

HCERES

Haut conseil de l'évaluation de la recherche
et de l'enseignement supérieur

Entités de recherche

Évaluation du HCERES sur l'unité :

Centre d'Élaboration de Matériaux et d'Études
Structurales

CEMES

sous tutelle des
établissements et organismes :

Université Toulouse 3 – Paul Sabatier – UPS

Centre National de la Recherche Scientifique – CNRS

Rapport d'évaluation

Ce rapport est le résultat de l'évaluation du comité d'experts dont la composition est précisée ci-dessous.

Les appréciations qu'il contient sont l'expression de la délibération indépendante et collégiale de ce comité.

Nom de l'unité :	Centre d'Élaboration des Matériaux et d'Études Structurales
Acronyme de l'unité :	CEMES
Label demandé :	UPR
N° actuel :	8011
Nom du directeur (en 2014-2015) :	M. Alain CLAVERIE
Nom du porteur de projet (2016-2020) :	M. Alain CLAVERIE

Membres du comité d'experts

Président : M. Claude HENRY, CINAM, Marseille

Experts :

- M. Renaud BACHELOT, Université Technologique de Troyes
- M. René GUINEBRETIERE, École Nationale Supérieure de Céramique Industrielle, Limoges (représentant du CNU)
- M. Philippe PAREIGE, Université de Rouen (représentant du CoNRS)
- M. Laurent PIZZAGALLI, Université de Poitiers
- M. Vincent REPAIN, Université Paris - Diderot
- M. Olivier THOMAS, Aix-Marseille Université
- M. Jean WEISS, Université de Strasbourg

Délégué scientifique représentant du HCERES :

M. Serge BOUFFARD

Représentants des établissements et organismes tutelles de l'unité :

M. Éric BENOIST (directeur de l'École Doctorale n°482 EDSDM)

M. Giancarlo FAINI, CNRS/INP

M^{me} Virginie MAHDI, CNRS - Délégation Régionale

M. Alexis VALENTIN, Université Paul Sabatier

1 • Introduction

Historique et localisation géographique de l'unité

Le CEMES (Centre d'Élaboration de Matériaux et d'Études Structurales) est une unité propre du CNRS (UPR 8011) située à Toulouse. C'est un centre historique de microscopie électronique créé en 1957. Le laboratoire est situé sur le site du CNRS 'Gaston Dupouy' du nom de son fondateur. Il a pris le nom de CEMES en 1988 lorsqu'il s'est focalisé sur l'étude des matériaux tout en conservant son savoir-faire historique en microscopie électronique. En 2007, 14 personnes du Laboratoire de Physique des Solides de Toulouse ont rejoint le CEMES en y apportant leur expertise en optique et propriétés vibrationnelles. Aujourd'hui, l'activité du CEMES est centrée sur l'étude des propriétés physiques de nanomatériaux et de nano-objets en corrélation avec leur structure à l'échelle atomique. Ces nanomatériaux et nano-objets sont soit élaborés au CEMES soit en collaboration avec d'autres laboratoires. Actuellement le laboratoire est structuré en trois groupes de recherche :

- MC2 : matériaux sous contraintes ;
- nMat : nanomatériaux ;
- GNS : nanosciences.

Équipe de direction

L'équipe de direction est composée de M. Alain CLAVERIE (directeur, DR CNRS), M^{me} Virginie SERIN (directrice-adjointe, PR UPS, chargée des relations avec l'université), M. Michel ERRECART (secrétaire général, IR CNRS).

Nomenclature HCERES

ST2 Physique.

Effectifs de l'unité

Effectifs de l'unité	Nombre au 30/06/2014	Nombre au 01/01/2016
N1 : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés	25	26
N2 : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés	39	39
N3 : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)	39	38
N4 : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)	2	1
N5 : Autres chercheurs (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.)	9	10
N6 : Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)	5	2
TOTAL N1 à N6	119	116

Effectifs de l'unité	Nombre au 30/06/2014	Nombre au 01/01/2016
Doctorants	41	
Thèses soutenues	67	
Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	35	
Nombre d'HDR soutenues	7	
Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	44	44

2 • Appréciation sur l'unité

Avis global sur l'unité

Le CEMES est un très bon laboratoire reconnu internationalement. Il est organisé autour de trois groupes de recherche : matériaux cristallins sous contraintes, nanomatériaux et nanosciences dont les intitulés reflètent bien le cœur des thématiques de recherche du laboratoire qui concernent l'élaboration et l'étude des propriétés physiques des nanomatériaux et des nano-objets. Pour ces études, le CEMES s'appuie sur une instrumentation de tout premier plan et souvent unique comme la microscopie électronique holographique (microscope I2TEM) et la microscopie à champ proche à basse température (STM 4-pointes arrivé en 2014) pour lesquels le CEMES participe à leur développement. Le CEMES a également bénéficié ces dernières années d'un soutien financier exceptionnel (Contrat Programme État-Région CPER 'Gaston Dupouy', Equipex 'MIMETIS') qui lui ont permis d'acquérir de nouveaux équipements de pointe, de complètement rénover les bâtiments préexistants et de construire le nouveau bâtiment PICOLAB qui contient 600 m² de salle blanche avec des nouveaux outils performants de nano- et micro-fabrications. Les recherches menées au CEMES sont en général d'excellente qualité et sont caractérisées par un fort caractère interdisciplinaire (physique/chimie) et un bon couplage expérience/théorie. Les projets du CEMES sont ambitieux et utilisent au mieux les nouveaux équipements du laboratoire. L'interaction du CEMES avec l'Université Paul Sabatier est très bonne en particulier à travers le Labex NEXT et le projet nano-X.

Points forts et possibilités liées au contexte

Une des grandes forces du CEMES est la présence d'instruments remarquables et uniques comme le microscope électronique holographique I2TEM dont la réalisation par le constructeur a bénéficié des développements entrepris au CEMES depuis une dizaine d'années dans ce domaine. De même, l'AFM-STM 4-pointes nouvellement arrivé complète l'équipement du nouveau bâtiment PICOLAB dans le domaine de la manipulation d'atomes et de molécules sur des surfaces pour l'étude de leurs propriétés. Ces nouveaux équipements ont largement bénéficié du dernier CPER 'Gaston Dupouy' et de l'Equipex 'MIMETIS'. Ces équipements de pointe apportent au CEMES un grand nombre de collaborations tant au niveau national qu'international.

Un autre grand succès du CEMES est le développement des études en nano-optique entreprises il y a sept ans avec la venue d'un groupe du LPST (Laboratoire de Physique du Solide de Toulouse) qui s'est parfaitement intégré et a considérablement développé cette thématique en particulier sur le couplage entre les propriétés acoustiques et optiques à l'échelle nanométrique.

Le CEMES possède un leadership incontesté au niveau national et international dans le domaine de la microscopie électronique (acteur important dans le montage et la gestion des réseaux de microscopie METSA et ESTEEM) et des nanosciences (satellite du programme MANA du NIST, accord de coopération avec NAIST).

De plus, le CEMES est fortement impliqué dans la diffusion de la culture scientifique.

Points faibles et risques liés au contexte

Le CEMES est divisé en trois groupes assez autonomes, de tailles inégales, qui ont tendance à n'utiliser chacun qu'une partie des moyens du laboratoire. Le laboratoire gagnerait à développer une plus grande synergie entre les groupes. La combinaison des équipements de pointe en microscopie électronique et en microscopie à sonde locales, rarement présents simultanément dans un même laboratoire, ouvre en effet un champ d'investigation fantastique, situation qui est assez rare au niveau mondial.

Cette synergie entre les groupes devrait se faire aussi par une politique scientifique forte au niveau du laboratoire à travers ses instances (conseil de laboratoire, conseil scientifique), ce qui n'est pas apparu clairement au comité d'experts.

L'activité du CEMES a tendance à se disperser, sans doute à cause des nombreuses collaborations avec des laboratoires qui souhaitent utiliser les instruments uniques du CEMES et probablement aussi à cause de la multiplication des contrats de recherche. Cette dispersion a tendance à nuire à la cohérence de la recherche menée dans les groupes.

Le CEMES possède un patrimoine immobilier neuf ou récemment rénové et de niveau exceptionnel dont la maintenance risque de gréver le budget du laboratoire (hors contrat de recherche). De plus, il faudra assurer le remplacement du personnel d'infrastructure qui va partir en retraite dans les prochaines années.

Recommandations

Le comité d'experts recommande au CEMES :

- de continuer les efforts entrepris en développement instrumental (projet FemtoTEM, mesures in situ en microscopie électronique à transmission, nano-spectroscopie) ;
- de réfléchir à la pérennité de la structuration actuelle du laboratoire en trois groupes ;
- d'impliquer plus efficacement les responsables des groupes dans l'établissement de la politique scientifique du CEMES dans son ensemble et non plus uniquement à l'intérieur des groupes ;
- de développer les collaborations entre les groupes pour l'utilisation des moyens expérimentaux de pointes et en particulier pour les outils de nano- et micro-fabrication présents à PICOLAB ;
- de veiller à maintenir la cohérence des recherches dans les groupes en évitant une dispersion thématique trop grande ;
- de se doter d'un comité de suivi des thèses.

3 • Appréciations détaillées

Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

Le CEMES mène une recherche de grande qualité sur l'étude de la structure et des propriétés des matériaux et particulièrement des nanomatériaux. C'est dans le domaine des nanomatériaux et des nano-objets que les avancées sont les plus importantes. Ces avancées sont dues en particulier à la présence d'outils remarquables et parfois uniques. Ces outils sont d'abord des microscopes électroniques à transmission parmi les plus avancés : correcteur d'aberration pour une résolution ultime, pertes d'énergie et images filtrées pour l'analyse chimique à l'échelle atomique et surtout l'holographie électronique qui permet l'étude des lignes de champ électriques ou magnétiques et l'étude des déformations à l'échelle nanométrique. Une des forces du CEMES est sa capacité à développer les techniques de microscopie électronique. Le plus bel exemple est le microscope holographique I2TEM, unique au monde, qui a été conçu par le CEMES. On peut aussi citer les développements de porte-objets spécifiques pour des mesures in situ sous contrainte extérieure. Le CEMES conserve un leadership au niveau mondial en microscopie électronique.

Au niveau des microscopies à sonde locales, le CEMES est équipé de microscopes à effet tunnel (STM) sous ultravide travaillant soit à température ambiante soit à très basse température et de microscopes à force atomique (AFM) sous ultravide en mode non contact. Mais surtout, depuis peu, il est équipé d'un remarquable système à quatre pointes (AFM et STM) à basse température qui permettra des mesures de conduction sur des molécules isolées. Grâce à une approche intégrée et pluridisciplinaire (conception, synthèse, manipulation et mesures sur des molécules individuelles, modélisation) le CEMES est un leader au niveau mondial des machines moléculaires.

