécanique, ce tableau met en évidence que ce domaine est une spécificité du département MEP qui a des accès aux machines de tests (ex ou in situ) sous chargement mécanique à différentes échelles et (en particulier sur la gamme du micromètre au décimètre) et à environnement contrôlé.

Modélisation

MODELISATION	FAST	LMT	LMS	MSSMAT	ONER A/MAS	CEA/ SEMI	CEA/ SEARS	CEA/ SRMA	CEA/ SCCME	CEA/ SECR
Plasticité cristalline			X	X	X					
Diagramme de phase					X					
Homogénéisation	X		X							
Modèles mécaniques multiéchelles		X	X	X	X	X				
Calculs d'endommagement, fissuration	X	X	X	X	X					
Eléments Finis		X	X	X	X	X				
Dynamique des dislocations			X		X					
Méthodes ab initio				X	X					
Champ de phase					X					

2 Enjeux

Les défis sociétaux mis en avant sont :

- La durabilité et la fiabilité des structures et des matériaux, et l'optimisation de leur cycle de vie
- L'efficacité énergétique
- Le respect de l'environnement
- L'analyse et la prévention des risques naturels et industriels

Les thématiques et enjeux scientifiques abordés autour des matériaux concernent :

- La conception, le développement et l'optimisation de matériaux microstructurés, de nouveaux alliages, de nouveaux composites ;
- Le développement de nouvelle méthode d'élaboration de matériaux architecturés, à gradient de propriétés et multifonctionnels ;
- L'étude et le calcul des instabilités et mécanismes de rupture des matériaux ;

- La modélisation et l'identification des comportements mécaniques micro et macroscopiques des matériaux, y compris à haute température ;
- L'identification des propriétés mécaniques et physiques des matériaux et structures associées que ce soit à partir de mesures globales de techniques optique ou de mesures de champs à diverses échelles ;
- Le dimensionnement et l'analyse dynamique des matériaux structurels, qu'ils soient métalliques, composites, en béton ou d'origine géotechnique ;
- La modélisation de la plasticité, de l'endommagement ou du vieillissement des matériaux et des structures associées ;
- L'analyse des couplages multiphysiques et multiéchelles dans les matériaux et structures.

3 Analyse SWOT du MEP autour de l'activité matériaux

Forces

- La diversité des équipements existants avec un parc expérimental de qualité à toute échelle (Matmeca, Tamaris, Soleil, Hall d'essais corrosion, labos chauds...)
- L'existence de plateformes agrégatives fortement pluridisciplinaires
- La taille, la qualité et la pluridisciplinarité des équipes qui regroupent théoriciens, numériciens et expérimentateurs.
- La présence de regroupements d'envergure internationale.
- Le caractère multi-échelle et multi-physique des études abordées.
- L'existence de formations accolées (Master, Ecole doctorale).
- Les fortes interactions avec le monde industriel et socio-économique.

Faiblesses

- Morcèlement et coordination encore trop partielle des activités de recherche dans ce domaine sur Paris Saclay.
- Manque de crédits récurrents en terme expérimental (émiettement des modes de financements)
- Manque de personnels permanents pour les plate formes expérimentales (gestion, formation, veille technologique, support technique, ...)
- Faible attractivité du secteur auprès des étudiants, et dispersion des formations
- Moyens d'élaboration de matériaux, insuffisamment structurés.
- Peu d'interface avec la communauté locale du traitement d'images.
- Disparité et lourdeurs des règles de gestion et d'accès des différents établissements.
- Positionnement insuffisant dans les projets européens académiques ou de recherche et développement.

Menaces

Manquer les enjeux à venir dans le secteur
Perte d'attractivité du secteur auprès des jeunes talents.

Opportunités

- Capitaliser sur la diversité des établissements de recherche (epic, ingénieur et université) et faciliter la coopération et les échanges entre les chercheurs de différents établissements.

- Faciliter les partenariats avec les entreprises et profiter de la proximité de leaders européens du secteur.
- Interfaçage des compétences,
- Couplage intime entre essai, observation, modélisation et simulation.
- Enrichissement de la formation des étudiants.
- Augmenter l'attractivité et le rayonnement de l'université Paris Saclay en particulier auprès des jeunes talents.