Ces dernières années, le CEMES a également étendu sa renommée au domaine de la nano-optique. Ses travaux sur le couplage entre les propriétés acoustiques et optiques et sur les plasmons dans des nano-objets sont remarquables. Le projet Femto-TEM va certainement créer une véritable synergie entre les études en microscopie électronique à transmission (MET) et celles en nano-optique.

Le CEMES a une très bonne production scientifique en termes de publications. Sur cinq ans (2009-2013), il a produit 634 publications (certaines publications dans le rapport qui sont des actes de congrès n'ont pas été comptées) ce qui fait un taux de publications 1,95/chercheur/an (ou 2,35/ETP/an) qui est équivalent à celui du précédent contrat (2,08/chercheur/an). Par contre le facteur d'impact moyen des articles a augmenté. Le pourcentage actuel de publications dans des journaux à facteur d'impact supérieur à 7 est de 11 % alors qu'il était de 9 % dans le rapport précédent. Le taux de publication est homogène pour les différents groupes.

Appréciation synthétique sur ce critère

La production scientifique du CEMES est très bonne tant en qualité qu'en quantité. Les développements expérimentaux récents et la création du PICOLAB offrent des possibilités nouvelles qui devraient encore renforcer la position du laboratoire au niveau national et international.

Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

Le rayonnement du CEMES tant au niveau national qu'au niveau international est excellent. Le CEMES joue toujours un rôle moteur au niveau de la microscopie électronique à transmission. Au niveau français, il a géré jusqu'en 2012 le réseau METSA. Il a obtenu l'Equipex 'MIMETIS' qui lui a permis de s'équiper d'un microscope électronique à transmission holographique unique au monde (I2TEM). Au niveau international, il coordonne les réseaux européens ESTEEM puis ESTEEM2 qui relient les principaux centres de microscopie électronique en Europe et permet également l'accès à des équipements de pointe.

En dehors de ces réseaux de laboratoires le CEMES a coordonné trois contrats européens durant la période évaluée et un ERANET. Un des chercheurs du CEMES a obtenu un financement de l'European Research Council (ERC - 2008-2013). Les chercheurs du CEMES ont donné 181 conférences invitées dans des congrès internationaux soit une moyenne de 0,56 par chercheur permanent et par an (0,67/ETP/an). Ses conférences invitées sont assez bien réparties puisque 45 chercheurs sur 65 en ont donné au moins une. Elles sont également bien réparties sur les trois groupes avec, cependant, un taux légèrement supérieur pour GNS. Le CEMES entretient des liens fructueux avec plusieurs laboratoires internationaux renommés. On notera en particulier le [National Institute for Materials Science](#) (NIMS) à Tsukuba et l'Université de Saragosse à travers le laboratoire international associé LIA 'TALEM'. Le laboratoire

a reçu 20 chercheurs étrangers depuis 2009 ; on aurait pu espérer plus compte tenu du nombre de contrats et collaborations internationaux.

Au niveau national, le CEMES dirige le groupement de recherche GDR 'NACRE' et il est impliqué dans le pilotage du GDR 'MECANO' qui maintenant est devenu un groupement de recherche international (GDRI). Deux chercheurs permanents ont été distingués : l'un a reçu le prix BESSEL de l'Alexander Von Humbolt Foundation et l'autre a été nommé membre junior de l'Institut Universitaire de France.

Par ailleurs, le CEMES a été particulièrement efficace au niveau des projets de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR). Durant la période examinée, il a obtenu 43 nouveaux contrats dont 14 comme coordinateur. Le CEMES est fortement impliqué dans la politique de site sur Toulouse en particulier à travers le Labex NEXT qui regroupe les laboratoires de physique toulousains et à travers des collaborations continues par exemple avec le Laboratoire de Chimie de Coordination (LCC) et le Laboratoire de Physique et de Chimie des Nano-Objets (LPCNO) et aussi plus récemment avec le Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (LAAS).

Un autre point remarquable a été la construction du PICOLAB grâce au dernier CPER 'Gaston Dupouy' qui offre une plateforme de nanoscience et de nanotechnologie exceptionnelle avec ses équipements de premier ordre qui couplent les techniques les plus avancées en microscopie à sonde locale avec les techniques de nano- et micro-fabrication ce qui permet l'observation et la manipulation d'atomes et de molécules et leur interconnexion. Le CPER 'Gaston Dupouy' a également permis d'équiper le laboratoire d'une plateforme de nano-spectroscopie optique remarquable. Une plateforme (NANO-X) regroupant les techniques d'analyse par rayons-X est en train de se monter en partenariat avec des laboratoires toulousains (CEMES, LCC, LPCNO, CIRIMAT). Cette opération de mutualisation de moyens renforcera les liens entre les laboratoires toulousains, c'est une excellente initiative.

Appréciation synthétique sur ce critère

Le rayonnement du CEMES au niveau national et international est excellent. Il coordonne plusieurs réseaux nationaux et internationaux dans le domaine de la microscopie électronique à transmission, il pilote plusieurs réseaux européens dans le domaine des nanosciences et il est couplé avec plusieurs laboratoires de renommée mondiale.

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

Le CEMES interagit notablement avec le tissu économique comme l'indique les nombreux contrats industriels (surtout des bourses CIFRE) avec des entreprises de la microélectronique (ST-Microelectronics, SOITEC) et de l'aéronautique (ONERA, AIRBUS, SNECMA). Le nombre de brevets depuis 2009 (16) est en forte augmentation par rapport à la dernière évaluation (10). La Start-Up 'PYLOTE' créée lors du précédent quadriennal est devenue une entreprise autonome et une nouvelle a été créée ('CHROMALYS'). Ces faits attestent d'un fort développement de la culture de l'innovation.

Le CEMES a un très fort impact au niveau de la diffusion du savoir scientifique grâce à son implication dans des conférences, des films, des interventions à la radio, des articles ou des livres.

Appréciation synthétique sur ce critère

Bien que le CEMES mène une recherche de type fondamental, il a une forte interaction avec le tissu économique local et national. De plus, le CEMES mène une action volontariste de diffusion scientifique et technique par de nombreux médias. Le CEMES a donc des actions tout à fait remarquables que ce soit dans le domaine de l'innovation ou dans celui de diffusion de la culture scientifique.

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

Le laboratoire est structuré en trois groupes. Les groupes MC2 et GNS ont des tailles équivalentes et le groupe nMat est deux fois plus important. Cette différence de taille ne devrait pas en principe poser de problème. Chaque groupe à une activité centrale bien identifiée avec, cependant, quelques recouvrements entre groupes. Ces recouvrements thématiques sont a priori positifs s'ils résultent d'une politique scientifique globale établie au niveau du laboratoire. Mais chaque groupe mène une vie scientifique interne autonome et les interactions avec les autres groupes semblent plus être le fait des individus ou du partage d'instruments communs. Les ressources mutualisées comme les microscopes électroniques sont utilisées essentiellement par les groupes MC2 et nMat et au contraire les

microscopies à sonde locale restent l'apanage du groupe GNS. Il manque donc une structure amont d'animation scientifique transversale qui pourrait inciter à une plus grande synergie entre les groupes ou encore faciliter l'émergence d'un nouveau groupe.

Les responsables des groupes font partie des instances du laboratoire (conseil de laboratoire et conseil scientifique) mais ils ne semblent pas jouer le rôle de conseiller auprès de la direction pour déterminer la politique scientifique globale du laboratoire.

Le comité d'experts suggère que le laboratoire réfléchisse collectivement sur l'organisation actuelle du laboratoire en trois groupes et sur une refonte de ses instances permettant un dialogue plus ouvert et constructif entre la direction et les groupes de recherche.

Appréciation synthétique sur ce critère

Le laboratoire est structuré en trois groupes qui ont une politique scientifique bien affirmée mais il manque une structure reconnue et efficace qui élabore avec la direction la politique scientifique du laboratoire et dans laquelle les responsables des groupes joueraient un rôle actif.

Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

Les chercheurs du CEMES ont encadré au cours des sept dernières années 105 doctorants qui ont soutenu leur thèse ce qui fait un taux de 0,23 thèse par chercheur et par an. Ce chiffre pourrait être amélioré mais il reste dans la moyenne des laboratoires français.

Il règne une très bonne ambiance au sein des doctorants. L'entretien que le comité d'experts a eu avec leurs représentants, n'a pas permis de déceler de soucis au niveau de l'encadrement ou de la vie sociale et scientifique au sein du laboratoire. En revanche, il n'y a pas de comité de suivi des thèses, il serait judicieux d'en créer un comme cela existe dans beaucoup de laboratoires.

L'École Doctorale Sciences de la Matière (EDSDM) à laquelle est rattaché le CEMES a été présentée par un de ses responsables, membre du CEMES. La durée moyenne des thèses est de 39 mois. Les doctorants exposent leur travail lors de la journée annuelle de l'ED. Le CEMES a en moyenne trois contrats doctoraux du ministère par an venant de l'ED. Les autres doctorants sont financés par des contrats ANR ou CIFRE. L'insertion des docteurs formés au CEMES est très bonne (42 % ont trouvé un poste dans l'enseignement supérieur ou la recherche).

Appréciation synthétique sur ce critère

Le taux d'encadrement de doctorants est assez faible mais reste dans la moyenne nationale. Le déroulement des thèses se passe bien et les doctorants se sentent bien intégrés dans le laboratoire. L'insertion des doctorants après la thèse est très bonne. Le comité d'experts juge qu'il serait bon que le laboratoire se dote d'un comité de suivi des thèses.

Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

Le projet du CEMES pour les cinq prochaines années est basé essentiellement sur la continuité des travaux en cours avec, cependant, des développements instrumentaux qui permettront de nouvelles avancées.

Ces développements concernent la microscopie électronique et la spectroscopie optique. Des nouvelles possibilités d'études par microscopie électronique à transmission vont s'ouvrir grâce au développement de nouveaux porte-échantillons permettant l'application in situ de stimuli extérieurs (champ électrique, champ magnétique, courant électrique, contrainte mécanique) et la possibilité de très basses températures. Ces développements se font en synergie entre les groupes nMat et MC2. Un autre développement expérimental important est le projet FemtoTEM qui est déjà entamé et partiellement financé par le CNRS. Il consiste à émettre des impulsions brèves d'électrons cohérents par un canon à émission froide sous l'effet d'une impulsion laser femtoseconde. Il devient alors possible d'imager des cinétiques rapides et de réaliser des expériences de type pompe-sonde.

Au niveau de la spectroscopie optique, les développements consistent à utiliser l'exaltation du champ électrique sous une pointe pour réaliser de la spectroscopie TERS (Tip Enhanced Raman Spectroscopy) et de l'imagerie

en proche infrarouge à l'échelle nanométrique. Ces développements se font en collaboration entre les groupes nMat et MC2 et pourraient être financés par le nouveau CPER.

L'acquisition de nouveaux moyens de synthèse de nanomatériaux par dépôt laser pulsé (PLD) pour la synthèse de films minces et d'agrégats est programmée. De même, il est prévu de rénover l'instrument d'implantation ionique qui offre la possibilité assez unique de faire des implantations à très faible énergie. Le développement prévu de nanolithographie par faisceau d'électrons et d'ions sur PICOLAB apportera des possibilités de nano-fabrication et de connexion de nano-objets qui devraient profiter à l'ensemble du laboratoire. Sur PICOLAB également, l'arrivée très récente d'un STM à 4 pointes à très basse température aux performances uniques permettra des mesures de transport sur une molécule unique (projet GNS). Il serait souhaitable à terme que cet instrument puisse accueillir des projets d'autres groupes.

Le projet du CEMES est ouvert sur les laboratoires toulousains (LCC, LPCNO, CIRIMAT) à travers le projet pour le nouveau CPER 'NANOMAT' et aussi à travers le projet 'nano X' qui vise à coordonner et mutualiser les instruments d'études par rayons X sur Toulouse.

La cohérence du projet global du laboratoire à cinq ans repose sur la continuité des études en cours mais il souffre d'un manque de stratégie globale et d'une grande dispersion des sujets. Sa faisabilité par contre ne semble pas poser de problème.

Appréciation synthétique sur ce critère

Le projet à cinq ans du CEMES consiste essentiellement à développer les projets en cours qui sont de très bons niveaux. Il s'appuie également sur des développements expérimentaux originaux en microscopie électronique à transmission, en spectroscopie optique, en microscopie à sonde locale et sur l'acquisition de nouveaux outils de synthèse de nanomatériaux dont le financement semble acquis. Il est dommage que le projet s'appuie essentiellement sur les compétences de chacun des groupes sans profiter d'une synergie entre groupes.

4 • Analyse équipe par équipe

Équipe 1 :

MC2 : Matériaux Cristallins sous Contraintes

Nom du responsable : M^{me} Marie-José CASANOVE

Effectifs

Effectifs de l'équipe	Nombre au 30/06/2014	Nombre au 01/01/2016
N1 : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés	6	7
N2 : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés	12	11
N3 : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)		
N4 : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)	1	1
N5 : Autres chercheurs (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.)		1
N6 : Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)		
TOTAL N1 à N6	19	20

Effectifs de l'équipe	Nombre au 30/06/2014	Nombre au 01/01/2016
Doctorants	10	
Thèses soutenues	17	
Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	3	
Nombre d'HDR soutenues	2	
Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	13	15

• Appréciations détaillées

Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

Généralités

L'équipe « Matériaux Cristallins sous Contraintes » (MC2) était composée de 12 chercheurs et 6 enseignants-chercheurs sur la période évaluée, soit 15 ETPR. Au début du prochain contrat quinquennal, elle sera constituée de 11

chercheurs et 7 enseignants-chercheurs. Son activité est centrée sur l'étude des matériaux sous contrainte mécanique (élasticité, plasticité, mécanismes de relaxation, couplage contrainte-composition aux interfaces...). Elle repose pour l'essentiel sur un savoir-faire remarquable en microscopie électronique en transmission avec en particulier une expertise exceptionnelle sur les essais mécaniques in situ. Il existe un bon équilibre entre théorie et expérience dans le groupe même si le couplage n'est pas toujours fait en interne. L'activité est présentée en trois thèmes : (1) Surface interface et nano-objets, (2) Propriétés mécaniques des matériaux cristallins, (3) Synthèse des matériaux.

La production du groupe MC2 est abondante (197 publications sur cinq ans soit 1,8 articles/chercheur/an ou 2,0 articles/ETPR/An) et de qualité. Une proportion significative des articles est publiée dans des revues de très bon niveau. 7 % des publications sont dans des revues à impact facteur supérieur à 7 (Physical Review Letters, Nature Materials...), chiffre en forte augmentation par rapport au contrat précédent.

Thématique 1 : Surface, interface, nano-objets

Cette thématique est déclinée en cinq sous-thèmes eux-mêmes comportant chacun plusieurs actions de recherche. Cette segmentation donne l'impression d'une trop grande dispersion. En effet, le cœur de cette thématique est l'étude des déformations élastiques dans des nano-objets (films, nano-particules, nanofils, ...). Ceci concerne plus particulièrement les sous-thèmes « Interfaces épitaxiales » et « Effets de taille et propriétés mécaniques des nano-objets ». Leurs outils privilégiés sont la microscopie électronique à haute résolution et la spectroscopie Raman, avec un support en simulation numérique. Ces activités sont d'un excellent niveau et très bien reconnues par la communauté.

Les trois autres sous-thèmes regroupent des activités de recherche très diverses, comprenant par exemple la nanostructuration acoustique de surface, la modélisation numérique d'arrangements moléculaires sur des surfaces, la caractérisation structurale de nano-particules (cœur-coquille en particulier), et le développement de méthodes originales de microscopie électronique (en fort recouvrement avec nMAT). Globalement, ces activités bénéficient d'une bonne reconnaissance, et font l'objet de publications de qualité. Cependant, plusieurs d'entre elles paraissent peu connectées au cœur de métier de l'équipe MC2 (notion de contrainte inexistante par exemple). C'est le cas par exemple des activités relevant de la chimie (expérimentales ou théoriques). De plus, les concepts et méthodes utilisés ne semblent pas vraiment diffuser vers d'autres thématiques de l'équipe.

De manière générale, la production scientifique est abondante (95 publications) et d'un bon, voire très bon, niveau (Physical Review Letters, Advanced Functional Materials, Journal of the American Chemical Society, Physical Review B, Applied Physics Letters). 26 publications sont communes avec les deux autres équipes du CEMES (essentiellement nMAT). On remarque une grande diversité dans les journaux scientifiques, ce qui s'explique par la relative hétérogénéité thématique. Enfin, ces recherches sont réalisées dans le cadre de nombreuses collaborations internationales ou nationales.

Thématique 2 : Propriétés mécaniques des matériaux cristallins

Cette activité de recherche porte sur la plasticité des métaux et alliages et se décline à travers quatre sous-thèmes fortement connectés : (i) Développements expérimentaux ; (ii) Mécanismes élémentaires ; (iii) Plasticité aux petites échelles ; (iv) Matériaux pour l'aéronautique. Les développements expérimentaux sur les essais mécaniques in situ dans un microscope électronique en transmission constituent un savoir-faire déjà ancien dans l'équipe mais sont en constant renouvellement (développement récent des essais mécaniques à hautes températures, supérieures à 1100°C par exemple). Ce socle expérimental remarquable est à l'origine de nombreuses collaborations internationales (Université Catholique de Louvain, John Hopkins University, Pennsylvania University...) et d'avancées originales (plasticité des métaux cubiques centrés, rôle des joints de grains dans la déformation plastique des matériaux nanocristallins, ...). La modélisation du mécanisme de cisaillement aux joints de grain est un très bel exemple d'un couplage réussi entre théorie et expérience. A côté de ces études fondamentales, la thématique « matériaux pour l'aéronautique » porte sur l'étude des mécanismes de déformation plastique des nouveaux alliages utilisés en aéronautique. Elle s'appuie sur le savoir-faire du groupe en microscopie électronique et sur des relations anciennes et pérennes avec les industriels de l'aéronautique. Dans un cas, les alliages intermétalliques sont élaborés par frittage flash. Ce procédé conduit à la formation de microstructures originales encore mal connues qui sont ici reliées aux propriétés mécaniques.

La production scientifique associée à cette thématique est de très bon niveau : 100 publications sur la période (dont un Nature Materials, deux Physical Review Letters). L'impact des travaux de cette thématique est par ailleurs très significatif. A titre d'exemple des travaux publiés au début de la période de référence sont déjà largement cités (l'article dans Nature Materials de 2009 sur l'étude de la nucléation et l'annihilation des dislocations dans des cristaux

d'aluminium submicroniques est cité 129 fois et celui dans Acta Materialia de 2009 sur le couplage entre la migration d'un joint de grains et la déformation est cité 58 fois).

Thématique 3 : synthèse des matériaux

Il s'agit d'une activité de chimie du solide avec une double approche de cristallographie et d'élaboration. Trois sujets de recherche ont été abordés durant la période évaluée. Le premier thème concerne l'étude des oxydes conducteurs ioniques. Une étude a notamment été réalisée sur les conducteurs ioniques au sodium qui sont des remplaçants potentiels des conducteurs au lithium dans les batteries. Les deuxième et troisième sujets s'appuient sur l'élaboration de matériaux par frittage flash, l'un concerne explicitement l'étude du frittage selon ce procédé et l'autre porte sur l'élaboration de batteries tout solide. Sur la période, la thématique a produit 25 publications dans une variété très large de journaux (énergie, archéométrie, physique, optique, chimie des matériaux...). On note quelques revues à facteur d'impact élevé (Advanced Functional Materials, Advanced Energy Materials).

Cette thématique apparaît assez déconnectée du cœur de métier du groupe MC2. Le départ de quatre chercheurs durant la période a conduit à l'arrêt de cette thématique.

Appréciation synthétique sur ce critère

La production du groupe MC2 est abondante et de très bonne qualité. Le groupe MC2 mène des recherches originales sur les matériaux sous contrainte en utilisant des techniques de microscopie électronique avancées et en particulier in situ qui font la renommée du CEMES. Cependant la dispersion importante des sous-thématiques nuit à la cohérence de la recherche menée dans le groupe.

Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

Le groupe MC2 est très actif au niveau local (vice-présidence du conseil scientifique de l'Université Paul Sabatier) et national (présidence du conseil scientifique de l'Institut de Physique du CNRS). Il a été un des fondateurs du GDR MECANO (2008–2011) et de son extension internationale (GDRI, 2012–2105) qui fédèrent les recherches sur les propriétés mécaniques des nano-objets. On note par ailleurs une excellente implication dans les instances et les programmes locaux et nationaux, que ce soit en tant que participant ou leader (participation à 26 contrats ANR dont 4 en tant que coordinateur). Le groupe MC2 est également très actif dans l'organisation de conférences / symposiums / écoles, avec une portée internationale. Le rayonnement international du groupe est également visible à travers les conférences invitées à des conférences internationales (en moyenne 0,56/ETP/an) qui sont assez bien réparties entre les différents chercheurs et en particulier entre chercheurs seniors et juniors. On note également qu'un des permanents de MC2 a été sélectionné comme membre junior IUF et qu'un autre a reçu le prix Bessel de la Fondation Von Humboldt.

Appréciation synthétique sur ce critère

Le groupe MC2 fait preuve d'une excellente reconnaissance nationale et internationale, tout particulièrement sur l'étude de la plasticité des métaux et alliages par microscopie électronique in situ. L'implication de l'équipe dans les instances locales et nationales à un niveau élevé de responsabilités est également remarquable.