4 Projets et thèmes mis en avant dans le secteur par le département MEP.

Trois actions sont proposées concernant respectivement

- Fiabilité, durabilité des matériaux et des structures (fissuration/crack, vieillissement)
- Fabrication additive
- Plateformes mutualisées multi-échelles (expérimental et simulation)

2.4 Les 'Matériaux' au sein du département Sciences de la vie

Groupe de travail : Juan Pelta, Hermann Höfte, Véronique Bosc, Sandra Domenek

Compilé le 03/06/2015

Ce rapport propose une synthèse des activités « matériaux » au sein du département SdV. Ces activités présentent aujourd'hui une certaine dispersion, cependant, des préoccupations communes peuvent être identifiées, comme des interfaces avec les autres départements de l'UPSay. Ces interfaces existent pour les deux thèmes principaux explorés au sein de SdV, à savoir des biomatériaux à visée thérapeutique, industrielle ou en interaction avec le vivant et des matériaux biosourcés assemblés pour des polymères à usage technique (emballage, BTP, automobile, dispositifs médicaux, ...)

1) Etat des lieux :

UMR	ETP	Mots clés
LAMBE	14	Nanopores, nanotubes, nanoparticules, polymères, polyrotaxanes, biomolécules, capteurs, invasion cellulaire, vectorisation, délivrance, cytotoxicité, protéomique, glycomique, édifices macromoléculaires et supramoléculaires
SAPNB	1	Nanodiamants, complexes de biomolécules, microtubules
IJPB		Paroi végétale, polysaccharides, cellulose, hémicellulose, pectine, lignine, matériaux biosourcés, matériaux bio-inspirés, lipides
GENIAL	10,4*	Matériaux biosourcés, biodégradables, interaction contenant/contenu (migration/ adhésion), sécurité sanitaire, propriétés de transport, plastification, analyse morphologique, vieillissement physique et chimique, dégradation thermique, emballage, aliment, systèmes colloïdaux, séchage, interactions aux interfaces, synthèse macromoléculaire
MICALIS	6	physico-chimie des surfaces et des interfaces, adsorption, bioadhésion, biofilms, mouillabilité <ul style="list-style-type: none">• Interactions matériaux-fluides complexes• Adsorption moléculaire et macromoléculaire• Détergence• Interactions matériaux-micro-organismes• Adhésion microbienne – formation de biofilms• Physiologie bactérienne• Désinfection• Nanoparticules et micro-organismes

		<ul style="list-style-type: none"> • Ingénierie de surface et bactéries • Surfaces antibactériennes • Reprogrammation cellulaire
--	--	---

*compris la chaire ABI appuyé sur l'UMR GENIAL, GMPA et IJPB

Une synthèse des moyens de fabrication et d'analyse des matériaux est donnée à la fin du document.

2) Thèmes transversales au sein de SdV

Structures - assemblages macromoléculaires et supramoléculaires

- Compréhension assemblages biologiques (construction/déconstruction) caractérisation des assemblages
- Création de matériaux fonctionnels biosourcés (alimentaires, cosmétiques, santé et diagnostic, ...)
- Matériaux bioinspirés (nanopores, nanotubes ...)
- Matériaux couches minces, physique des milieux confinés (par exemple propriétés de transport de phases condensées)

Matériaux en interaction avec le vivant

- Fonctionnalisation surfaces
- Interactions surface/ molécules (différents échelles de la molécule ou macromolécule jusqu'à la cellule)
- synthèse polyimides, diblocks biodisponibles

3) Analyse SWOT des forces et faiblesses

Forces :

- Approches originales valorisés dans des journaux à impact élevé
- Bonne interaction avec le tissu industriel y compris PME, start-up
- Interface entre plusieurs disciplines (biologie-chimie, biologie-physique) – structuration multidisciplinaire
- Interfaçage réseaux internationaux et nationaux, avec associations et clubs industriels
- Plateformes (imagerie, électrophysiologie ..)
- Lien avec la formation, master science et génie des matériaux, avec un parcours Matériaux fonctionnels/Biomatériaux-polymères