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

Bien que souvent de nature essentiellement fondamentale les travaux de recherche menés dans le groupe donnent également lieu à des valorisations pertinentes à travers des collaborations avec des partenaires industriels. On peut mettre en avant les partenariats historiques dans le domaine de l'aéronautique (Airbus, Aubert & Duval, Snecma...). L'activité de recherche sur la synthèse et la mise en forme d'alliages Ti-Al ou Nb-Si par frittage flash a donné lieu à deux brevets dont l'un est sous licence. Par ailleurs, le savoir-faire unique en MET in situ du groupe MC2 conduit au développement de nouveaux porte-objets spécialisés dans le cadre de réseaux européens (Projet ESTEEM1 et ESTEEM2 (Enabling Science and Technology through European Electron Microscopy)).

Appréciation synthétique sur ce critère

L'équipe MC2 a un partenariat historique avec les industries aéronautiques qui s'appuie sur ses compétences en plasticité et sa maîtrise des techniques de microscopie électronique en transmission. Ces collaborations donnent lieu

à des valorisations intéressantes et ont une grande pertinence en regard de la localisation géographique du laboratoire. Son interaction avec le monde socio-économique est donc du meilleur niveau.

Appréciation sur l'organisation et la vie de l'équipe

Le groupe MC2 a une taille qui lui permet encore une organisation assez informelle. Toutefois, la diversité des thématiques abordées mériterait une vie scientifique plus formalisée afin de favoriser la diffusion des concepts et techniques et éviter une trop grande dispersion des sujets.

Le comité d'experts a été sensible à la bonne ambiance qui règne manifestement au sein de l'équipe et à la remarquable intégration des jeunes chercheurs, conséquence d'une politique volontariste. Les présentations scientifiques des jeunes chercheurs lors de la visite montrent l'émergence de talents prometteurs.

Appréciation synthétique sur ce critère

L'intégration des jeunes chercheurs dans l'équipe et l'ambiance qu'il y règne sont remarquables. Toutefois, une organisation de la vie scientifique de l'équipe plus formelle permettrait de mieux faire diffuser les concepts et techniques au sein du groupe.

Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

Durant la période considérée le groupe MC2 a encadré 27 doctorants dont 17 ont soutenu leur thèse et 12 post-doctorants. Un des membres du groupe est impliqué dans la direction de l'école doctorale.

Appréciation synthétique sur ce critère

L'implication du groupe MC2 dans le domaine de l'encadrement de doctorants et post-doctorants est bonne par rapport à la moyenne des laboratoires français.

Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

Les projets scientifiques du groupe MC2 peuvent être classés dans deux catégories, ceux qui s'inscrivent dans la continuité des travaux en cours, et ceux qui présentent un développement original.

Ainsi, les deux grandes thématiques du groupe : (i) Surface, Interface et Nano-Objets et (ii) Physique de la plasticité, seront continuées et renforcées.

La thématique « Surface, Interface et Nano-Objets » va continuer à aborder la formation des interfaces dans diverses hétérostructures (InAs/AISb et FePt/MgO en collaboration avec les laboratoires Fonctions Optiques pour les TélécommunicatiONs (FOTON) de Rennes et Research Center of Laser Fusion (RCLF) de Mianyang, Chine. La poursuite des recherches concernant l'organisation en surface par voie acoustique, toujours par des méthodes analytiques et numériques, est proposée. Il serait appréciable de prospecter d'éventuels partenaires permettant d'explorer la réalisation expérimentale afin de valider l'approche théorique. Il est proposé d'étendre l'étude des propriétés optiques et vibrationnelles pour des nanofils composés d'alliages ternaires (Al,Ga)N. Ces études sont reliées au développement de techniques spectroscopiques utilisant l'exaltation de champ par une nanopointe (projets TERS et nano-FTIR en collaboration avec le groupe nMAT). Enfin, les recherches sur les nanoparticules métalliques cœurs/coquilles seront poursuivies, avec une attention particulière concernant l'effet de la morphologie et du facettage pour des applications en magnétisme. Dans le cas de la synthèse de nanoparticules par voie chimique (collaboration avec LCC) le rôle des ligands sur la morphologie sera étudié expérimentalement et soutenu par des calculs DFT. Ici aussi, les compétences et l'historique des différents groupes laissent à penser que ces projets seront menés à bien sans difficultés majeures.

Pour ce qui concerne la thématique « Physique de la plasticité », il est proposé de continuer des essais mécaniques in situ dans un microscope électronique en transmission tout en développant un porte-objet descendant à la température de l'hélium liquide qui permettra l'étude de l'influence des effets quantiques sur la mobilité des dislocations dans les métaux de structure cubique centré et hexagonal compact. Par ailleurs, un projet ambitieux vise à étudier la mobilité des joints de grains sous contrainte en microscopie électronique à haute résolution. Le savoir-faire des chercheurs de l'équipe permet d'être optimiste sur leur capacité à mener à bien ces nouveaux

développements. L'activité sur les propriétés mécaniques des alliages pour l'aéronautique, plus proche des applications, se poursuit en particulier dans le cadre de l'IRT « Saint Exupéry ». Trois familles d'alliages seront étudiés : les alliages à base titane, les alliages d'aluminium durcis et les superalliages à base nickel. Enfin l'activité sur le frittage flash se poursuit toujours dans deux directions : la compréhension du mécanisme de frittage avec l'exploration du rôle de l'électromigration et la valorisation vers le milieu industriel des alliages développés.

L'absence de projet sur la thématique « Synthèse des Matériaux » semble confirmer l'arrêt de cette activité.

Les nouveaux développements sont centrés sur les projets associés à trois nouveaux chercheurs arrivant dans le groupe et au projet IUF d'un chercheur de l'équipe. Ces projets concernent : l'étude de superalliages à base nickel en conditions proches des conditions de service ; l'étude de l'interaction entre des nanoparticules d'or et des molécules d'antibiotiques par des approches numériques ; la synthèse de nanoparticules. Outre le fait que le greffage de molécules d'antibiotiques sur des nanoparticules pour vaincre les bactéries résistantes soit un sujet très compétitif, ce nouveau sujet accroît encore la dispersion des thématiques.

Enfin le projet IUF concerne, en collaboration avec l'équipe nMAT, le développement d'un dispositif d'holographie électronique in situ visant plus particulièrement à la cartographie de champs électriques et magnétiques.

Les projets de l'équipe MC2 sont nombreux et sont - pour certains - ambitieux. On peine toutefois à déchiffrer la stratégie scientifique du groupe qui semble parfois être la somme des projets de ses chercheurs.

Appréciation synthétique sur ce critère

Le dynamisme de l'équipe MC2 est indéniable et les projets sont nombreux. Toutefois, la stratégie présentée résulte plus de la somme des projets que d'une stratégie scientifique commune. Une démarche plus collective permettrait de rassembler les forces sur les sujets qui font la réputation du groupe et d'éviter la dispersion thématique.

Conclusion

▪ Points forts et possibilités liées au contexte

- la recherche est de très bonne qualité voire excellente pour la partie plasticité ;
- la force de frappe du groupe MC2 en MET in situ est un atout indéniable pour pousser les thématiques au plus haut niveau ;
- le couplage théorie-expérience est remarquable sur certains sujets ;
- l'ambiance est très favorable à l'épanouissement des jeunes chercheurs ;
- l'équipe a recruté de jeunes chercheurs de talent.

▪ Points faibles et risques liés au contexte

L'équipe a trop de sujets de recherche conduisant à une trop grande dispersion thématique.

▪ Recommandations

Le comité d'experts recommande à l'équipe :

- de limiter la dispersion thématique ;
- d'affiner sa stratégie scientifique pour regrouper les forces sur ses thèmes forts ;
- d'organiser plus formellement sa vie scientifique.

Équipe 2 : nMAT : nanomaterials

Nom du responsable : M^{me} Caroline BONAPOS - M. Étienne SNOECK

Effectifs

Effectifs de l'équipe	Nombre au 30/06/2014	Nombre au 01/01/2016
N1 : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés	13	13
N2 : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés	16	17
N3 : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)		
N4 : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)		
N5 : Autres chercheurs (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.)		
N6 : Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)		
TOTAL N1 à N6	29	30

Effectifs de l'équipe	Nombre au 30/06/2014	Nombre au 01/01/2016
Doctorants	27	
Thèses soutenues	33	
Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	31	
Nombre d'HDR soutenues	3	
Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	21	22

• Appréciations détaillées

Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

Généralités

Le groupe nMAT comprend 29 chercheurs et enseignants-chercheurs (16 CNRS). Son activité est centrée sur la synthèse, la caractérisation et les propriétés des nanomatériaux. La présentation de cette activité a été divisée en sept parties.

Le groupe nMAT est le plus important groupe du CEMES en termes de taille et de variété thématique. Il comprend 30 chercheurs et enseignants-chercheurs (17 CNRS) soit près de 44 % des effectifs du CEMES concernant cette catégorie de personnel. L'activité du groupe est centrée sur la synthèse, la caractérisation et les propriétés des nanomatériaux. Elle s'articule autour de huit thématiques scientifiques très variées (voir description plus loin) et quatre domaines de compétence : matériaux, expériences, modélisation, instrumentation. Par ailleurs, quatre activités transverses sont clairement affichées : microscopie électronique à transmission, spectroscopies optiques, fabrication, nanotechnologie. Bien que certaines thématiques apparaissent comme de véritables « groupes dans le groupe », les huit thématiques ne constituent pas des équipes ou sous groupe au sens strict du terme car chacune d'entre elles est ouverte à tous les membres du groupe. Elles constituent plutôt une organisation informelle des activités scientifiques de nMAT.

La production de nMAT est très bonne (2,1 articles par personne/an soit 2,7 articles/ETP/an). Les articles sont publiés dans des journaux de haut niveau : 13 % le sont dans des revues à facteur d'impact supérieur à 7 et près de 70 % dans des revues à facteur d'impact supérieur à 2.

Les sept thématiques confèrent au groupe un caractère fortement multidisciplinaire.

Thématique 1 : Nanomatériaux pour l'électronique (ELEC)

Cette thématique concerne l'observation, la quantification, la compréhension et la modélisation de nouvelles structures pour l'électronique. Elle repose sur un socle fort de compétences uniques dans les domaines de l'implantation ionique, des phénomènes de diffusion/réaction et de précipitation ainsi que les effets des contraintes. Pour mener ces études, les chercheurs impliqués exploitent des compétences expérimentales de haut niveau et développent de nouvelles techniques d'études (de reconnaissance internationale), particulièrement dans le domaine de la microscopie électronique en transmission. Ces compétences de recherches fondamentales sont fortement mises au service de partenaires industriels au travers de nombreuses collaborations et de transferts technologiques et valorisations. Les travaux permettent des avancées dans le domaine de la nanoélectronique et sont transférés vers les partenaires très rapidement, de même que les approches expérimentales font actes dans le domaine de la microscopie. Les résultats donnent lieu à un grand nombre de publications où l'on retrouve malgré tout assez peu souvent les doctorants. Les travaux font références dans de nombreux domaines autant sur le plan du transfert et de la valorisation auprès des partenaires industriels (12 brevets) que sur le plan des activités de recherches académiques nationales ou internationales. Le rôle moteur et de force de proposition auprès des partenaires industriels du domaine est clair. Les chercheurs impliqués ont développé des compétences uniques et reconnues dans le domaine des matériaux et procédés pour la nanoélectronique mais aussi dans le domaine de la microscopie électronique en transmission. Ce socle dur de connaissance et de savoir-faire est un atout national et international, même si pour ce dernier point, le positionnement international n'est pas décrit.

Thématique 2 : Nanomatériaux magnétiques (MAG)

Cette thématique concerne 11 chercheurs permanents qui ont encadré 9 étudiants en thèse et 3 post-doctorants. Les sujets traités sont très variés, ce qui peut s'expliquer par le développement de techniques expérimentales originales qui attirent un grand nombre de collaborateurs (la majorité des nanomatériaux étudiés sont synthétisés dans d'autres laboratoires). Les deux techniques reines de cette thématique sont l'holographie électronique pour mesurer les lignes de champs magnétiques dans des nano-objets de formes différentes (films, cubes, fils...) de divers matériaux (FePt, CoNi, Fe, Fe₃O₄...) et l'EMCD (electron magnetic circular dichroism) qui permet de remonter au moment de spin et au moment orbital à l'échelle nanométrique. Le groupe a également développé des synthèses de couches ultraminces par pulvérisation cathodique et de la magnétométrie plus classique. Cette thématique a donné lieu à plus de 95 articles, dans des revues de très bon niveau (Physical Review Letters, Nanoletters, Nature Materials, Physical Review B, Applied Physics Letters, Journal of Applied Physics...). Cette production exceptionnelle peut en partie s'expliquer par les nombreuses collaborations extérieures. Le revers de la médaille est qu'il est difficile d'extraire une ligne directrice claire sur cette activité. Plusieurs chapitres de livre ont été écrits, notamment sur l'EMCD.

Thématique 3 : Nanomatériaux pour la spectroscopie optique, récemment renommé Optics and dynamics in nanosystems (NANODYN)

Cette thématique assez fondamentale implique 10 permanents, 10 doctorants et un post-doctorant. Les sujets traités sont nombreux. Ils concernent la nano-optique, en particulier la nano-plasmonique (sujet concurrentiel en pleine expansion dans la communauté internationale depuis une dizaine d'année) et le couplage entre les propriétés acoustiques et optiques à l'échelle nanométrique. Les thèmes de recherche incluent le développement et l'étude de nouveaux nano-objets (incluant des systèmes hybrides) présentant des propriétés optiques originales et exploitables,

par exemples, en photocatalyse, génération d'hydrogène, photovoltaïque et avec des aspects de plasmonique intégrée en volume. De nouvelles configurations d'analyses optiques en champ lointain, couplées à des analyses électroniques ont été développées, illustrant la forte composante « instrumentation » associée à cette thématique. Les analyses multi-physiques impliquant phonons, plasmons, excitons sont très pertinentes et les études sur les interactions ondes acoustiques-plasmons de surface font référence à l'échelle internationale.

Cette thématique permet une forte activité de publication : 70 articles dans des journaux de très bon niveau (Nature Materials, Nature Nanotechnology, Nano Letters, ACS Nano, Physical Review Letters, Journal of the American Chemical Society, Advanced Materials...) dont une vingtaine de publications intergroupes en particulier avec le groupe GNS.

Thématique 4 : Cristaux liquides pour l'optique (CLO)

Ce thème de recherche concerne deux chercheurs permanents et deux doctorants qui étudient des micro/nano systèmes basés sur les cristaux liquides (CL). Il s'agit d'un enjeu de taille depuis la fin de l'utilisation des CLs en affichage (au profit des technologies plasma et LED). De nouvelles voies se sont ouvertes pour des applications variées (réflecteurs sélectifs, verres intelligents, optique intégrée...). Les études concernent les relations structures / propriétés optiques / effets mécaniques dans les systèmes cholestériques et chiraux. Les études des interactions entre nano-objets et CLs (systèmes hybrides) sont pertinentes et d'actualité.

11 articles dans de bonnes revues ont été publiés et 2 brevets ont été déposés. Trois ouvrages sont parus.

Thématique 5 : Carbones nanostructurés (CARB)

9 chercheurs permanents, 11 doctorants et 8 post-doctorants s'impliquent dans cette thématique. Le sujet d'étude principal concerne les nanomatériaux et nano systèmes à bases de carbone : graphène, nanotubes, nano cônes, molécule C60, et composites contenant du carbone pour applications (exemple : collaboration avec Aerospace Valley). Les propriétés physiques et chimiques, ainsi que l'influence du milieu environnant sont étudiées. De nombreux moyens de synthèse et de caractérisation sont utilisés (EELS, TEM, holographie électronique, spectroscopie Raman, transport électrique,...).

La volonté de développer des dispositifs et démonstrateurs (systèmes intégrés fonctionnels, ..) est appréciable.

48 articles ont été publiés dans des revues de bonne qualité et dont certains dans des revues de très bonne qualité comme par exemple Carbon, ACS Nano, Physical Review Letters, Nature Communication.

Thématique 6 : Nanomatériaux et procédés (NANOPRO)

Cette thématique, qui implique une demi-douzaine de personnes, vise essentiellement le transfert industriel de procédés de fabrication de nanoparticules minérales, en particulier pour l'imagerie et la thérapie médicales. Les efforts se sont concentrés ces dernières années sur le développement de nanoparticules de Gd₂O₃ dopées. Cette activité a été performante : prix d'innovation, création d'une société, 4 brevets, 8 publications.

Thématique 7 : Matériaux du patrimoine (PAT)

Cette thématique, assez singulière mais intéressante dans le contexte du groupe, concerne l'utilisation de méthodes modernes de caractérisation physique et chimique (MET, MEB, DRX, spectroscopie d'absorption X...) pour l'étude des matériaux anciens afin d'obtenir de nouvelles informations sur les procédés et matériaux utilisés dans le passé. Différentes périodes de l'histoire sont couvertes ; différents matériaux sont étudiés : poteries antiques constituées d'oxydes métalliques, premiers alliages à base d'aluminium utilisés dans les débuts de l'aéronautique... Cette activité permet donc une rencontre intéressante entre sciences dures et sciences humaines et a donné lieu à des résultats importants et à fort impact, à l'image de la page de couverture du Journal of Analytical Atomic Spectrometry (JAAS, facteur d'impact 3,4) en 2013. Si l'on considère la quinzaine de publications associées, on peut noter que cette activité de recherche correspond principalement à l'activité d'un chercheur. Au-delà des questions que cela pose en termes de taille critique vis à vis de la concurrence nationale et internationale, il faudra veiller à préciser la place de cette activité dans les activités globales du groupe. On peut par ailleurs noter que cette activité apparaît dans le rapport d'activité mais n'est pas mentionnée dans la fiche synthétique de nMAT.

De manière générale, le groupe nMat est dynamique et très productif. La qualité de la production scientifique est à l'image des nombreux contrats obtenus ces cinq dernières années. La pluridisciplinarité est un point fort qui donne lieu à des projets ambitieux ou plusieurs domaines (matériaux, physique, chimie) se côtoient au quotidien. La dualité recherche fondamentale - recherche appliquée est un point fort du groupe. Le groupe a atteint une taille

importante et devra veiller à éviter / limiter certains effets naturels mais négatifs liés à cette taille, effets qui commencent à être détectables comme la dispersion des activités et thématiques au détriment de points forts pour lesquels le groupe peut revendiquer un leadership aux échelles nationales et internationales. Ces points forts devront être mis en valeur de façon plus lisible. Il serait probablement profitable de réfléchir à une éventuelle restructuration du groupe, afin de renforcer la visibilité de ses activités scientifiques. Cette réflexion devrait notamment prendre en compte le recouvrement significatif avec certaines thématiques clés des deux autres groupes du CEMES. En particulier, il conviendra de préciser et définir les activités « nano-optique » en pleine croissance en se positionnant par rapport à la stratégie du groupe Nanoscience dans ce domaine et, plus largement, à celle de l'unité. Ce recouvrement peut être un atout en termes de collaboration intergroupe soutenue par le CEMES mais peut engendrer, s'il n'est pas contrôlé, d'inutiles redondances et concurrences entre les groupes de l'unité.

Appréciation synthétique sur ce critère

La qualité scientifique du groupe nMat est très bonne et de haute performance en termes de publications et de contrats. Avec cependant une alerte, il faudra contrôler dans les années à venir la dispersion thématique grandissante. Les thématiques nombreuses devront se positionner de façon plus précise par rapport à l'état de l'art national et international.

Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

Le groupe nMAT est fortement impliqué dans des projets nationaux et internationaux relatifs à la microscopie électronique. Au niveau français, il a coordonné jusqu'en 2012 le réseau METSA et au niveau européen, il coordonne le réseau ESTEEM2 et il participe fortement au LIA 'TALEM' avec l'Université de Saragosse. Il est également le coordinateur du projet Equipex 'MIMETIS' et est fortement impliqué dans le Labex NEXT. Il dirige aussi le GDR NACRE dont l'objet est les nanocristaux dans des diélectriques pour l'électronique et pour l'optique. Il a obtenu dans la période évaluée six contrats européens dont un en tant que coordinateur. Il a participé à 18 ANR dont 8 comme coordinateur et 2 contrats ANR JCJC (Jeunes Chercheuses Jeunes Chercheurs), autant de signes concrets d'un rayonnement important.

Le groupe nMAT a été très impliqué dans l'organisation de congrès nationaux et internationaux (Carbon 2009, EMRS 2013, EDGE 2013) et montre un bon résultat au niveau des conférences invitées à des congrès internationaux avec une moyenne de 0,51/chercheur/an ou 0,65/ETP/an. Les conférences invitées sont réparties sur la moitié des chercheurs permanents. Un membre de nMAT participe au comité éditorial de la revue Carbon.

Le groupe nMAT a de nombreuses collaborations avec de prestigieux laboratoires français et étrangers (San Sebastian, Singapour, University of Pennsylvania...) mais le nombre de chercheurs invités étrangers reste faible.

Appréciation synthétique sur ce critère

Le rayonnement du groupe nMat est important aussi bien national qu'international. On pourra peut-être regretter le faible nombre de séjours de chercheurs invités étrangers au sein du groupe.

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

Bien que la recherche menée dans le groupe nMAT soit principalement de nature fondamentale, un relatif équilibre entre recherche amont et aval est à souligner. Le groupe a une longue tradition de collaboration avec l'industrie et en particulier avec ST-Microelectronics (depuis 20 ans), SOITEC et ONERA. Sur la période, il a participé à 15 projets industriels (essentiellement des contrats doctoraux). La Start-Up 'PYLOTE' issue du CEMES devient maintenant une entreprise, une nouvelle Start-Up 'CHROMALYS' sur les applications médicales des nanoparticules magnétiques vient d'être créée. nMAT a déposé 13 brevets dont 6 ont fait l'objet d'une extension à l'international.