Faiblesses

- Dispersion des thématiques et objets : objets d'étude très différents faisant appel à un éventail d'expertises, peu de focalisation de la thématique matériaux, peu de contacts entre groupes de recherche en interne de SdV et avec d'autres équipes au sein de UPSay
- Peu de visibilité des formations, manque d'attractivité pour les étudiants
- Faible visibilité de la recherche matériaux
- Difficulté d'obtenir des ressources spécifiques (financements, personnels) sur l'activité matériaux

Opportunités

- Contexte socioéconomique très porteur pour matériaux verts, matériaux pour la santé, le diagnostic et l'industrie
- Des innovations à trouver pour nourrir la population en même temps que l'utilisation du carbone renouvelable pour des applications de type matériaux
- Innovations en adaptation de la biomasse et des pratiques agricoles pour optimiser l'occupation des sols fertiles (agricoles, prairies, forêts, ...)

Menaces

- Faible concentration des moyens expérimentaux

4) Enjeux sociétaux de la recherche

Les enjeux sociétaux définis par Horizon 2020 dans lesquelles émerge la recherche matériaux au sein de SdV sont :

- Health, demographic change and wellbeing;
- Food security, sustainable agriculture and forestry, marine and maritime and inland water research, and the Bioeconomy;
- Climate action, environment, resource efficiency and raw materials;
- Personalising health and care (Development of new diagnostic tools and technologies: in vitro devices, assays and platforms)
- Industrial renewal

5) Propositions d'actions au sein de UPSay

- Travailler ensemble pour :
 - adapter des technologies matériaux au vivant

- Associer différents matériaux disponibles pour répondre à des enjeux sociétaux
 - travailler avec systèmes miniaturisés, modélisation (simulation, lois d'échelles)
 - adapter et mise en commun des outils de modélisation
- Organisation des journées communes de présentations mutuelles
 - Ouvrir des techniques d'imagerie, détection électrique, électrochimique maîtrisés au sein de SdV à la communauté de l'UPSay et faciliter l'accès

Méthodes d'analyses et de caractérisation (propriétés physiques, chimiques, structurales)

(Recensement des équipements selon la trame fourni par EOE/PhOM)

- Techniques de microscopie à sonde locale ou en champ proche

Technique		GENIAL	IJPB	SABNP	LAMBE	MICALIS
AFM	Imagerie ¹					
	Température					
STM	Imagerie ²					

Imagerie¹ : Contact, Intermittent, Non-contact vibrant, Imagerie² : Courant ou distance constant

- Techniques d'analyses optiques

Technique		GENIAL	IJPB	SABNP	LAMBE	MICALIS
Spectroscopie IR	FTIR ¹					
	ATR-FTIR ²					
	μ-IR/Imagerie					

	Transmittance/ Absorbance				
	Température				
Imagerie	μ-Raman				
	GN ³				
Microscopie	Confocale				
	Interférométrie				
	Optique/épi-fluorescence				
	Optique/Température				

FTIR¹ : Fourier-Transform Infrared Spectroscopy, ATR-FTIR²; GN³: Granulometry,

- Techniques d'analyses par faisceau d'électrons, neutrons, ions

Technique		GENIAL	IJPB	SABNP	LAMBE	MICALIS
MEB	Imagerie					
	EBSD					
ESEM						
MET	Imagerie					

- Caractérisation électrique/électrochimique (ECH) et photoélectrique/photoECH

Technique		GENIAL	JPPB	SABNP	LAMBE	MICALIS
	Voltammétrie cyclique					
	Zétamètre					
	Potentiel écoulement					

- Caractérisation magnétique, thermique, mécanique, rhéologique et énergétique

Techniques		GENIAL	JPPB	SABNP	LAMBE	MICALIS
	RMN ⁸					
	RPE ¹¹					
Thermique	Thermodésorption					
	DSC ⁹ /DSC modulée					
	TGA ¹⁰					
	TGA – couplé CPG MS					
	Nano Tribomètre					
	Machine de traction					
oligomé	Rhéomètre					
Energétique	Goniomètre (macro/micro)					
	Tensiomètre à goutte					
	Permeametry					
	Microbalances					