Le groupe nMAT s'implique également dans la diffusion scientifique sous de nombreuses formes : livres, films, articles, conférences, émission de radio... On notera en particulier le succès du livre 'Matière sensible' sur la matière molle qui a obtenu le prix Roberval 2011 et qui est maintenant publié en anglais par Harvard University Press.

Le groupe nMAT, quoique la recherche soit son activité principale, est fortement investi dans leurs aspects économiques et culturels.

Appréciation synthétique sur ce critère

Le groupe nMat fait preuve d'une très bonne activité de recherche collaborative avec l'industrie et de diffusion de la culture scientifique.

Appréciation sur l'organisation et la vie de l'équipe

L'animation du groupe est assurée par deux personnes, ce qui a du sens si l'on considère la taille du groupe. Elles sont en charge de la politique scientifique du groupe, de son évolution en termes de personnel permanent et non permanent, de sa cohésion (événements, réunions...) et de son interface avec le reste du laboratoire.

Les animateurs sont investis, dynamiques et efficaces, à l'image du fort sentiment général d'appartenance au groupe qui apparaît à travers le rapport et les présentations. La volonté d'instaurer une solidarité interne au groupe par des dépenses communes et des prélèvements intra-groupes est appréciable. La vie du groupe est assurée par des manifestations plénières : réunions hebdomadaires et séminaires de groupes.

Compte tenu de la taille du groupe, pour garder une véritable identité et une cohésion au niveau du CEMES il devient important de formaliser l'interface entre les membres du groupe et la direction du CEMES.

Appréciation synthétique sur ce critère

Une animation dynamique est assurée par deux animateurs investis. Il conviendra de formaliser quelque peu la vie de groupe afin d'affirmer clairement sa voix au sein de l'unité.

Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

Le groupe nMat a encadré 60 doctorants au cours de la période 2009-2014 dont 33 ont soutenu leur thèse et 30 post-doctorants (dont 10 en cours), ce qui fait un très bon taux d'encadrement par chercheur permanent. Le CEMES s'investit de façon significative dans la formation et l'accueil des étudiants masters/ingénieurs mais la part d'investissement du groupe nMat n'est pas précisée.

Appréciation synthétique sur ce critère

Le groupe nMat est fortement impliqué dans la formation par la recherche.

Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

A travers le rapport et les présentations faites lors de la visite, le projet à cinq ans du groupe nMAT revêt deux formes : une forme globale transverse à toutes les thématiques et une forme plus détaillée se déclinant thématique par thématique.

La stratégie globale concerne cinq points :

1. nouvelles avancées de fabrications de nanomatériaux. Cet objectif inclue différentes méthodes (pulvérisations, implantation ionique, auto-organisation basée sur l'utilisation de cristaux liquides...) et plusieurs types de matériaux, incluant des matériaux hybrides présentant des propriétés multi-physiques (optiques, magnétiques, électroniques...). Cet objectif global s'appuiera sur le nouveau CPER, un nouveau projet d'IDEX ainsi que sur le Labex NEXT et les ANR en cours ;
2. basées sur l'approche « MET in situ », les études des nanomatériaux soumis à un stimulus extérieur (magnétique, électrique, mécanique...). L'optimisation de nanosystèmes électroniques en fonctionnement est un des enjeux visés ;
3. développer des outils nouveaux de microscopie et de spectroscopie optique. Ces développements sont variés et incluent la microscopie optique en champ proche basée sur l'exaltation électromagnétique de pointe (TERS), la résolution temporelle associée à la résolution spatiale et le couplage optique femtoseconde et MET (projet FemtoTEM). Ce point illustre le fait que la nano-optique constitue un des fers de lance de la stratégie du groupe ;
4. matériaux fonctionnels. Il s'agit de développer de nouveaux nano-composites hybrides multifonctionnels de différentes natures basés en particulier sur la plasmonique et les cristaux liquides ;

5. développement de nouveaux outils de simulation et modélisation (DFT, FEM...) permettant de décrire les propriétés des matériaux dans une approche multi-physiques et multi-échelles.

Concernant la thématique 'nanomatériaux pour l'électronique' la course au More Moore des partenaires industriels est une véritable source de sujets de recherches. Les membres impliqués du groupe, à partir de leurs compétences initiales en sciences des matériaux et en microscopies (projet de MET in situ), souhaitent s'engager dans cette voie et être force de propositions innovantes. L'ouverture vers de nouveaux choix de matériaux est aussi envisagée (oxydes ferroélectriques) et déjà en route ainsi que l'étude des OxRAM. Ce projet repose sur les compétences uniques de l'équipe et s'engage dans la continuité du programme précédent.

Pour l'étude des nanomatériaux magnétiques le développement de nouveaux systèmes de préparation d'échantillons apportera une plus grande autonomie au groupe dans le choix des objets d'étude. Les développements de l'holographie électronique ou de la microscopie de Lorentz avec stimuli externes (champ magnétique ou courant électrique) permettront au CEMES de maintenir son leadership dans ce domaine. Les projets sur la dynamique des spins sont prometteurs. Les calculs ab-initio sur les multicouches magnétiques devraient renforcer les études expérimentales.

La création d'une thématique 'NANODYN' bien définie s'appuie sur des projets d'intégration de plusieurs fonctionnalités dans une même nanostructure et des développements expérimentaux. Ces développements visent à étendre les limites de la spectroscopie optique : Excitations élémentaires (optiques, électroniques, vibrationnelles), nano antennes (SPR) couplées avec des phonons de surface, spectroscopie ultra-rapide, microscopie en champ proche optique en mode TERS (Tip Enhanced Raman Spectroscopy). Un dernier projet expérimental ambitieux concerne le couplage de la spectroscopie optique ultra-rapide avec la microscopie électronique à transmission (projet FemtoTEM). Ce projet déjà bien soutenu financièrement est un des projets phares du laboratoire pour le prochain contrat.

Les projets concernant la thématique 'cristaux liquides pour l'optique' sont centrés sur l'auto-organisation de nanoparticules dans CLC (cristaux liquides cholestériques), les gels cholestériques biomimétiques et les nanocristaux d'or pour des applications comme polariseur circulaire, résonateur ou métamatériaux. Ces projets en continuité avec les recherches menées dans cette thématique sont solides et ne devraient pas poser de problèmes majeurs dans leur exécution.

Les projets de la thématique 'nanostructures carbonées' se déclinent en trois points : i) synthèse (nanotubes de carbones hétérogènes par CVD, NTC, graphène par CVD/graphène, composites NTC/polymères), ii) études de nouvelles propriétés (en particulier en se reposant sur le système I2TEM et en utilisant une approche multiphysique : optique, électrique,..), iii) développement de nouveaux nano systèmes fonctionnels en vue d'applications (transistors, canons à émission d'électrons,..). Ils sont également dans la continuité des études précédentes.

Le projet concernant la thématique 'nanomatériaux et procédés' n'est pas décrit dans le rapport d'activité. Suite à la visite, il apparaît que la dynamique de transfert de technologie spécifique à cette activité sera maintenue, en particulier au travers de la start-Up Chromalys (projet Nano-X-Track qui concerne l'utilisation des nanotechnologies et nanoparticules pour la détection, le suivi et la destruction des tumeurs cancéreuses mobiles).

Les projets concernant la thématique 'matériaux du patrimoine' sont en continuité avec les travaux précédents avec une ouverture nouvelle vers l'étude des matériaux, issus de l'héritage industriel, utilisés au début du 20^{ème} siècle (archéo-alliages de l'aéronautique).

Une nouvelle thématique 'Nanocristaux dans les diélectriques' vise à étudier les couplages entre nano-cristaux semi-conducteurs ou métalliques avec d'autres nanosystèmes incluant des couplages nano-cristaux Si/impuretés, nanoparticules métalliques/émetteurs de lumière (plasmonique hybride), nanoparticules métalliques/couches conductrices et nanocristaux d'argent avec des biofilms et micro-organismes (application : détection de toxines). Les nanocristaux auto-organisés sont obtenus par implantation ionique à très basse énergie, technique bien maîtrisée dans le groupe nMat. Cette thématique est couplée avec le GDR 'Nacre' dirigé par le CEMES. Les applications potentielles sont nombreuses et prometteuses en particulier pour la plasmonique enterrée (effets d'antenne, transfert de charge).

Appréciation synthétique sur ce critère

Les projets globaux et détaillés ont du sens et sont cohérents avec la stratégie développée au cours des cinq dernières années. Ces projets sont de qualité mais très variés et augmentent encore la dispersion des thématiques du groupe nMat. Il conviendra de préciser leur positionnement par rapport à l'état de l'art national et international afin

de faire la différence entre les résultats/projets incrémentaux (visant à rattraper un retard) et les percées scientifiques et technologiques (visant à maintenir ou acquérir un leadership).

Conclusion

▪ Points forts et possibilités liées au contexte

Les points forts du groupe nMat sont :

- sa très bonne production scientifique ;
- son nombre important de contrats ;
- et par conséquence sa double approche recherche amont/appliquée ;
- sa très bonne qualité scientifique ;
- son rayonnement indéniable ;
- la richesse de sa pluridisciplinarité ;
- son dynamisme et son investissement dans l'animation de groupe, engendrant un fort sentiment d'appartenance au groupe de la part des acteurs.

▪ Points faibles et risques liés au contexte

Les faiblesses et les risques du groupe nMat proviennent :

- de sa trop importante dispersion thématique ;
- du manque de formalisation de l'animation de groupe ;
- de son peu de positionnement par rapport à l'état de l'art.

▪ Recommandations

Il est recommandé au groupe nMAT de poursuivre cet élan et de maintenir son indéniable qualité scientifique et la production associée tout en s'efforçant :

- de positionner de façon plus précise les thématiques dans l'état de l'art international ;
- d'éviter une dispersion thématique trop importante qui risquerait à terme de nuire à la visibilité du groupe (restructuration éventuelle à envisager) ;
- de formaliser la vie de groupe et de réfléchir à la meilleure façon de gérer les interfaces avec les autres groupes.

Équipe 3 : GNS : Nanosciences

Nom du responsable : M. André GOURDON

Effectifs

Effectifs de l'équipe	Nombre au 30/06/2014	Nombre au 01/01/2016
N1 : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés	5	5
N2 : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés	11	11
N3 : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)		
N4 : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)	1	
N5 : Autres chercheurs (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.)		
N6 : Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)		
TOTAL N1 à N6	17	16

Effectifs de l'équipe	Nombre au 30/06/2014	Nombre au 01/01/2016
Doctorants	4	
Thèses soutenues	17	
Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité	2	
Nombre d'HDR soutenues	2	
Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées	10	12

• **Appréciations détaillées**

Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

Le groupe GNS comprend 17 chercheurs permanents (11 chercheurs CNRS) émergeant aux sections 04, 05, 11 et 14 du comité national et 5 enseignants-chercheurs émergeant aux sections 28 et 32 du CNU. Le personnel est donc composé de 50 % physiciens, 25 % chimistes organiciens et 25 % théoriciens-modélisateurs ce qui fait de GNS un réel groupe interdisciplinaire. Sur la période, le groupe a encadré 20 doctorants dont 4 n'ont pas encore soutenu leur thèse et 28 post-doctorants. La production de GNS en terme de publication est très bonne (2,2 articles/chercheur/an

ou 2,6 publications/ETP/an) et surtout d'excellente qualité (19,6 % des articles dans des revues à facteur d'impact supérieur à 7 comme Science, Nature journals, ACS Nano, Angew. Chem. Intl. Ed., Phys.Rev.Lett.).

L'activité du groupe GNS se décline en trois thématiques : (i) Nanotechnologie : vers les 10 nm, (ii) Techniques à l'échelle atomique sous ultravide, (iii) Outils et synthèse chimique. En préambule, il faut préciser que la période d'évaluation a vu la réalisation du bâtiment PICOLAB, qui comprend 600 m² de salle blanche et abrite maintenant la grande majorité des équipements du groupe GNS. Les niveaux de performance de ce bâtiment sont excellents grâce à un cahier des charges précis et un suivi quasi quotidien du chantier. Ce nouvel outil du CEMES doit maintenant être utilisé activement par l'ensemble du laboratoire et permettra sans aucun doute des collaborations entre groupes au plus haut niveau dans les années qui viennent. Concernant GNS, qui a initié et suivi ce chantier, la qualité et la quantité de la production scientifique pendant la période n'en sont que plus exceptionnelles.

Nanotechnologie : vers les 10 nm

Cette thématique regroupe trois activités, une sur le mouillage à l'échelle nanométrique, une sur l'électronique du graphène et une sur la nano-plasmonique. Les études sur le mouillage sont en partie réalisées en collaboration avec le groupe nMat. Les techniques développées sont très originales dans ce domaine (structuration et étalement de liquide par nanopointes, étude par AFM de la dynamique du mouillage d'un nanotube de carbone...) et permettent d'étudier les mécanismes élémentaires par une technique originale développée au laboratoire. Les résultats et les publications associées ont un impact certain dans la communauté. Les activités de recherche de l'équipe GNS dans le domaine de l'électronique à base de graphène sont de très grande qualité. L'obtention d'un financement ERC est représentative non seulement de la qualité des travaux mais également du potentiel de l'équipe dans ce domaine. Les travaux de nanostructuration du graphène devraient permettre non seulement d'apporter une approche nouvelle sur le transport à l'échelle atomique mais également de créer de nombreuses collaborations dans le laboratoire entre GNS et la partie microscopie électronique in situ. La production scientifique de cette activité est encore faible mais devrait sans doute être rapidement augmentée. L'activité nano-plasmonique est réalisée en grande partie en collaboration avec nMat. La complémentarité des compétences entre synthèse et fabrication de nano-objets cristallins, expériences d'optique au meilleur niveau et développement d'outils théoriques a permis d'obtenir rapidement des résultats à l'état de l'art du domaine (confinement et propagation de plasmons, réalisation de portes logiques plasmoniques...). La production associée est excellente autant en quantité qu'en qualité.

Techniques à l'échelle atomique sous ultravide

Cette thématique historique de GNS est basée sur une interaction réussie entre physiciens, chimistes et théoriciens. L'ensemble des activités développées converge vers un objectif ambitieux qui est la compréhension à l'échelle atomique du transport électronique et du couplage électromécanique dans des molécules modèles. Une activité historique sur le transport dans des fils atomiques, qui pourraient servir de contact final pour l'électronique moléculaire, est encore dynamique, essentiellement grâce à des collaborations avec le Japon, mais repose sur un seul chercheur. La partie électronique moléculaire à proprement parler est l'activité la plus collaborative du groupe et a donné lieu à la première mise en évidence de la modification réversible de l'état de charge d'une molécule par application d'une tension, en corrélation avec un changement de conformation. De façon générale, la période d'évaluation a surtout vu l'équipe développer des mesures STM et nc-AFM sur des matériaux isolants (ultra-minces ou massifs), dont l'interprétation est aidée par des calculs ESQC (elastic scattering quantum chemistry, spécialité maison) ou par un simulateur nc-AFM, outil numérique très original. L'installation dans PICOLAB, la fin du développement d'équipements ultravides (ensemble d'équipements inter-connectés : DUF notamment) et l'arrivée d'un microscope quatre pointes ouvrent donc la voie à une nouvelle période d'activité où des résultats contrôlés de transport à travers des molécules modèles devraient voir le jour, à l'état de l'art international. Les activités dans le domaine des portes logiques moléculaires et de la mécanique moléculaire sont de très grande qualité. On note cependant une certaine disparité quant aux revues utilisées comme support de publication entre les avancées sur molécules uniques et celle des complexes de coordination de ruthénium. Plus spécifiquement, la production sur la mécanique moléculaire est équilibrée et de très bonne facture, même s'il reste parfois peu aisé de cerner la contribution des différents partenaires impliqués. On peut peut-être regretter que cette activité dynamique et exploitant les compétences des chimistes du laboratoire à leur meilleur niveau n'implique pas suffisamment les collègues physiciens expérimentaux de la structure CEMES elle-même. Au final, la production associée à cette thématique est excellente tant en quantité qu'en qualité, malgré de très fortes disparités locales. Une implication plus importante des jeunes chercheurs dans les activités phares de cette thématique semble notamment nécessaire pour préserver à moyen terme l'excellence et la reconnaissance du CEMES dans le domaine de l'électronique moléculaire.

Outils et synthèse chimique

Le très fort développement technique sous ultravide est un point fort du groupe. La mise au point de la DUF et son installation dans PICOLAB sont un véritable tour de force expérimental, certainement peu rentable en termes de publications à court terme mais indispensable pour assurer à moyen terme l'excellence du groupe à l'échelle internationale. D'un autre côté, la synthèse chimique qui a subi des restructurations et rénovations profondes n'a pas eu à en souffrir puisqu'elle présente une production scientifique de qualité. De façon générale, cette thématique montre une bonne implication dans la formation, et le développement de nombreuses collaborations concernant des techniques expérimentales à la frontière de la physique et de la chimie aux échelles pico, nano et micro (IEMN, LETI, LAAS,...). La pertinence de séparer ces activités 'techniques' des thématiques scientifiques se justifie largement sur la période d'activité via la réalisation du PICOLAB. Il est probable et souhaitable que la prochaine période voie cette thématique naturellement s'insérer parmi les thématiques scientifiques phares du groupe.

Appréciation synthétique sur ce critère

La production scientifique du groupe GNS est excellente tant en quantité qu'en qualité. La réalisation du bâtiment PICOLAB est également une réussite qui devrait permettre de maintenir l'excellence scientifique du groupe à moyen terme.

Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

Le groupe GNS a un très fort rayonnement international qui apparaît notamment à travers la coordination de cinq projets Européens dont une ERC. Au-delà de l'Europe, une collaboration solide a été développée avec le NIMS de l'Université de Tsukuba via le projet MANA dont le CEMES est un satellite. Des collaborations moins formalisées mais très productives sont également développées avec les États-Unis, la Suisse, l'Allemagne... Paradoxalement, le nombre de visiteurs étrangers est relativement faible, ce qui mériterait d'être amélioré, au moins pour mieux faire connaître le PICOLAB à l'international. Le rayonnement du groupe se traduit par un nombre important de conférences invitées à des congrès internationaux (0,65/chercheur/an ou 0,77/ETP/an) qui est cependant très inégalement réparti sur la moitié des membres. Le groupe a également participé à l'organisation de plusieurs congrès internationaux d'envergure (Graphene 2014, ATMOL...). Au niveau national GNS a un taux de succès à l'ANR important (onze sur la période dont cinq comme coordinateur). Notons enfin que plusieurs membres du groupe sont présents soit dans des comités ANR, soit dans des groupes d'experts de l'OMNT. Un chercheur a été recruté au CNRS sur la période, ce qui est faible pour un groupe aussi connu et sous-critique au niveau expérimental. La pluridisciplinarité est invoquée comme un frein au recrutement national, trop disciplinaire.

Appréciation synthétique sur ce critère

Le rayonnement international de GNS est indéniable, ce qui lui permet de collaborer avec les meilleurs groupes au monde dans le domaine.

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

Les recherches menées dans le groupe GNS ont un caractère très fondamental ce qui explique sans doute un relativement faible nombre de brevets (deux sur la période d'évaluation). On peut regretter, cependant, que les développements techniques réalisés dans l'équipe n'aient pas été ponctuellement plus valorisés.

Par contre, l'investissement des membres du groupe GNS dans la communication et la vulgarisation de recherches a priori à caractère très fondamental est remarquable. On ne compte plus les interventions généralistes dans les médias télévisuels et radiophoniques ainsi que les interventions « grand public » au niveau local et régional, ce qui est essentiel pour développer une « culture nano » bénéficiant d'un soutien régional fort. L'extension de ces interventions ciblant une audience large est également marquée au niveau national. Cette communication scientifique s'étend parfois à l'international, comme avec la course de nano-voitures, qui permettra de mieux faire connaître PICOLAB à tous les niveaux.

Appréciation synthétique sur ce critère

L'aspect valorisation du groupe GNS est modeste de par le caractère très fondamental de ses activités. Par contre, son activité de vulgarisation scientifique est exceptionnelle, que ce soit à un niveau local, national ou international.

Appréciation sur l'organisation et la vie de l'équipe

Le groupe GNS est structuré par plusieurs thématiques scientifiques, ayant des interactions et une cohérence tout à fait appréciables. Le groupe est animé de façon très professionnelle, par l'organisation de réunions régulières, soit à caractère stratégique et administrative entre permanents, soit à caractère scientifique avec l'ensemble des membres. Un séminaire annuel au grand air est organisé par les étudiants, dans l'objectif de les former à l'organisation de congrès et pour renforcer la cohésion du groupe. Les informations de toutes sortes semblent bien circuler au sein du groupe. Malgré une bonne homogénéité des thématiques, la stratégie scientifique du groupe est souvent dictée par l'obtention de contrats, ce qui ne motive pas les collaborations naturelles internes. Il est important pour la cohésion du groupe que l'ensemble des membres soit inclus dans les différents contrats. Une feuille de route commune à l'échelle du groupe (plus précise que le mur des 10 nm) serait probablement un outil de prospective scientifique utile. Finalement, la perspective à moyen terme nécessite d'anticiper les futurs départs d'éléments importants du groupe en accompagnant les chercheurs plus jeunes dans leur prise d'autonomie et en les mettant mieux en valeur.