VSM⁵ : Magnétométrie échantillon vibrant, MRS⁶ : Magnétorésistance, RFM⁷ : Résonance Ferromagnétique, RMN⁸ : Résonance Magnétique Nucléaire, DSC⁹ : Calorimétrie différentielle à balayage, TGA¹⁰ : Thermogravimétrie, RPE : résonance paramagnétique électronique

Caractérisation chimique – biochimique

Techniques spectroscopie MS		GENIAL	JPB	SABNP	LAMBE	MICALIS
ts	DESI					
	MALIdi-TOF					
	ESI-orbitrap					
	GC – MS (Quadripôle)					
	LC – MS (Quadripôle-)					
	UPLC- MS					
	UPLC - QTOF					
	UPLC – MS/MS					
Techniques chromatographiques						
	GC-MHE					
	GC-olfactométrie					
	GC-FID					
	HPLC-DAD, UV					
	LC-viscosimetry-MALLS	*				

MHE : Multiple Headspace Extraction, MALLS (Multi-Angle Light Scattering)

*par la chaire ABI, situé à Reims

Synthèse des matériaux étudiés au sein de SdV

Systèmes matériaux		SABNP	LAMBE	JPB	GENIAL	MICALIS
Métaux et alliages	Nanomatériaux, nanoparticules	X	X			
Matière molle	Cristaux liquides	X	X			
	Nanostructures organiques	X	X	X	X	
	Polymères	X	X		X	

	Biopolymères (protéines, polysaccharides...)	X	X	X		
	Mousses					
	Gels aqueux	X	X		X	
Systèmes matériaux		SABNP	LAMBE	IJPB	GENIAL	MICALIS
Organiques & organiques/inorg aniques	Organiques pour la santé	X	X			
Matériaux hybridés	Assemblages organiques (cellules, parois, mat. bioinspirés...)	X	X	X	X	
	Nano-composites polymères/nanotubes	X	X	X	X	
Surfaces & interfaces	Réactivité des surfaces & santé					
Polymères biosourcés	Extraction biomasse et Réactivité / Propriétés barrière/bioadhésion			X	x	
Aciers inoxydables	Propriétés surface/bioadhésion					
Verre/céramique	Propriétés surface/bioadhésion					
Solides alvéolaires						
Poudres						
Cellule végétale	Rhéologie / structure					

X : élaboration ; Coloré : caractérisation et mise en forme

2.5 Les 'Matériaux' au sein du département GEOPS

Présentation des membres du groupe de travail

Nom, prénom	Statut	e-mail	ETP
Quantin, Cécile	Pr	cecile.quantin@u-psud.fr	0,3
Nouet Julius	IR	julius.nouet@u-psud.fr	1
Gautheron, Cécile	Mcf	cecile.gautheron@u-psud.fr	0,5
Barbarand, Jocelyn	Pr	jocelyn.barbarand@u-psud.fr	0,2
Benjamin Brigaud	Mcf	benjamin.brigaud@u-psud.fr	0,1
Delpech Guillaume	Mcf	guillaume.delpech@u-psud.fr	0,3
Pinna-Jamme Rosella	IR	rosella.pinna@u-psud.fr	1
Dufaure Olivier	IR	olivier.dufaure@u-psud.fr	1
Pichon Remy	IE	remy.pichon@u-psud.fr	1

Périmètre état des lieux

L'activité autour des matériaux naturels (minéraux essentiellement) occupe une place modérée au sein de GEOPS. Cependant, nous travaillons en collaboration avec d'autres laboratoires (IPN, CSNSM, Soleil) et avec le monde non-académique autour de cette thématique. Nous travaillons principalement sur les minéraux naturels (Argiles, oxydes de fer et Mn, phosphates, silicates et minéraux non-silicatés) et des phases minérales modèles, naturelles ou de synthèse.

Les objectifs sont :

- de caractériser la dynamique des métaux dans l'environnement, aux interfaces solide - solution
- d'utiliser les produits fils radiogéniques contenus dans les minéraux pour dater des processus géologiques. On a donc besoin de comprendre le matériel et les pertes des éléments fils
- de comprendre la mise en place des ressources minérales, la localisation des éléments des terres rares et actinides dans ceux-ci.

Dans le cadre de nos activités « matériaux » de GEOPS, nous sommes 9 permanents à consacrer une partie de notre temps sur la thématique. On dénombre sur les dernières années 5 thèses, 3 post-doctorants, et le financement de nos activités par l'Europe, l'ANR (blanc, JCJC) la région île de France (Oxymore), l'INSU, NEEDS et l'industrie (BRGM, AREVA, ENGIE).

Enjeux sociétaux et stratégiques (national et européen)

Les enjeux de nos activités tournent autour de :

- l'environnement et de la pollution au sein de la zone critique par les éléments métalliques, avec une compréhension fine du lien spéciation solide des métaux / fractionnement isotopique associé / mobilité
- l'endommagement des minéraux naturels par l'effet de la radioactivité
- des Sciences de la Terre et du développement d'outils de datation fiables. Ces outils sont utilisés pour contraindre l'histoire thermique des roches. Application à la genèse d'hydrocarbures, minéralisation.
- La connaissance de la mise en place des ressources minérales et de leur datation

Etat des lieux cartographie (forces et faiblesses)

Forces :

- Très forte collaboration avec d'autres groupes au sein de Paris Saclay (CSNSM, IPN, Soleil) en interdisciplinaire
- Visibilité internationale
- Plateforme analytique et instrumental visible
- Interaction avec le monde industriel

Faiblesses :

- Peu de personnels permanents, et difficulté à recruter en interdisciplinaire
- Renouveau de nos instruments/équipements
- petite communauté par rapport aux physiciens

Actions transverses proposées (aspects thématiques et actions structurantes) appel à projets

Projet "environnement" GEOPS / SOLEIL : Quantification des fractionnements isotopiques associés aux différents processus biogéochimiques affectant le devenir du nickel dans la zone critique.

Quantification des fractionnements isotopiques associés aux différents processus biogéochimiques affectant le devenir du nickel dans la zone critique. Des études récentes ont

montré que les isotopes stables du nickel pouvaient être significativement fractionnés par des processus biotiques et abiotiques, faisant ainsi du rapport isotopique $^{60}\text{Ni}/^{58}\text{Ni}$ un traceur potentiel de processus biogéochimiques. Cependant, pour une bonne interprétation de ces valeurs, il convient de comprendre précisément le fractionnement associé aux réactions de cet élément aux interfaces solide-solution (adsorption, désorption, diffusion, co-précipitation de surface). C'est pourquoi, des mesures d'isotopie et de spéciation seront menées conjointement sur des phases minérales synthétiques dans des expériences en batch. Les résultats obtenus permettront d'apporter des éléments importants d'interprétation des signatures isotopiques mesurées dans des échantillons naturels prélevés au sein de couvertures d'altération de roches ultrabasiques étudiées par nos équipes. Ces informations permettront d'améliorer notre compréhension du cycle naturel du nickel dans ces contextes pédo-géologiques spécifiques. Plus largement, les résultats obtenus permettront de mieux évaluer les perspectives d'utilisation des signatures isotopiques du nickel pour la quantification de l'impact des activités anthropiques, minières, métallurgiques, nucléaires, ... sur le cycle biogéochimique global de cet élément.