Appréciation synthétique sur ce critère

Le groupe GNS est un exemple de pluridisciplinarité (chimistes, physiciens, théoriciens) à petite échelle qui se révèle très efficace. La vie scientifique et sociale du groupe est parfaitement animée, ce qui consolide les liens entre thématiques internes, malgré le grand nombre de contrats en collaborations externes.

Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

En ce qui concerne la formation par la recherche, 17 thèses ont été soutenues (4 sont en cours) sur la période concernée ce qui montre l'efficacité de l'encadrement. La répartition n'est cependant pas uniforme sur les différents sujets. L'encadrement de post-docs est également très bon (28 sur la période). Ces chiffres attestent d'une très bonne implication du groupe GNS dans la formation par la recherche.

Appréciation synthétique sur ce critère

Le taux d'encadrement de thèses et de post-docs du groupe GNS est très bon mais distribué de façon non uniforme sur les différents sujets menés dans le groupe.

Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

Le groupe GNS s'engage dans un projet à cinq ans cohérent. Les projets sont à même de valoriser au mieux les résultats obtenus sur la période concernée et se placent dans l'optique de déverrouiller le gap des 10 nm en électronique et mécanique moléculaire ainsi que d'explorer les possibilités d'information quantique des systèmes étudiés. L'élargissement vers la conduction tunnel longue distance est pertinente et la transition de la chimie des surfaces à la chimie sur surface est certainement très attrayante et en phase avec les orientations nationales et internationales du domaine. L'ensemble des activités pourra s'appuyer sur la partie synthèse et les développements importants d'outils réalisés dans la période d'évaluation, avec la montée en régime de PICOLAB. L'activité sur le mouillage collaborera de façon très pertinente avec l'activité graphène pour étudier notamment la portée des interactions. De même, la collaboration entre STM et plasmonique semble prometteuse en mettant en commun de façon originale des compétences à l'état de l'art dans ces deux domaines. L'arrivée d'un microscope quatre pointes est également parfaitement pertinente dans l'objectif de contacter une molécule individuelle in situ. Malgré l'originalité et l'excellence des projets présentés, leur multiplicité comporte un risque clair de dispersion, surtout pour les sujets expérimentaux qui demandent un investissement en temps important.

Appréciation synthétique sur ce critère

Le projet global est cohérent. Les différents sujets proposés sont pertinents à l'échelle internationale et les interactions envisagées à l'intérieur du groupe GNS sont particulièrement prometteuses.

Conclusion

Le groupe GNS a développé depuis de longues années des techniques théoriques, expérimentales et de synthèse qui en font un acteur majeur à l'échelle internationale de l'électronique et la mécanique moléculaire, et depuis plus récemment, de la nanoplasmonique. La réalisation du bâtiment PICOLAB pendant la période d'évaluation est une indéniable réussite qui correspond également à l'aboutissement d'équipements complexes, nécessaires à la réalisation du projet de combler le gap des 10 nm, dans tous les domaines d'étude. La production scientifique de l'équipe est excellente, tirée par quelques activités phares qui lui permettent d'obtenir de nombreux contrats et une reconnaissance internationale.

▪ Points forts et possibilités liées au contexte

Les points forts du groupe GNS sont à relier :

- au niveau de bruit exceptionnel du bâtiment PICOLAB et à l'arrivée d'équipements neufs pertinents ;
- à un environnement exceptionnel avec la proximité de la microscopie électronique in situ et d'expériences de spectroscopie optique à l'état de l'art ;
- à des collaborations internationales solides.

▪ Points faibles et risques liés au contexte

Les points faibles et les risques proviennent :

- de la trop grande dispersion des activités ;
- d'une pyramide des âges vieillissante ;
- d'un risque de sous-criticité des équipes expérimentales, lié notamment à une difficulté de recrutement, tant au niveau chercheur qu'en support à la recherche.

▪ Recommandations

Paradoxalement, le grand nombre de contrats obtenus a tendance à cloisonner les activités scientifiques du groupe. Une démarche proactive de collaborations internes sur les sujets les plus innovants permettra d'accroître encore le rayonnement du groupe GNS dans son ensemble. Il est également important pour la pérennité à moyen terme du groupe de mieux impliquer et mettre en valeur les jeunes permanents. Finalement, la période d'activité qui arrive semble enthousiasmante pour le groupe qui a développé de nombreux outils uniques à l'échelle internationale et qu'il faut maintenant utiliser plutôt que de continuer à en développer de nouveaux.

4-bis • Analyse thème par thème

Thème 1 :

Les Pôles

• Appréciations détaillées

Une nouvelle structure du potentiel technique du laboratoire a été instaurée en 2012. Tous les personnels techniques et administratifs (41 agents) originellement dispersés dans 12 services et 3 groupes de recherche sont maintenant répartis en 5 pôles :

- Pôle NANOFABRICATION ;
- Pôle NANOCARACTERISATION ;
- Pôle INGENIERIE ;
- Pôle NANOTECH ;
- Pôle SUPPORT.

Chaque pôle est animé par un chercheur et par un ingénieur ou un assistant-ingénieur. Les pôles rassemblent les personnels techniques et les moyens techniques pour un thème donné défini par l'intitulé du pôle. Outre la diminution de la dispersion des personnels et moyens techniques et des personnels administratifs la nouvelle structure en pôles a pour but une meilleure évolution des compétences des personnels, un rôle actif dans les projets scientifiques, anticipation des besoins (équipement et personnel), le suivi de la carrière des personnels techniques et administratifs, l'affectation des personnels à des actions avec les chercheurs définies et limitées dans le temps.

Le pôle NANOFABRICATION comprend 5 personnels techniques. Il s'occupe de la préparation des échantillons en microscopie électronique, du FIB pour la découpe d'échantillon MET, de l'implanteur d'ions, et de la synthèse organique.

Le pôle NANOCARACTERISATION est le plus important en personnel (10 personnes). Il comprend les différents microscopes électroniques (MET et MEB), les appareils de spectroscopie optique et de diffraction des rayons X ainsi que des machines d'essais mécaniques de caractérisation de poudre et de mesures physiques. Il comprend en outre un laboratoire dédié aux matériaux à base de carbone et un AFM.

Le pôle NANOTECH comprend 3 personnels techniques qui travaillent en salle blanche (PICOLAB) sur la lithographie par faisceaux électronique et ionique.

Le pôle INGENIERIE (5 personnels techniques) s'occupe de la conception et de la fabrication en mécanique et en électronique.

Le pôle SUPPORT est le plus gros des pôles (13 personnels techniques et administratifs). Il regroupe la finance et la gestion, l'infrastructure, l'informatique, la bibliothèque et l'accueil.

Conclusion

Le système de pôle qui vient d'être mis en place en 2012 correspond à une nouvelle conception du travail des personnels techniques et administratifs permettant une plus grande implication dans les projets scientifiques menés au laboratoire. Cette nouvelle organisation est perçue très positivement par le comité d'experts. Cependant après seulement deux ans de fonctionnement le nouveau système n'a pas encore montré pleinement son efficacité. Il reste à bien définir le rôle des animateurs de pôle et en particulier leurs responsabilités. Le rôle du conseil interpôle reste aussi à définir et en particulier son interaction avec les autres instances du laboratoire (conseil de laboratoire, conseil scientifique).

▪ Avis global sur le thème

La création des pôles est assurément une bonne chose mais il faut approfondir leur rôle en particulier dans les projets scientifiques.

- **Points forts et possibilités liées au contexte**

La création des pôles doit permettre une plus grande participation des personnels techniques dans les projets de recherche du laboratoire.

- **Points faibles et risques liés au contexte**

L'absence apparente de réelle responsabilité des animateurs de pôles peut limiter un des buts premiers de leur création qui est l'implication des personnels techniques dans le développement et la mise en place des projets de recherches. Le CEMES jouit d'une situation assez exceptionnelle puisqu'il s'étend sur un campus de 4.5 ha et occupe 5 bâtiments ayant une superficie totale de 17000 m², pour l'instant ces bâtiments sont rénovés ou neufs (PICOLAB) mais pour les maintenir en état il faut des crédits d'infrastructure suffisants et du personnel dédié. Il y a actuellement 6 personnes s'occupant de l'infrastructure mais 5 devraient partir dans les 4 ans, il est donc important de prévoir leur remplacement.

- **Recommandations**

Il semble nécessaire pour le comité d'experts de bien définir le rôle et les responsabilités des animateurs de pôle et du conseil interpôle. Il faut prévoir le maintien du budget et du personnel d'infrastructure.

5 • Déroulement de la visite

Dates de la visite

Début : Mardi 4 novembre à 13 heures

Fin : Jeudi 6 novembre à 16 heures

Lieu de la visite : Campus Gaston Dupouy

Institution : CEMES UPR 8011

Adresse : 29 rue Jeanne Marvig, Toulouse

Locaux spécifiques visités

Ensemble des anciens locaux du CEMES et nouveau bâtiment PICOLAB.

Déroulement ou programme de visite

début	fin	
13:00	13:30	réunion du comité d'experts
13:30	15:00	présentation générale par le directeur
15:00	17:30	groupe MC2
17:30	18:10	rencontre avec le conseil d'unité
18:10	18:30	rencontre avec le directeur de l'ED
18:30	19:00	réunion à huis clos du comité d'experts
08:15	10:30	GNS
10:30	10:50	pause
10:50	11:30	rencontre avec les ITA
11:30	12:00	rencontre avec les doctorants
12:00	13:15	déjeuner
13:15	16:00	groupe nMat
16:00	16:20	pause
16:20	17:50	présentations par des jeunes chercheurs
17:50	18:30	réunion à huis clos du comité d'experts
18:30	19:30	rencontre scientifiques avec les doctorants
08:30	11:00	pôles techniques et visite des installations
11:00	11:15	pause
11:15	12:00	rencontre avec les tutelles
12:00	12:45	rencontre avec le directeur
12:45	13:30	plateau-repas - début discussion
13:30	16:00	réunion à huis clos du comité d'experts
16:00		fin de la visite

Points particuliers à mentionner

La visite a été très bien organisée. Dans le programme un bon équilibre entre présentations orales, visite de labos et discussions internes au comité d'experts a été prévu. Le directeur a présenté l'activité et les projets du laboratoire. L'activité des trois groupes de recherche a été présentée par leur(s) responsable(s) et par des certains de leur membres. Le comité d'experts a rencontré le conseil de laboratoire, les représentants des ITA, les représentants

des doctorants, un membre de la direction de l'ED Sciences De la Matière. Le comité d'experts a écouté les présentations de jeunes chercheurs, des animateurs de pôle et il a pu discuter avec les doctorants qui présentaient un poster sur leur activité. A chaque fois un temps suffisant a été laissé à la discussion avec le comité d'experts. Le dernier jour le comité d'experts s'est scindé en trois groupes pour visiter les pôles techniques et certaines nouvelles installations. Enfin le comité d'experts a rencontré les tutelles puis il a eu une discussion avec le directeur.