Projet datation et création d'un groupe interdisciplinaire « GEOPS/CSNSM/IPN »

La quantification des processus façonnant notre paysage, tels que les processus internes qui créent des reliefs (tectonique, dynamique mantellique) et les processus externes qui les détruisent (climat) est capitale pour construire un modèle de leurs évolutions. Des méthodes de datation et de quantification des phases d'érosion par différents outils tels que les chronomètres (absolu, cosmogénique) et les thermochronomètres basse température sont des outils indispensables. Cependant, la compréhension de tous les paramètres influençant ces outils est nécessaire pour interpréter les données obtenues. C'est dans ce cadre, que des collaborations scientifiques entre la géologie (GEOPS), la physique nucléaire et la chimie théorique (IPN) et plus récemment avec la physique des matériaux (CSNSM) autour de la production et diffusion des gaz rares (He, Ne) ainsi que l'effet des désintégration radioactive (fission naturel de l'U, désintégration alpha par l'U et Th) dans divers minéraux peuvent être engagés. Pour l'avenir, nous souhaitons étendre les activités par le développement de calculs de chimie quantique (création et cicatrisation des défauts, effets de surface), pour élargir ensuite à des modélisations en dynamique moléculaire et des simulations physiques diverses.

Projet ressources minérales et collaboration avec le monde académique et industriel

La connaissance de nos ressources et de leur enrichissement en certains éléments clefs (U, Mn, F), est une clef pour comprendre leur mise en place. Nous travaillons autant pour dater leurs mises en place avec la mise au point d'outil de datation adapté, mais aussi sur l'incorporation et l'enrichissement en éléments chimiques clefs (F, U, Mn par exemple). Un

volet d'étude de l'évolution des matériaux ayant incorporés ces éléments est développé au sein de GEOPS par leurs analyses cristallographiques, minéralogiques et chimiques. Une partie de notre travail se fait en interaction forte avec le milieu académique (IPN, IMPMC) et industriel (ENGIE, AREVA, BRGM, ...).

Annexe 3 : Matériaux et Grand défis

Grands défis	Thématiques de recherches	Systèmes matériaux
Energie	<ul style="list-style-type: none"> • Matériaux et composants photovoltaïques, piezoélectriques, électrocalorique, thermoélectriques, magnéto-caloriques • Stockage, batteries nanostructurées • Photocatalyse • Pile à combustible • Durabilité, vieillissement • énergie nucléaire, irradiation 	<p>Oxydes Supraconducteurs Colonne IV, TCOs, Organiques, hybrides, Métaux et alliages, Semiconducteurs, Polymères, céramiques, nanomatériaux, verres, Chalcogénures</p>
Environnement	<ul style="list-style-type: none"> • Matériaux naturels et pollution • Matériaux non polluants, recyclables, bio-dégradables • Substitution des éléments lourds, Méthodes de fabrications économes et non polluantes • Recyclage • Capteurs, détecteurs 	<p>Oxydes, Argiles, Polymères, Organiques, Carbone, nanomatériaux</p>
Santé	<ul style="list-style-type: none"> • Sources UV, sources IR, capteurs biochimiques, nanophotonique, biopuces, physique pour la biologie, plasmonique, optique, agents de contraste • Biomatériaux, implants • Drug delivery, libération retard, protéines 	<p>Nanomatériaux, Organiques, Hybrides, oxydes, polymères</p>
Information, Communications	<ul style="list-style-type: none"> • Photonique, Lasers SC, Nanoélectronique, spintronique, magnonique, supraconducteurs HTc, électrons fortement corrélés, multiferroïques 	<p>Semiconducteurs, Graphene, Solides moléculaires, nanomatériaux, Oxydes, chalcogénures, diélectriques</p>
Habitat	<ul style="list-style-type: none"> • Eclairage, écrans, LED, luminescence • Ciments, céramiques, vitrage intelligent 	<p>Semiconducteurs, Ciments, céramiques, verres, oxydes,</p>
Astronomie	<ul style="list-style-type: none"> • Bolomètres, durabilité, vieillissement 	<p>Semiconducteurs, supraconducteurs</p>
Défense, sécurité	<ul style="list-style-type: none"> • Photocathodes, supra haute Tc, Cryptographie, détecteurs, émetteurs 	<p>Oxydes, nanotubes, graphene, carbures, nanoparticules, semiconducteurs,</p>
Transports	<ul style="list-style-type: none"> • Aimants permanents, aimants sans terres-rares • Semiconducteurs de puissance grand-gap • Matériaux à faibles pertes • Batteries, piles à combustibles 	<p>Oxydes, semiconducteurs, métaux, polymères</p>

Annexe 4 : Laboratoires impliqués (à compléter)

Labo	Départements						ETP	Initiatives Interdépart.	
	Chimie	EOE	MEP	PhOM	SdV	SPU		CHP – simul.	Energie
CPhT / Ecole polytechnique				X			4	X	
CSNSM / Université Paris Sud				X			21		
FAST / Université Paris Sud			X	X		X	2		
GeePS / Supelec		X		X			4.5		
GEMAC / UVSQ	X	X		X			25	X	
GENIAL / INRA					X		10,4		
GEOPS						X	2		
ICMMO / Université Paris Sud	X			X			36	X	
IEF / Université Paris Sud		X		X			29		
IJPB / INRA					X				
ILV / UVSQ	X						29		15
ISMO / U. P-Sud	X			X			21.5	X	
LAC / U P-Sud, ENS Cachan				X					
LAMBE / Université d'Evry	X				X		14	X	
LCP / Université Paris Sud	X							X	
LCM / Ecole polytechnique	X							X	
LEM / ONERA			X				1		
LGEP / Supélec		X		X					
LIST / CEA-DRT		X					5		
LLB / CEA – DSM - IRAMIS	X			X					
LMS / Ecole polytechnique			X						
LMT / ENS Cachan			X						
LPGP / Université Paris Sud		X		X			2		
LPICM Ecole polytechnique	X	X		X			12.5		
LPMC / Ecole polytechnique	X			X			17	X	
LPN / CNRS		X		X			24		
LPP / Ecole polytechnique				X			4	X	
LPS / Université Paris Sud	X	X		X			44.5	X	
LSI / Ecole polytechnique	X	X		X			34.5	X	
MICALIS / INRA-Agro ParisTech					X		6		
MSSMAT / Ecole Centrale			X						
NIMBE / CEA – DSM - IRAMIS	X	X		X			3	X	
- LIONS									
- LEDNA									
ONERA / MAS			X						
PPSM / ENS Cachan	X			X			14	X	
SABNP / Université d'Evry					X		1		
SATIE / ENS Cachan		X	X				4		
SCBM / CEA – DSV	X								
SCCME / CEA – DEN – DANS			X						
SEARS / CEA – DEN – DANS			X						
SECR / CEA – DEN – DANS			X						
SEMI / CEA – DEN - DANS			X						
SOLEIL	X			X		X	24		
SPEC / CEA – DSM – IRAMIS		X		X			8		
SRMA / CEA – DEN – DANS									
SPMS / Ecole Centrale	X			X			10		
SRMP / CEA – DEN				X			20		
UMPhy / CNRS – Thales		X		X			26		
Total							459		

Annexe 5 : Benchmark

Rang (QS)	Etablissement (universitaires)	ETP*	Thèmes de recherche
1	Department of Materials Science and Engineering, Massachusetts Institute of Technology	39	Biomatériaux, matériaux biomoléculaires, Santé, céramiques, composites, Materials Design, applications, durabilité, économie des matériaux, électronique et photonique, énergie, environnement, théorie, (nano-)mécanique, métallurgie, nanosciences, polymères, auto-assemblage, supraconductivité, surfaces et interfaces
2	Materials Science and Engineering, Stanford University	41	Théorie, Materials Design, électronique, photonique, magnétisme, nano- et biomatériaux, nano-caractérisation, nano-mécanique, science ultrarapide
3	Department of Materials Science and Metallurgy, Cambridge University	50	Matériaux et applications, microscopie électronique, chimie des matériaux, médecine et matériaux pharmaceutiques, matériaux structuraux, énergie propre et durabilité, énergie nucléaire.
4	Department of Materials, Imperial College	38	Energie, Environnement, Transport, Electronique, Santé : céramiques, verres, diélectriques, matériaux fonctionnels, alliages, biomatériaux, théorie et simulation, nanomatériaux.
5	Materials Science and Engineering, University California / Berkeley	30 + 15 émér.	Biomatériaux, Chimie et Electrochimie, Materials Design, Electronique, Optique, Opto-électronique, magnétisme, Matériaux Structurels
6	Department of Materials Science and Engineering, National University of Singapore	26	Céramiques, matériaux pour l'énergie, photosynthèse artificielle, MEMS, électrochimie, nanostructures pour l'informatique et la biomédecine, polymères et matériaux hybrides pour la santé, transport de charge et de masse dans les matériaux, graphène, magnétisme, supraconductivité, théorie, mécanique, matériaux structurels, spectroscopies et microscopies électroniques
7	Materials Science and Engineering, Northwestern University	54 + 5 émér.	Art et conservation, biomatériaux, céramiques, matériaux composites, matériaux pour l'énergie, magnétisme, Electronique et photonique, synthèse et procédés, théorie, materials design, métaux, nanomatériaux, polymères, auto-assemblage, surfaces et interfaces.
8	School of Materials Science and Engineering, Nanyang Technological University	66	Biomatériaux et dispositifs Biomédicaux, Théorie des Matériaux et Materials Design, Défense, Matériaux Fonctionnels et composites, durabilité, Nanoélectronique, Nanomatériaux, et Multiferroïques
9	Department of Materials, University of Oxford	138	Matériaux structurels, matériaux pour le nucléaire, matériaux pour les dispositifs, polymères, biomatériaux, nanomatériaux, synthèse et procédés, caractérisation modélisation
10	Department of Materials Science and Engineering, Tsinghua	100	Céramiques, magnétisme, multi-ferroïques, Biomatériaux et bio-mimétisme, auto-assemblage de tissues, nanomatériaux et nanodispositifs, interaction

	University		rayonnement-matière, matériaux pour l'énergie, matériaux nucléaires, transports, théorie, simulation, modélisation
	Advanced Institute for Material Research (AIMR), Tohoku University	155	Non-Equilibrium Materials based on Mathematical Dynamical Systems, Topological Functional Materials, Multi-scale Hierarchical Materials based on Discrete Geometric Analysis, Mathematics and Materials Science

	Etablissement (gouvernemental)		
	MSD, Argonne National Laboratory	224	Théorie, matériaux émergents, conversion et stockage d'énergie, films magnétiques, matériaux moléculaires, diffusion X et neutronique, supraconductivité et magnétisme, chimie des surfaces, études synchrotron, détection et analyse des risques, imagerie 3D, ferroélectricité.
	MSD, Berkeley Laboratory	104	Nouveaux matériaux, synthèse, materials design, physique de la matière condensée, physique des matériaux, diffusion X, neutronique et instrumentation, fonderie moléculaire, photosynthèse artificielle, microscopie électronique
	MSD / NIST (Boulder, USA)	250	Nouveaux matériaux, Biomatériaux, Biomédecine et Santé, Chimie (Céramiques, métaux, inorganiques, semi-conducteurs, hybrides, nanomatériaux, polymères), Electronique, Energie, Environnement et Climat, métrologie, nanotechnologie, infrastructures physiques, sécurité, transport.
	NIMS (Tsukuba, Japon)	558	Matériaux pour l'énergie et l'environnement, nanomatériaux (nanoélectronique, nano bio-matériaux), Matériaux supraconducteurs, câbles supraconducteurs, Batteries, Pile à combustible, PV, Durabilité et Fiabilité des matériaux, Matériaux pour les Hautes Températures, Matériaux Hybrides, Optique, Electronique et Opto-électronique, matériaux magnétiques, plateforme de nanotechnologie, modélisation des matériaux, caractérisation avancée.
	International Center for materials Nanoarchitectonics (MANA), Tsukuba	180	Nano-Materials, Nano-system, Nano-Power and Nano-Life
	Institute for Integrated Cell-Materials Sciences (iCeMS), Kyoto University	250	Materials for cell control, cell inspired materials,
	Center for Emergent Matter Science (Riken, Japon)	200	strongly-correlated materials, supramolecular functional chemistry, and quantum information electronics